



Středoškolská technika 2014

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Pozorování Slunce H-alfa filtrem a afokální projekcí

Vladimír Pokorný

Purkyňovo gymnázium Strážnice

Masarykova 379, Strážnice 696 62

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor SOČ: 2. Fyzika

Pozorování Slunce

H-alfa filtrem a afokální projekcí

Observing the Sun

using the H-alpha filter and afocal projection

Autor: Vladimír Pokorný

Ročník studia: Kvinta/1.

Škola: Purkyňovo gymnázium Strážnice
Masarykova 379
696 62 Strážnice
okres Hodonín
Jihomoravský kraj

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval samostatně a použil jsem pouze literaturu uvedenou v seznamu vloženém v práci SOČ.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

Ve Strážnici dne 19. Března 2014

Podpis

Poděkování

Předně děkuji RNDr. Janě Hálkové za její ochotu, obětavou pomoc a odborné připomínky k práci. Dále chci poděkovat řediteli hvězdárny ve Veselí nad Moravou p. Lubomíru. Kazíkovi za zapůjčení pozorovacího zařízení. Nesmím opomenout p. Marka Vajčnera, kterému tímto děkuji za zapůjčení a povolení publikovat jeho snímek z tranzitu Venuše (Obr. 60). Na tomto místě chci také poděkovat svému otci, za zapůjčení zbytku vybavení, za zničené nervy při mých začátcích pozorování. Dále pak chci poděkovat našim jazykovědcům Mrg. Janě Šaňkové a Janu W. Jongepierovi za korektury jak v mateřském jazyce tak i cizojazyčném.

Anotace

Účelem mé práce bylo vypracování shrnutí základních poznatků o Slunci, v praktické části se zaměřím na praktická pozorování a jejich porovnání. Především se zaměřuji na levné metody pozorování dostupné velké skupině pozorovatelů. Snažím se použít metodiky s minimálními pořizovacími náklady pod 10.000 Kč. Práce je rozčleněna do čtyř částí:

První část je zaměřena na stručné shrnutí základních znalostí o Slunci, jaké je jeho složení, jak vzniklo, jeho vývoj v minulosti a předpokládaný vývoj v budoucnosti.

Druhá část je věnována samotnému pozorování, co můžeme na Slunci pozorovat, jakými prostředky lze pozorovat a jaké pozorovací metody jsem využil.

Třetí praktická část je zaměřena na pozorování Slunce, v této části je uvedena metodika, kterou jsem získával data z pozorování. Dále pak obsahuje srovnání použitých metod a jejich shrnutí.

Ve čtvrté poslední části jsou mé výsledky zasazeny do kontextu s profesionálními výsledky pozorování z NASA.

Praktické využití mé práce spočívá v tom, že nastiňuje kompletní problematiku Slunce a hlavně obsahuje praktická pozorování. Hlavní využití této práce spočívá v tom, že zájemci o tuto problematiku nastiňuje základní poznatky o Slunci, ale hlavně má sloužit jako inspirace pro všechny, které popřípadě problematika zajímá, a chtějí se začít aktivně podílet na pozorováních. Buď jako sólo pozorovatelé nebo se účastnit pozorování v systematických pozorovacích skupinách.

Ve spolupráci s hvězdárnou chci uskutečnit několik pozorování, a tak nadále pokračovat v práci. Své zkušenosti získané tvorbou této práce, chci předat ostatním potenciálním pozorovatelům.

Klíčová slova

Slunce, pozorování Slunce, H-alfa, Baaderova solární folie, okulárová projekce, sluneční skvrny, sluneční erupce, protuberance (koronální výron hmoty), SDO (Sluneční dynamická observatoř), NASA

Abstract

The aim of my work was to elaborate a summary of the basic knowledge about the sun. In the practical part I will focus on practical observations and a comparison. In particular, I focus on inexpensive methods of observation available to a large group of observers. I try to use the methodology with a minimum cost of under 10,000 CZK. The work is divided into the four parts.

The first part gives a brief summary of basic knowledge about the sun - its composition, its origins, its evolution in the past, and expected future developments.

The second part is devoted to the observation - how we can observe the Sun, which means you can watch it with and which observational methods I used.

The third, practical part deals the observation of the sun. This part contains the methodology that I used to acquire observation data. It also includes a comparison of the methods which I have used and their summaries.

In the fourth and last part, my results are placed in context with professional results observed by NASA.

The practical use of my work is that it outlines the entire issue of the Sun and mainly that it contains practical observations. The main application is that for people interested in this subject it provides the basic facts about the sun, but also serves as an inspiration to all who are interested in the issue and want to actively participate in observations – either as solo observers or participants in systematic observation groups.

In collaboration with the observatory I will realize several observations, and so continue work. Mine experience gained in the creation of this work, I want to transmit other potential observers.

Key words

Sun, Sun observations, H-alfa, Baader solar film, eyepiece projection, sunspots, solar flares, prominences (coronal mass ejection), SDO (Solar Dynamic Observatory), NASA

Obsah

ÚVOD	8
1 Slunce obecně.....	10
1.1 Slunce naše nejbližší hvězda	10
1.2 Vnitřní stavba	10
1.2.1 Jádro	11
1.2.2 Radiační (zářivá) zóna	12
1.2.3 Konvektivní zóna	12
1.3 Slunce v čase.....	13
1.3.1 Zrod Slunce	13
1.3.2 Současnost.....	14
1.3.3 Budoucnost	15
1.4.1 Hertzsprungův-Russelův diagram.....	16
1.4.2 Spektrální třídy	17
1.5 Kde se ve Slunci bere energie	17
1.5.1 Proton-Protonový cyklus	18
1.5.2 CNO cyklus.....	18
1.5.3 P-P versus CNO.....	20
2 Pozorovací techniky	21
2.1 Úvod do pozorování	21
2.2 Co lze na Slunci pozorovat	21
2.2.1 Atmosféra	21
2.2.1.1 Fotosféra	21
2.2.1.2 Chromosféra	22
2.2.1.3 Koróna.....	23
2.3 Útvary ve fotosféře	24
2.3.1 Sluneční skvrny	24
2.3.2 Granulace	26
2.3.2.1 Super granulace.....	27
2.4 Útvary v chromosféře	27
2.4.1 Spikule.....	27
2.4.2 Flokule.....	28
2.4.3 Sluneční erupce	28
2.4.4 Protuberance	29
2.4.4.1 Filament	31
2.5 Bezpečnost především	31
2.5.1 Baaderova folie.....	32
2.5.2 H-alfa filtr	33
2.6 Techniky pozorování Slunce	35
2.6.1 Výhody a nevýhody pozorování ze Země a Vesmíru	35

2.7	<i>Mé dostupné možnosti pozorování</i>	36
3	Pozorování v amatérských podmínkách	37
3.1	<i>H- alfa filtr + dalekohled Borg 77</i>	37
3.1.1	Použitý fotoaparát.....	38
3.1.2	První snímky.....	39
3.1.3	Post zpracování	40
3.1.4	Zaznamenané problémy	40
3.1.4.1	Prach	40
3.1.4.2	Ostření.....	41
3.1.4.3	Pointace.....	42
3.2	<i>Baaderova folie + dalekohled TAL-120</i>	43
3.2.1	Použitý fotoaparát.....	44
3.2.2	První snímky.....	44
3.2.3	Post zpracování	44
3.2.4	Zaznamenané problémy	45
3.2.4.1	Prach	45
3.2.4.2	Ostření.....	45
3.2.4.3	Pointace.....	46
3.2.4.4	Optická vada.....	46
3.3	<i>Metoda projekce, TAL-120</i>	48
3.3.1	Pořizování snímků	49
3.3.2	Ostření.....	49
3.3.3	Zaznamenané problémy	50
3.3.3.1	Tuhost montáže	50
3.3.3.2	Bezpečnost.....	51
4	Porovnání dat s výsledky z NASA	52
4.1	<i>Databanka SDO</i>	52
4.2	<i>H-alfa 2013-10-19 11:33 UT</i>	53
4.3	<i>H-alfa 2013-10-19 11:40 UT</i>	56
4.4	<i>Baaderova folie 2013-11-22 14:15 UT</i>	59
4.5	<i>Projekce TAL-120 2013-11-22 14:29 UT</i>	62
4.6	<i>Projekce TAL-120 2013-02-23 14:21</i>	65
4.7	<i>Projekce TAL-120 2014-03-10 15:30 UT</i>	68
4.8	<i>H-alfa 2012-06-06 4:18 UT</i>	72
4.9	<i>Porovnání</i>	76
Závěr	77	
Použitá literatura a informační zdroje	78	
Seznam obrázků a zdrojů obrázků	80	

ÚVOD

Každý někdy viděl Slunce, bez něj by asi těžko mohl vzniknout život na Zemi. Ale známe naše Slunce tak dobře, když jej vidáváme každý den na obloze? Nebo známe daleko víc faktů o jiných hvězdách, ale o naší mateřské jen velmi málo? Anebo si myslíme, že známe Slunce tak dobře, že už nic vědět nepotřebujeme?

„Slunce, náš nejbližší hvězdný soused, jehož životadárné paprsky nám zpřijemňují letní čas, je bezesporu naší nejsledovanější hvězdou. Sluneční astronomové z různých koutů světa studují sluneční aktivitu s pomocí různorodých přístrojů a to jak na Zemi, tak ve vesmíru takřikajíc každý den. Mohlo by se tak zdát, že nás nemůže již ničím překvapit. Opak je však pravdou.“¹

Nejen tento citát, ale i touha po poznání nových světů, které si člověk jen těžko dokáže představit, mne přivedla na myšlenku vypracovat práci právě na problematiku zabývající se hlubším studiem Slunce.

V této práci chci jako v první řadě porovnat pozorovací metodiku Slunce především pro běžné uživatele dalekohledů s pořizovacími náklady pod 10.000 Kč. Otázkou však zůstává, do jaké míry jsou tyto „levné“ metody pozorování ještě účinné? Proto se různé metody pozorování snažím porovnat jak mezi sebou, tak i s referenčními daty z NASA.

V praktické části se budu snažit čtenáři přiblížit základní poznatky o fyzikálních vlastnostech Slunce, ale jako hlavní cíl práce vidím v praktických pozorováních Slunce. Myslím, že bude zajímavé porovnání několika odlišných metod, protože jedině tak lze s určitostí mluvit o relevantních výsledcích určité metody. Protože není vyloučeno, že daný postup nevnáší do pozorování nějakou chybu či nepřesnost. Jedná se sice o vlastnost všech měřidel (v mém případě dalekohledů), ale metrolog (pozorovatel), který nezná vady a pochybnosti měření (pozorování), nemůže s dostatečnou přesností tvrdit, zda získaný výsledek je skutečně reálný nebo zda se jedná jen o jakýsi žert ze strany měřidla (dalekohledu).

Hlavní využití spatřuji ve shrnutí základních poznatků o Slunci a především v praktické části, která může nadchnout potenciální pozorovatele, pro proniknutí do světa astronomie, potažmo přímo k pozorování Slunce.

¹ DRUCKMÜLLER, Miloslav. Červenec 2010 - Vnitřní koróna Slunce při úplném zatmění 11. 7. 2010. In: *Česká astronomická společnost* [online]. 11. 7. 2010 [cit. 2014-01-04]. Dostupné z: <http://www.astro.cz/cam/2010/07/>

V práci, kterou jsem započal, budu i nadále pokračovat, přeci jen se Slunce neustále mění, např. sluneční erupce probíhají v řádu hodin, granulace probíhá v řádu hodin. Proto jsem již už teď domluven s vedením hvězdárny ve Veselí nad Moravou s p. Kazíkem, který mi ve všem vychází vstříc, na několika dnech pozorování Slunce, které bych chtěl zábavnou formou přiblížit velké skupině veřejnosti.

Postupně chci nabyté znalosti zúročit během několika přednášek při zájmových akcích u nás na gymnáziu, např. při Noci vědců nebo při dnu otevřených dveří a provést sérii pozorování ve spolupráci s hvězdárnou ve Veselí nad Moravou.

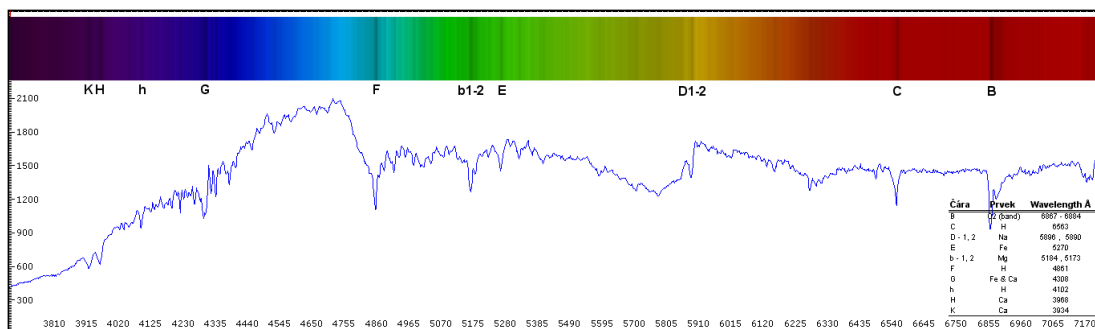
1 Slunce obecně

1.1 Slunce naše nejbližší hvězda

Slunce je naší nejbližší hvězdou. Od země nás dělí 1 AU (tj. cca 150 000 000 km) meziplanetárního prostoru. V této a následujících kapitolách si povíme něco o vzniku a základních fyzikálních principech slunce a jemu podobných hvězd.

1.2 Vnitřní stavba

Ve Slunci je soustředěna přibližně veškerá hmota Sluneční soustavy tedy cca 99,78% ². Díky spektrografu jsme schopni určit přibližné složení Slunce, pomocí tzv. spektrálních čar ³. (spektrograf určí pouze složení fotosféry-nejnižší viditelné vrstvy Slunce). (Obr. 1) Složení se určuje z absorpčních čar, jsou to tmavé čáry ve spektrogramu, jedná se o vlnové délky světla, které určitá látka pohltí (absorbuje) a dál už nepropustí. př. v Obr. 1, čára „C“ je absorpční čára vodíku, tzv. H-alfa.



Obr. 1: Sluneční spektrum; spektrograf: MERIS; Rozlišení 2,18 A/px

2 HLAD, Oldřich a Jaroslav PAVLOUSEK. Přehled astronomie. druhé, přepracované a doplněné. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1990. ISBN 80-030-0160-9., s. 187

3 KRYNICKÝ, Martin. 5.4.2 Spektrální analýza, záření černého tělesa. Učebnice fyziky pro gymnázia [online]. 2010, 23. 4. [PDF]. 2010 [cit. 2014-02-25].
Dostupné z: http://www.ucebnice.krynicky.cz/Fyzika/5_Optika/4_Elektromagneticke_zareni/5402_Spektralni_analyza_cerne_teleso.pdf

Každopádně díky matematickým modelům Slunce, porovnaných se skutečnými naměřenými hodnotami kombinovanými se spektrogramem, fyzici určili, že naše Slunce obsahuje následující prvky v procentuálním podílu. (Tab. 1)

Tab. 1 Procentuální složení Slunce

prvek	Vodík	Helium	Ostatní prvky
podíl v %	92,1	7,8	0,1

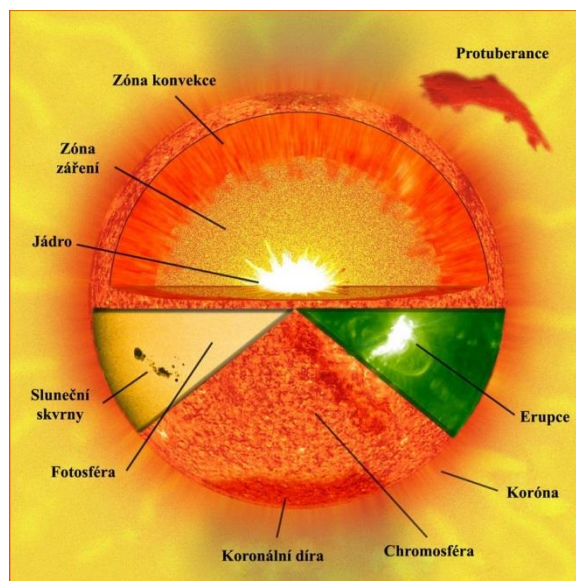
Jak můžeme vidět v tabulce, největší zastoupení má vodík dále pak helium. Ostatní prvky se na Slunci nacházejí v zanedbatelném stopovém množství. Samozřejmě toto složení je celkové, neudává složení pouze jádra nebo fotosféry, ale kompletně celého Slunce.

Ze složení můžeme odhadnout, jakým způsobem Slunce získává energii. (kapitola 1.5, Kde se ve Slunci bere energie)

1.2.1 Jádro

Ve Slunci se jádro nachází ve výšce 0 – 175 000 km od geometrického středu (tj. cca 500 000 km pod povrchem). Jádro je složeno z 63 % helia, 35 % vodíku a 2 % ostatních látek. Je velmi husté $150\,000\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, teplota uvnitř dosahuje přibližně $15\,600\,000\text{ K}$.⁴ Je zajímavé, že jádro má odlišné složení než zbytek Slunce, kde převažuje vodík. Je to dáno především reakcí, která v jádře probíhá, obecně se tato reakce nazývá nukleární fúze. Dochází při ní k syntéze dvou atomů vodíku, které vytvoří jeden atom helia. Při vytvoření atomu helia dojde k vyzáření energie. Nukleární fúze by nemohla probíhat nebýt vysoké teploty a tlaku v jádře.

⁴ Charakteristika Slunce. Astronomia: Astronomický server Fakulty Pedagogické ZČU v Plzni [online]. 2014 [cit. 2014-02-25]. Dostupné z: <http://astronomia.zcu.cz/hvezdy/slunce/729-charakteristika>



Obr. 2: Schéma Slunce

1.2.2 Radiční (zářivá) zóna

Vyplňuje prostor mezi jádrem a konvektivní zónou. Hustota se snižuje (mezi 20 000 až 200 kg*m⁻³), klesá i teplota ze 7 500 000 K na 2 000 000 K. Zářivá zóna se označuje, díky tomu, že se přes ni šíří fotony, které se srážejí o elektrony a kvůli tomu dochází k odklonění fotonu z přímé dráhy a zmenšení energie fotonu. Proto se udává, že cesta fotonu z jádra přes zářivou zónu na povrch trvá přibližně 170 000 let až 1 000 000 let (přesnou hodnotu dosud neznáme).^{5 6}

1.2.3 Konvektivní zóna

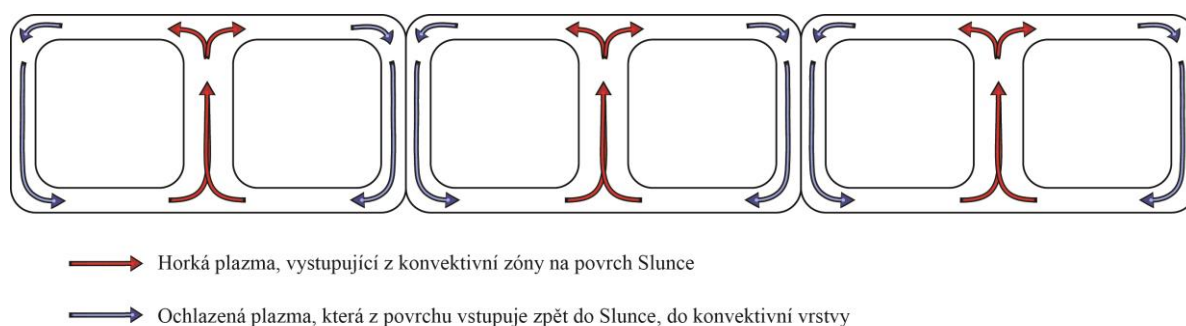
Poslední významnou vrstvou je konvektivní zóna. V konvektivní zóně panují úplně jiné podmínky než v předchozích dvou vrstvách. Především se sníží teplota natolik (pod 2 000 000 K), že začínají vznikat atomy, které zabrání velkému měrou postupu fotonů skrz, to má za následek to, že se oblast ochladí ještě víc. Dochází k velkému rozdílu teplot pod a nad vrstvou z čehož plyne, že

⁵Šíření energie ve Slunci. *Astronomia: Astronomický server Fakulty Pedagogické ZČU v Plzni* [online]. 2010 [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://astronomia.zcu.cz/hvezdy/slunce/739-sireni-energie-ve-slunci>

⁶ŠVANDA, Michal. Slunce jako hvězda I: *Astronomický ústav AV ČR* [MP3, audiozáznam přednášky]. 2013 [cit. 2014-03-13]. Dostupné z: <http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/zvukove-zaznamy/workshop-III-slunce-msv-01.mp3>

se začne horká masa hmoty (na Obr. 3, znázorněna červenými šipkami) promíchávat s chladnější vrstvou (znázorněna modře). Respektive, dochází k „padání“ chladnější vrstvy níž, kde se oteplí a zase teplejší hmota díky nižší hustotě vystoupí do chladnější a předá tepelnou energii okolí, a jako ochlazená vrstva padá zpět do větší hloubky.

Díky konvekci se tak nezastaví přenos energie a Slunce tak díky ní „nezkolabuje“^{7 8}



Obr. 3: Schéma konvekce na Slunci

1.3 Slunce v čase

1.3.1 Zrod Slunce

Zrod Slunce byl podmíněn existencí molekulárního mračka (Obr. 4). Molekulární mračno je oblak částic, o „velké hustotě“ oproti okolnímu vakuu. Hustota plynu v mračnu je přibližně 100 částic na cm^3 (v naší atmosféře je přibližně $2,69 \cdot 10^{19}$ částic v jednom cm^3). Aby mohla vzniknout hvězda (Slunce), musí dojít ke kolapsu molekulárního mračka, vlivem zhuštění částic a následného gravitačního přitahování nebo působením vnější síly (poblíž výbuch supernovy nebo průlet galaxií...). Při kolapsu dochází k „drobení“ mračka na menší díly, z nich pak vznikají jednotlivé hvězdy. Kolaps probíhá poměrně

⁷ ŠVANDA, Michal. Slunce jako hvězda: *Astronomický ústav AV ČR* [PDF]. 2013 [cit. 2014-03-13]. Dostupné z: http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/dokumenty/workshop-III-01-msv-slunce_jako_hvezda.pdf

⁸ ŠVANDA, Michal. Slunce jako hvězda I [MP3, audiozáznam přednášky]. 2013 [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: <http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/zvukove-zaznamy/workshop-III-slunce-msv-01.mp3>

rychle v řádu desítek tisíc let. V poslední fázi je hustota plynu $10^{-10} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (sto miliardkrát větší).



Obr. 4: Příklad molekulárního mračna, na obrázku je Růžicová mlhovina, NGC 2237

„Drobkům“ říkáme odborně protohvězdy. Jsou to plynné shluky, v jejichž nitru je teplota okolo 2000 K. Hustota uvnitř jádra je $10^{-5} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a teplota se dále zvětšuje, až na hodnotu 1 000 000 K. Při překročení teploty 1 000 000 K dojde k zapálení termojaderné reakce deuteria (izotop vodíku), zároveň dochází k započetí rotace. Deuteria je ve hvězdě velmi málo, reakce trvá jen pár milionů let. Při ní dochází k nárůstu teploty, na hodnotu, při které se může zapálit standartní termojaderná fúze proton-proton.^{9 10}

1.3.2 Současnost

Tak jak Slunce známe teď, bylo už před 4,5 miliardami let a ještě dalších 6,4 miliard let tu bude. Zářivý výkon postupně (pomalu) roste a hmotnost nepatrně klesá. Ale to nemění nic na tom, že z pohledu lidského života se Slunce moc nemění.¹¹

⁹ ŠVANDA, Michal. *Slunce jako hvězda: Astronomický ústav AV ČR* [PDF]. 2013. Dostupné z: http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/dokumenty/workshop-III-01-msv-slunce_jako_hvezda.pdf

¹⁰ ŠVANDA, Michal. *Slunce jako hvězda I* [MP3, audiozáznam přednášky]. 2013 [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/zvukove-zaznamy/workshop-III-slunce-msv-01.mp3>

¹¹ ŠVANDA, Michal. *Slunce jako hvězda I* [MP3, audiozáznam přednášky]. 2013 [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/zvukove-zaznamy/workshop-III-slunce-msv-01.mp3>

1.3.3 Budoucnost

Slunce ve svém nitru spaluje vodík, respektive jej mění na helium, z čehož nám plyne jednosměrná chemická rovnice, po určité době bude spálen všechen vodík a místo něj bude Slunce na slunci helium. Ta doba nastane až za 4,8 miliard let (dnes spálena přibližně polovina), ale pozorovatel na Zemi nebude schopen určit, jestli na Slunci opravdu došel vodík. Protože v tu chvíli se jaderná reakce úplně nezastaví. Pouze se přesune do vyšších vrstev jádra až nakonec na okraj zářivé zóny.

V tu chvíli dochází ke gravitačnímu kolapsu jádra, dojde k jeho smrštění, Slunce to na první pohled nijak nezmění. Postupně se však začne zvětšovat jeho objem a zmenšovat jeho teplota, dostane se na H-R diagramu na posloupnost Rudých obrů. Tento přechod trvá 700 milionů let. A na konci přechodu má průměr $2,8 R_0$ a teplotu 4 900 K.

Dochází k další expanzi, konvektivní zóna klesá níž k jádru, potkají se za 7,6 miliard let. To má za následek to, že se k jádru bude dostávat „čerstvý materiál“ a Slunce rychle nabobtná na $166 R_0$. U rudých obrů bude ještě 600 milionů let.

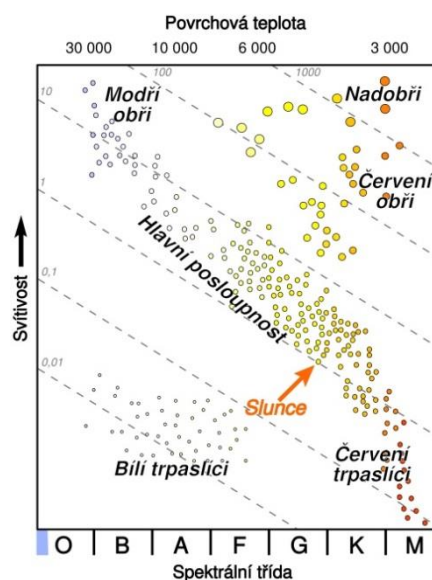
Když teplota v jádře Slunce dosáhne teploty $100 \cdot 10^6$ K. Dojde k tzv. heliovému záblesku. Je to reakce helia, nazývané také jako 3 – alfa proces. Kdy ze tří jader helia vznikají těžší prvky. Protože v celé vrstvě bude stejná teplota, tak heliový záblesk proběhne ve vrstvě záraz a šíří se od jádra k povrchu. Dojde k odnosu vnějších vrstev. Slunce bude rozděleno na vrstvy podle hustot (př. vrstva uhlíku, kyslíku, pak helia, vodíku)

Nakonec dojde k odhozům svrchních obalů, expanze trvá 400 let, zpětná kontrakce zbytků vlivem gravitace trvá asi 10 000 let, toto se asi 4 krát opakuje, dochází k vytvoření planetární mlhoviny. A nakonec dojde k odhalení jádra, které má velkou teplotu a nazýváme jej bílý trpaslík. Postupně chladne a mění se z bílého na černého, v řádu desítek až stovek miliard let. Tím skončí Slunce svůj život.^{12 13}

¹² ŠVANDA, Michal. *Slunce jako hvězda I* [MP3, audiozáznam přednášky]. 2013 [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/zvukove-zaznamy/workshop-III-slunce-msv-01.mp3>

1.4 Srovnání

Abychom mohli Slunce srovnávat, musíme najít způsob, jak Slunce porovnávat s ostatními hvězdami. Tzn., že musíme najít nějaké spojitosti s přibližnou velikostí, svítivostí, hustotou, spektrální třídou apod. Proto na počátku 20. Století vznikl Hertzsprungův-Russelův diagram, který rozděluje hvězdy na svítivost závislou na spektrální třídě. (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**)



Obr. 5: Hertzsprungův-Russelův diagram

1.4.1 Hertzsprungův-Russelův diagram

Známý také jako H-R diagram. Rozděluje hvězdy do několika skupin (pro příklad, Hlavní posloupnost, bílí a červení trpaslíci, modří a červení obři a nadobři), v závislosti svítivosti hvězdy na její spektrální třídě.

Nejzajímavější ze všech skupin je hlavní posloupnost, na které je v současnosti i naše Slunce a ještě nějakou dobu tam setrvá, postupně se však

¹³ ŠVANDA, Michal. *Slunce jako hvězda: Astronomický ústav AV ČR* [PDF]. 2013. Dostupné z: http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/dokumenty/workshop-III-01-msv-slunce_jako_hvezda.pdf

bude dostávat do skupiny červených obrů a pak seskočí k bílým trpaslíkům nebo červeným. Hlavní posloupnost je nejčastější stav, ve kterém se mohou hvězdy nacházet, proto nad všemi skupinami početně převažuje. Hlavní posloupnost je esovitě zahnutá. (Obr. 5)

1.4.2 Spektrální třídy

Podle spektra hvězd je dělíme na jednotlivé spektrální třídy. Třídy označujeme písmeny, v současnosti je 99 % hvězd rozděleno do tříd O; B; A; F; G; K; M, kdy třída O je nejteplejší a třída M je nejchladnější. Naše Slunce se nachází ve třídě G, především díky své povrchové teplotě 5 800 K a svému absorpčnímu spektru. (Obr. 5)

1.5 Kde se ve Slunci bere energie

V první řadě musím připomenout zákon o zachování energie, který zní takto: *„Při všech dějích v soustavě těles se mění jedna forma energie v jinou, nebo přechází energie z jednoho tělesa na druhé; celková energie soustavy těles se však nemění.“*¹⁴ Proto nemůžeme říct, že se ve Slunci energie „bere“ nýbrž přeměňuje.

Studiem slunečního spektra vědci zjistili, že Slunce je tvořeno z 92,1 % vodíku a ze 7,8 % helia.¹⁵ Při výpočtech matematických modelů vědci zjistili, že musí ve Slunci docházet k přeměně vodíku na helium, tyto matematické modely totiž velice přesně odpovídaly naměřeným hodnotám, proto vědci usoudili, že v nitru Slunce dochází při extrémních fyzikálních podmínkách k syntéze dvou vodíkových jader (protonů) v jeden atom helia. Přesněji slučují se čtyři vodíková jádra a vznikají dvě jádra helia. Při této reakci dojde k uvolnění určitého množství energie.

¹⁴ REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Zákon zachování energie. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2006 [cit. 2014-03-10].

Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/50-zakon-zachovani-energie>

¹⁵ Charakteristika Slunce. *Astronomia: Astronomický server Fakulty Pedagogické ZČU v Plzni* [online]. 2014 [cit. 2014-02-25]. Dostupné z: <http://astronomia.zcu.cz/hvezdy/slunce/729-charakteristika>

Dalšími výzkumy bylo zjištěno, že mimo cyklus Proton-Proton (zkráceně P-P) existuje i další cyklus CNO (uhlík-dusík-kyslík), který je efektivnější, ale potřebuje vyšší teplotu, aby mohla reakce probíhat.¹⁶

1.5.1 Proton-Protonový cyklus

Tento způsob přeměny energie je z 99 % zastoupen v našem Slunci. Zápalná teplota je přibližně 1 000 000 K, pod tuto hranici proces rozhodně neprobíhá. Jedná se o způsob syntézy dvou atomů helia ze čtyř atomů vodíku. (Obr. 6)

Proces probíhá postupně, ze dvou jader vodíku ^1H vznikne atom vodíku deuterium (proton + neutron) ^2H . Vzniklé deuterium se sloučí s dalším jádrem vodíku a vznikne izotop helia ^3He , který se sloučí s dalším izotopem helia a vznikne atom helia ^4He (2 protony a 2 neutrony).^{17 18}

1.5.2 CNO cyklus

Nazývaný také jako CN cyklus.

Na první pohled se zdá, že tento cyklus je složitější než P-P cyklus, ale výsledkem reakce je de facto to samé, atom helia. Jedná se tedy o efektivnější postup syntézy helia. Na rozdíl od P-P cyklu je potřeba vyšší teploty o přibližné hodnotě 10 000 000 K. Ve skutečnosti je tato teplota nezbytné minimum pro udržení průběhu reakce. Oproti P-P cyklu se reakce účastní katalyzátory, uhlík, dusík, kyslík, které vychází z rovnice nezměněny.^{19 20} **(Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.)**

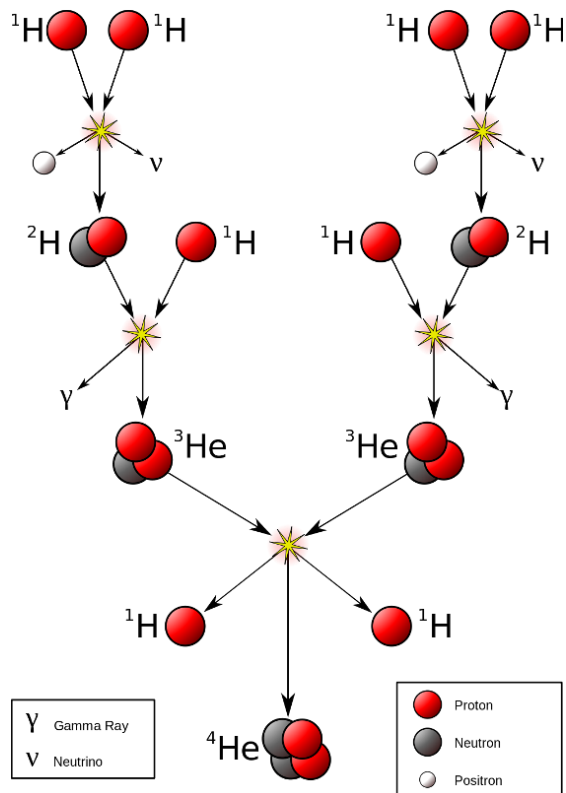
¹⁶ ŠVANDA, Michal. *Slunce jako hvězda I* [MP3, audiozáznam přednášky]. 2013 [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/zvukove-zaznamy/workshop-III-slunce-msv-01.mp3>

¹⁷ ŠVANDA, Michal. *Slunce jako hvězda I* [MP3, audiozáznam přednášky]. 2013 [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/zvukove-zaznamy/workshop-III-slunce-msv-01.mp3>

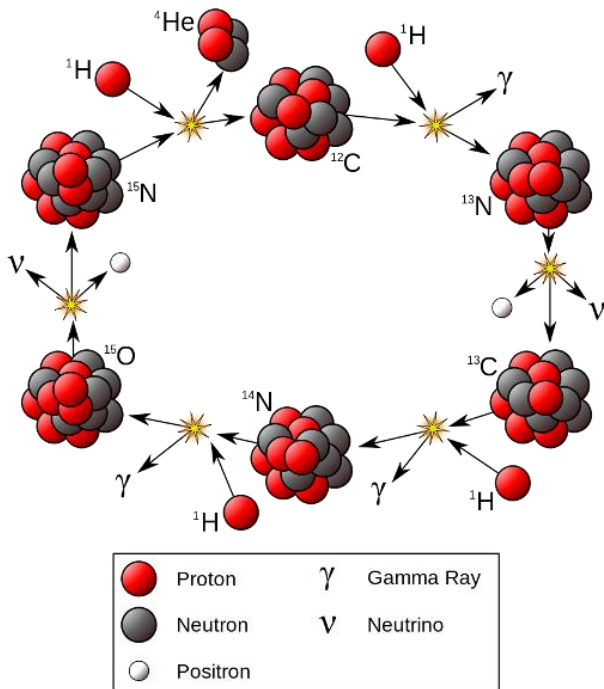
¹⁸ ŠVANDA, Michal. *Slunce jako hvězda: Astronomický ústav AV ČR* [PDF]. 2013. Dostupné z: http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/dokumenty/workshop-III-01-msv-slunce_jako_hvezda.pdf

¹⁹ ŠVANDA, Michal. *Slunce jako hvězda I* [MP3, audiozáznam přednášky]. 2013 [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/zvukove-zaznamy/workshop-III-slunce-msv-01.mp3>

²⁰ ŠVANDA, Michal. *Slunce jako hvězda: Astronomický ústav AV ČR* [PDF]. 2013. Dostupné z: http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/dokumenty/workshop-III-01-msv-slunce_jako_hvezda.pdf



Obr. 6: Proton-Protonový cyklus

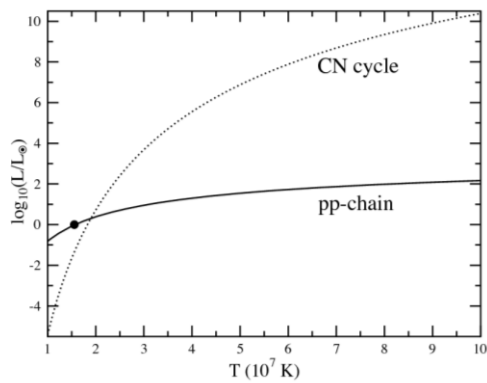


Obr. 7: CNO cyklus

1.5.3 P-P versus CNO

Na první pohled můžeme s jistotou říct, že CNO cyklus je co se týče reakce náročnější, protože reakce probíhá díky katalyzátorům.

Když zaneseme do grafu na svislou osu objem energie obou cyklů a na vodorovnou osu teplotu můžeme vidět, že funkce CN(O) cyklu je velmi strmá na rozdíl od P-P cyklu.



Obr. 8: Graf závislosti energie na teplotě v cyklech P-P a CN(O)

2 Pozorovací techniky

2.1 Úvod do pozorování

Asi každý se někdy podíval na Slunce a asi mi dáte zapravdu, že to moc příjemné nebylo, obzvlášť tehdy, když bylo jasno. Z toho plyne, že Slunce musí mít velký světelný výkon.

Sluneční světelný výkon, označovaný také jako Sluneční konstanta, je světelný výkon ve Watech vztažený na jeden čtverečný metr, tedy $W \cdot m^{-2}$. Přesná hodnota Sluneční konstanty je $K_S = 1\,366\, W \cdot m^{-2}$ ²¹. Tato hodnota se může měnit v závislosti na čase a také sluneční aktivitě.

2.2 Co lze na Slunci pozorovat

2.2.1 Atmosféra

Byť se nám to může zdát trochu podivné, má i naše Slunce atmosféru, je to jediná oblast Slunce, kterou můžeme současnými prostředky (vizuálně) pozorovat.

2.2.1.1 Fotosféra

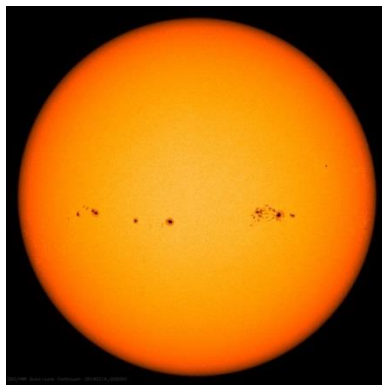
Na Slunci můžeme pozorovat nejprve fotosféru, aniž bychom používali speciálních dalekohledů. „(Fotosféra) *Je vnější vrstva slunečního povrchu, ze které přichází viditelné záření. Její tloušťka je asi 300 km.*“²² Teplota fotosféry je přibližně $5\,700\, K$ ²³. Ve fotosféře můžeme pozorovat různé sluneční úkazy,

²¹ Sluneční konstanta. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Slune%C4%8Dn%C3%AD_konstanta

²² Atmosféra Slunce. In: *Astronomie: Astronomický server Fakulty Pedagogické ZČU v Plzni* [online]. 2010, 26. 1. 2013 [cit. 2014-01-04]. Dostupné z: <http://hvezdy.astro.cz/slunce/740-atmosfera-slunce>

²³ HLAD, Oldřich a Jaroslav PAVLOUSEK. *Přehled astronomie*. druhé, přepracované a doplněné. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1990. ISBN 80-030-0160-9, s. 190

především však sluneční skvrny. Horní hranice fotosféry je dána především vysokou hustotou oproti nízké hustotě chromosféry nad fotosférou.

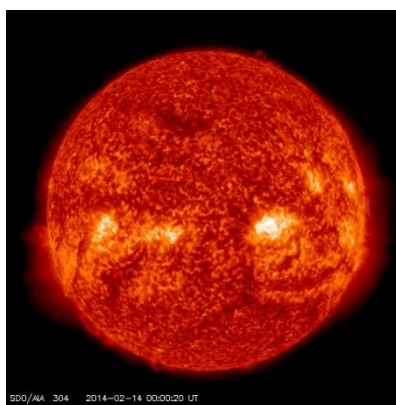


Obr. 9: Příklad Fotosféry, SDO HMI; 2014-02-14

2.2.1.2 Chromosféra

Oblast nad fotosférou, mocná přibližně 12 000 až 15 000 km. Lze ji pozorovat jen speciálními dalekohledy, především s H-alfa filtrem nebo tzv. chromosférickým dalekohledem. Teplota chromosféry s výškou stoupá. Teplota chromosféry dosahuje až 50 000 K.²⁴

Chromosféra je výrazně načervenalá, způsobuje to především záření vodíku v čáře H-alfa.²⁵ Snímky pořízené vědeckými zařízeními se označují signací AIA 304, která označuje snímek pořízený ve spektru 30,4 nm (vrchní část chromosféry), nebo také jako H-alfa.



Obr. 10: Příklad obrázku Chromosféry, SDO 304; 2014-02-14, teplota 50 000 K

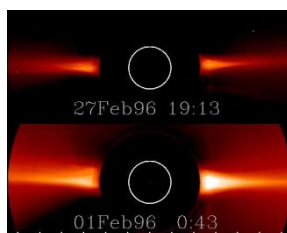
²⁴ HLAD, Oldřich a Jaroslav PAVLOUSEK. *Přehled astronomie*. druhé, přepracované a doplněné. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1990. ISBN 80-030-0160-9. s. 192

²⁵ HLAD, Oldřich a Jaroslav PAVLOUSEK. *Přehled astronomie*. druhé, přepracované a doplněné. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1990. ISBN 80-030-0160-9. s. 192

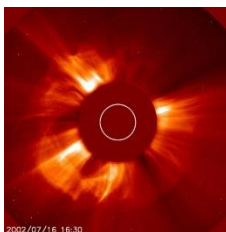
2.2.1.3 Koróna

Poslední a nejmocnější vrstva je koróna. Je složena především z velmi řídkého plazmatu. Vlivem rozpínivosti plynu se korona pohybuje směrem od Slunce, známá je také jako sluneční vítr.

Koróna se v průběhu sluneční aktivity mění. V období slunečního minima je míň „střapatá“ než v období maxima (Obr. 11 a Obr. 12).²⁶



Obr. 11: Sluneční koróna při minimu sluneční aktivity; 1996



Obr. 12: Sluneční koróna v období maxima sluneční aktivity; 2002

S teplotou okolo několika milionů kelvinů se jedná o nejteplejší vrstvu sluneční atmosféry. Proč je její teplota tak vysoká, se zatím nepodařilo uspokojivě dokázat. Avšak existuje několik teorií:

První zahrnuje magnetické pole, které z velké části může ovlivňovat pohyb plazmatu. A tím tak způsobit jeho ohřev.

Další pracuje s faktem, že koróna je velmi řídká, a proto stačí jen velmi malá energie na její ohřátí.

Je vidět pouze při úplném zatmění Slunce nebo speciálním dalekohledem-koronografem.ⁱ

²⁶ ŠVANDA, Michal. *Slunce a Sluneční soustava: Astronomický ústav AV ČR* [PDF]. 2013. Dostupné z: http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/dokumenty/workshop-III-03-msv-slunecni_soustava.pdf

ⁱ Standartní dalekohled (např. refraktor, reflektor), který má v ohnisku umístěn umělý měsíc.

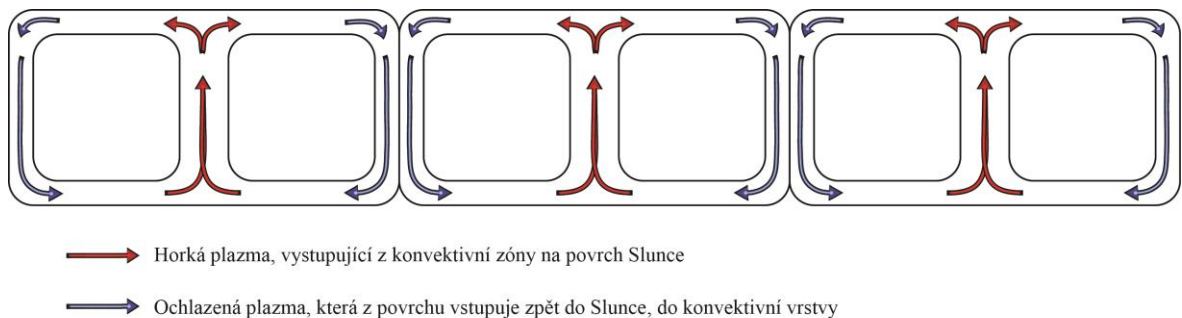


Obr. 13: Viditelná koróna při úplném zatmění Slunce v roce 2008, © Miloslav Druckmüller

2.3 Útvary ve fotosféře

2.3.1 Sluneční skvrny

Mezi nejznámější úkazy na slunci patří zejména sluneční skvrny. Jsou to chladnější místa ve fotosféře, která jsou způsobena zesílením magnetického pole. Ve slunečních skvrnách je magnetické pole silnější až 3 000 krát. Podstatou vzniku sluneční skvrny je to, že se dojde k poruše magnetického pole, a to, vystoupí na povrch Slunce, kde poruší konvekci, a tedy dojde k ochlazení slunečního povrchu. Proto jsou sluneční skvrny tak kontrastní od okolí.^{27 28}

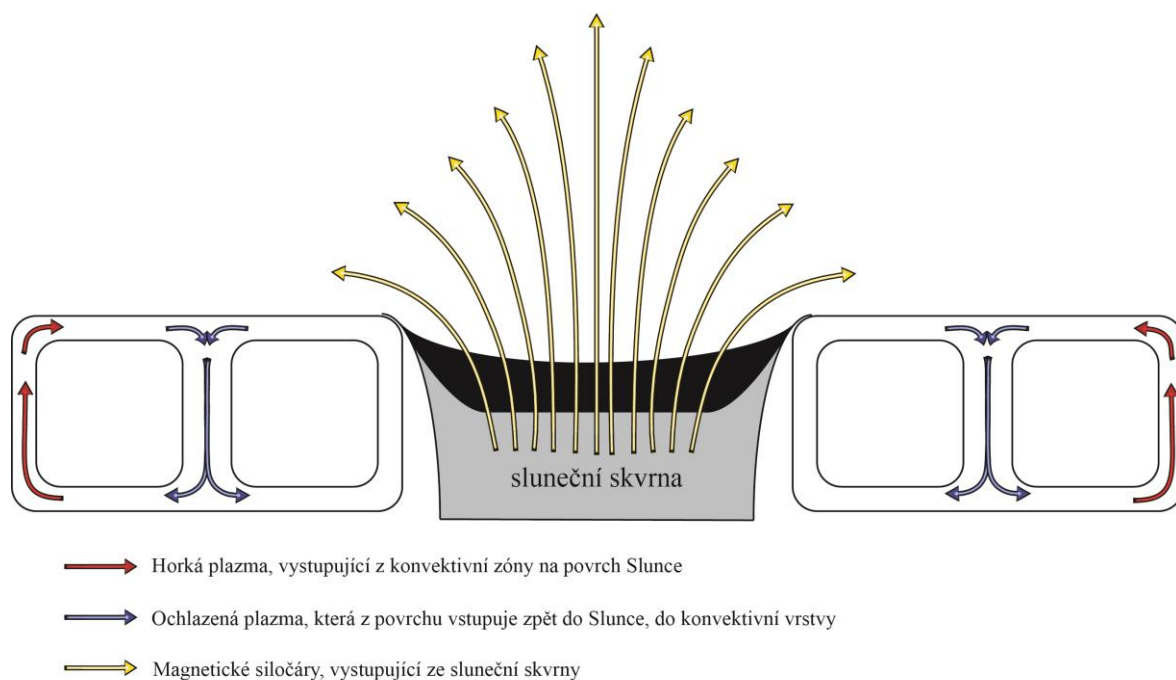


Obr. 14: Konvekce pod povrchem Slunce bez skvrny

²⁷ SOBOTKA, Michal. *Sluneční skvrny od A do Z: Astronomický ústav AV ČR, Ondřejov* [PDF]. 2013 [cit. 2014-03-11].

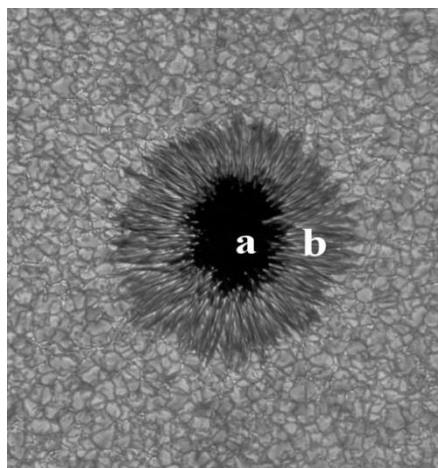
Dostupné z: <http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/dokumenty/workshop-III-mso-05-skvrny-od-a-do-z.pdf>

²⁸ SOBOTKA, Michal. *Sluneční skvrny od A do Z* [MP3, audiozáznam přednášky]. 2013 [cit. 2014-03-11]. Dostupné z: <http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/zvukove-zaznamy/workshop-III-slunce-mso-07.mp3>



Obr. 15: Porušení konvekce vlivem defektu magnetického pole se sluneční skvrnou

U sluneční skvrny rozlišujeme dvě části, a to Umbro (a) a Penumbro (b).
(Obr. 16)



Obr. 16: Sluneční skvrna (AR NOAA 1084) pořízená 02. 07. 2010, teleskop BBSO, v úzkém pásmu 706 nm

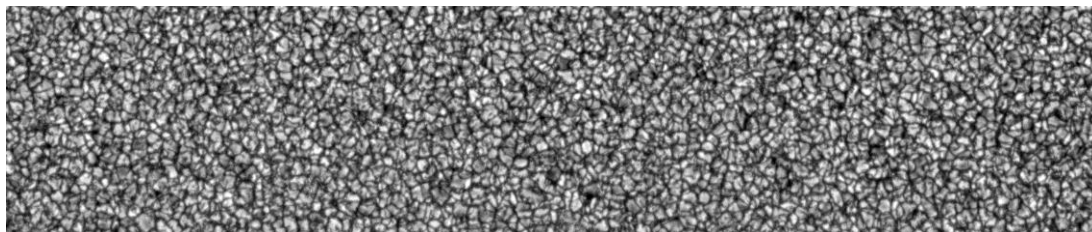
Umbro, je tmavý střed skvrny, ve kterém je velmi silné magnetické pole. Umbro je z celé sluneční skvrny nejnižší, z toho důvodu, že vlivem magnetického pole nedochází ke konvekci.

Penumbro, šedý okraj okolo umbra, magnetické pole je už slabší. Tvoří přechod mezi umbrem a slunečním povrchem. „Při vyšším rozlišení je patrné, že se skládá z jasných protáhlých zrn, která vytvářejí úzká jasná vlákna na tmavém pozadí.“²⁹

Výskyt slunečních skvrn je závislý především na aktivitě Slunce. Jestliže je Slunce tzv. v maximu, bude pravděpodobnost výskytu skvrn vyšší než při slunečním minimu. Skvrny se objevují v pravidelné periodě vždy po 11 letech. Perioda 11 let je doba, za kterou se Slunce přepóluje, tzn. prohodí severní magnetický pól za jižní a naopak.^{30 31}

2.3.2 Granulace

Důsledkem konvektivních proudů je tzv. granulace. Jsou to útvary ve fotosféře velikosti asi 1000 km trvající jen několik minut. Jednotlivé granule jsou proudy plazmatu, které vytékají na povrch slunce rychlostí $0,4 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ ve středu a jejich horizontální rychlost je $0,25 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ na okraji. Někdy může granule vybuchnout, při tom se začne pohybovat rychlostí až $1,5 - 2,0 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Tento jev trvá přibližně 10 minut.³²



Obr. 17: Příklad granulace, HINODE: Granulation, pixel 0.055", continu à 5550 Å

²⁹ Sluneční skvrny. *Astronomia: Astronomický server Fakulty Pedagogické ZČU v Plzni* [online]. 2010 [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://astronomia.zcu.cz/hvezdy/slunce/744-slunecni-skvrny>

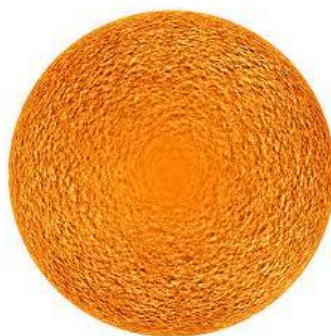
³⁰ SOBOTKA, Michal. *Sluneční skvrny od A do Z: Astronomický ústav AV ČR, Ondřejov* [PDF]. 2013 [cit. 2014-03-11]. Dostupné z: <http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/dokumenty/workshop-III-mso-05-skvrny-od-a-do-z.pdf>

³¹ SOBOTKA, Michal. *Sluneční skvrny od A do Z* [MP3, audiozáznam přednášky]. 2013 [cit. 2014-03-11]. Dostupné z: <http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/zvukove-zaznamy/workshop-III-slunce-mso-07.mp3>

³² Granulace. In: *Astronomia: Astronomický server Fakulty Pedagogické ZČU v Plzni* [online]. 2010, 26. 1. 2013 [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: <http://astronomia.zcu.cz/hvezdy/slunce/742-granulace>

2.3.2.1 Super granulace

Super granulace je jev na Slunci, který je velmi podobný granulaci. Na rozdíl od granulace, trvá déle cca 1-2 dny. A tvoří daleko větší zrna, řádově 10 000 km a víc. Horizontální rychlost je $20 - 300 \text{ m} * \text{s}^{-1}$.^{33 34}



Obr. 18: Obrázek Super granulace, získaný matematickými metodami z několika set snímků z dopplergramu družice SOHO

2.4 Útvary v chromosféře

2.4.1 Spikule

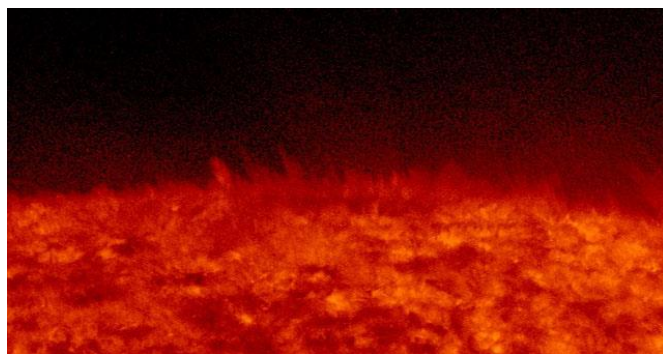
Při pozorování sluneční chromosféry (s vysokým rozlišením) si můžeme všimnout malých vlásků, které směřují od Slunce. Proto se nám okraj slunečního disku zdá při pozorování jakoby rozmazaný.

Spikule jsou výtrysky plazmatické hmoty ze sluneční fotosféry do chromosféry. Rychlost výronu je mezi 20 a 35 $\text{km} * \text{s}^{-1}$, plazma dosahuje výšky až 15 000 km nad sluneční povrch. V poslední době se o spikulích mluví v souvislosti s koronálním ohřevem, jako o možné příčině vysokých teplot v koróně^{35 36}.

³³ ŠVANDA, Michal. *Sluneční dynamika* [PDF]. 2013 [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/dokumenty/workshop-III-02-msv-slunecni_dynamika.pdf

³⁴ ŠVANDA, Michal. *Sluneční dynamika* [MP3, audiozáznam přednášky]. 2013 [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/zvukove-zaznamy/workshop-III-slunce-msv-03.mp3>

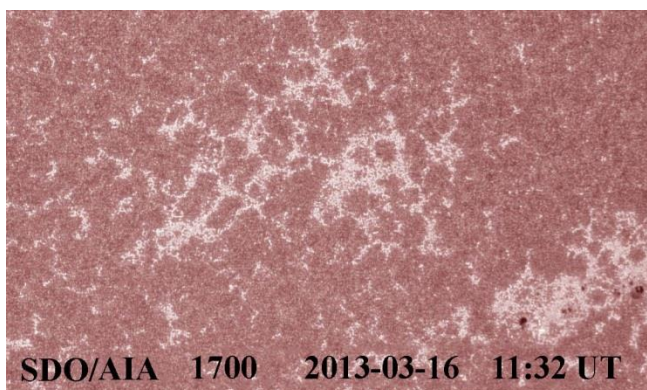
³⁵ Záhada horké sluneční koróny. *Česká astronomická společnost* [online]. 2011 [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: <http://www.astro.cz/clanek/4552>



Obr. 19: Spikuly při okraji slunečního kotouče

2.4.2 Flokule

Je místo v sluneční atmosféře, které má daleko větší světelnou intenzitu než okolí. „Nárůst jasů způsobuje zvýšená intenzita lokálního magnetického pole.“³⁷



Obr. 20: Flokulové pole SDO, vlnová délka 170 nm

2.4.3 Sluneční erupce

Sluneční erupce začíná vznikat už na povrchu Slunce ve fotosféře, ale síla erupce je tak velká, že ve všech případech vyvrhne obrovské množství hmoty do vyšších vrstev atmosféry.

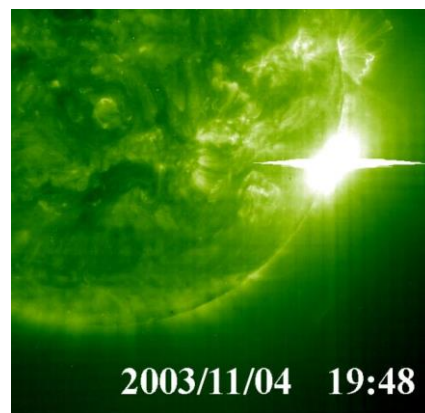
Sluneční erupce rozdělujeme do několika tříd: A, B, C, M, X podle velikosti toku rentgenového záření v blízkosti Země. Toto rozdělení je logaritmické to

³⁶ Spikule. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-03-16]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Spikule>

³⁷ Slunce jako hvězda. *Slunce a jeho pozorování* [online]. 2009 [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: <http://slunce.astronomie.cz/slunce/slunce-jako-hvezda/>

znamená, že třída B je desetkrát silnější než třída A. Potom třída X je 10 000 krát silnější než třída A.³⁸

Projevy silných slunečních erupcí jsou polární záře, magnetické bouře, rušení mobilních telefonů, telekomunikace. Při velmi silných slunečních erupcích dokonce zaznamenáváme i rozpady celé distribuční sítě, př. Quebec blackout (r. 1989), při kterém došlo vlivem sluneční erupce a pochybení obsluhy. Rozpad trval několik sekund, celkový blackout 9 hodin. Vyčíslitelné škody přišly na 6 milionů \$.³⁹



Obr. 21: Velmi silná sluneční erupce (oblast NOAA 10486) v roce 2003, třída X45 (dodnes se přesně nezná síla erupce, přístroje tehdy měřily mimo svůj rozsah)

2.4.4 Protuberance

Mezi nejzajímavější úkazy chromosféry patří bezesporu protuberance, známé také jako CME = coronal mass ejection (česky koronální výron hmoty), který v praxi vypadá nejčastěji jako zvětšující se smyčka nad slunečním povrchem, která se později „odtrhne“ od zbytku slunce a putuje od Slunce společně se slunečním větrem Vesmírem.

³⁸ The Classification of X-ray Solar Flares: or "Solar Flare Alphabet Soup". In: *Space Weather* [online]. 2010 [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: <http://spaceweather.com/glossary/flareclasses.html>

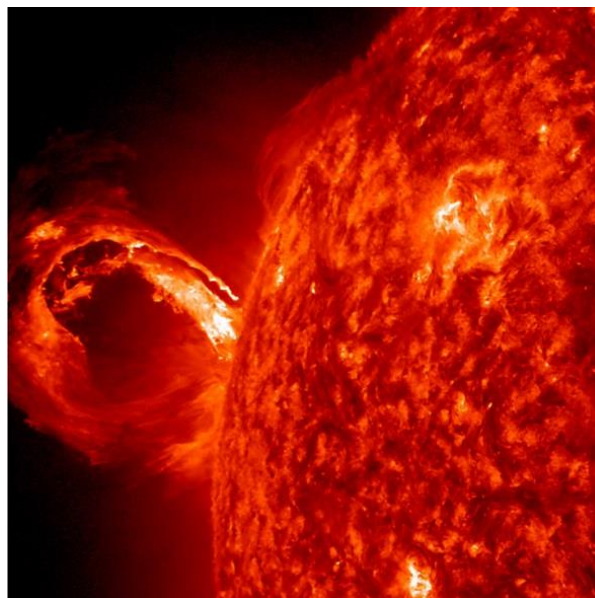
³⁹ ŠVANDA, Michal. *Slunce a Sluneční soustava* [PDF]. Astronomický ústav AV ČR, 2013 [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/dokumenty/workshop-III-03-msv-slunecni_soustava.pdf

Protuberance může člověk na vlastní oči spatřit během úplného zatmění Slunce, kdy protuberance jsou vidět těsně při kraji Měsíce, jako červené linky, tečky, smyčky. (Obr. 22)

Protuberance vznikají jako porucha magnetického pole, které vystoupí ze Slunce společně s plazmou. Můžeme si ji také představit jako trubici, ve které se může plazma šířit vlivem magnetického pole.



Obr. 22: Zatmění Slunce, Maďarsko 11. srpen 1999, Sümeg

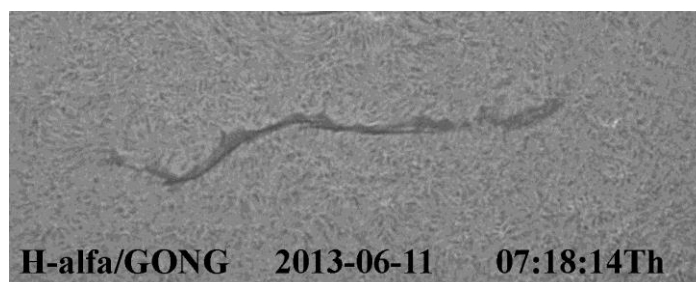


Obr. 23: Příklad protuberance; SDO, 2013-05-01

2.4.4.1 Filament

Nejlépe jde vidět protuberance, když směřuje z okraje slunečního disku pryč, stejně, jako můžeme vidět na Obr. 23. Proto si protuberance můžeme spojovat především se smyčkou. Méně známé jsou však protuberance, které se promítnou na sluneční kotouč. Jedná se o ten samý typ protuberance, jen s tím rozdílem, že ji vidíme ne na okraji Slunce, ale uvnitř slunečního kotouče.

Můžeme je vidět především v úzkém spektru H-alfa.



Obr. 24: Dlouhý filament na slunečním kotouči, snímáno v H-alfa spektru; GONG

2.5 Bezpečnost především

Nejčastěji je možné se setkat s pozorováním přes různé barevné filtry nebo začaděná skla apod. Obzvláště při zatměních slunce je to nejlevnější způsob jak odclonit velkou část slunečního záření.

Při pozorování Slunce si musí být pozorovatel vědom toho, že Slunce září i v jiných oblastech spektra než je viditelné, dokonce neviditelná část je daleko škodlivější než viditelná část. Z toho plyne to, že nestačí odclonit pouze viditelnou část záření, ale hlavně tu neviditelnou. Především Ultrafialovou a infračervenou

Tabulka na následující straně je zpracovaná ze serveru astro.cz, uvádí nejčastěji používané filtry pro pozorování Slunce. (Tabulka 2 dostupné Sluneční filtry)

Tabulka 2 dostupné Sluneční filtry

Filtr	Popis	vyhovuje/nevyhovuje
Baaderova folie	Velmi vhodná, používá se i při profesionálních pozorování, vhodná jak pro dalekohledy, tak i pro fotoaparáty.	vyhovuje
Svářečské sklo	Je uzpůsobeno k pohlcování škodlivého záření, slunce má nazelenalou barvu.	vyhovuje
Speciální filtry pro pozorování slunce	Vyrobené přímo pro pozorování slunce, velmi vhodné, Slunce má světle žlutou až bílou barvu. Vyrobené nejčastěji z baaderovy folie.	vyhovuje
Exponovaný vyvolaný film	V nouzi se může použít, film však musí být přeexponovaný a vyvolaný, musí být zdánlivě neprůhledný, pro delším pozorování nevhodný.	vyhovuje z části
Začazené sklíčko	Velmi oblíbený filtr při zatmění v roce 1999, avšak nevhodný, saze zčásti odstíní (viditelné) záření, ale škodlivé záření propustí dál do oka.	nevyhovuje
Sluneční brýle	Nejsou uzpůsobeny k pozorování slunce, název je zavádějící, sluneční brýle mají za úkol pouze pohltit přebytečné záření.	nevyhovuje
Jakékoliv barevné filtry	Nejsou vhodné, protože vůbec nedokáží odstínit škodlivé záření.	nevyhovuje

2.5.1 Baaderova folie

Mezi astroamatéry velmi známý filtr, který je přímo uzpůsoben pro pozorování a fotografování Slunce. Jedná se o 0,012 mm tenkou folii stříbrné barvy s optickou hustotou $ND=5,0$, redukuje sluneční záření až 100 000 krát. Filtr je velmi vhodný pro pozorování Slunce, je levnější variantou skleněných filtrů. U nás je k dostání ve dvou optických hustotách, a to $ND = 5,0$ a $ND = 3,8$. První je určena především pro vizuální pozorování (je tmavší, mírně kontrastnější), druhý ($ND = 3,8$) se používá pouze pro fotografování, jeho optická hustota je na hranici bezpečnosti pro lidský zrak.

Baaderova folie se umísťuje vždy před optickou soustavu, v našem případě před dalekohled - objektiv, musíme ji umístit pevně, aby během pozorování

nespadla, hrozí totiž poranění zraku vlivem nebezpečného slunečního záření (dalekohled koncentruje světlo do ohniska, takže se nám do oka dostane 100 až 1000x víc světla než normálně)⁴⁰



Obr. 25: Mnou použitá Baaderova folie

2.5.2 H-alfa filtr

Je mezi astronomy hojně rozšířený, poskytuje možnost pozorování Slunce v emisní čáře vodíku, H-alfa. Jedná se o úzkopásmový interferenční filtr určený především pro astronomii.

Mnou použitý filtr se skládá z předního filtru (a), který se na dalekohled připevňuje závitem a z blokačního filtru (b), který se umísťuje na hledáčkový výtah, obsahuje 2. etalon.



Obr. 26: Zapůjčený H-alfa filtr, (a) 1. etalon, (b) 2. etalon/blokační filtr s hledáčkem

Vodík jako nejhojněji zastoupený prvek ve Slunci dokáže existovat v excitovaných stavech, respektive jeho elektrony excitují. Aby mohl prvek excitovat, musí se nacházet v atomárním stavu, to znamená, že musí obsahovat jak jádro (protony), tak i elektronový obal (elektrony). Aby se mohl vodík

⁴⁰ Sluneční filtry (pro pozorování fotosféry). *Dalekohledy Matoušek* [online]. 2005 [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: <http://dalekohledy.cz/webmagazine/products.asp?idk=343>

nacházet v tomto atomárním stavu, musí se ochladit na teplotu, kdy energie elektronu bude tak malá, že dovolí protonu si jej přitáhnout k sobě. V tu chvíli se atom vodíku nachází v excitovaném stavu, přesněji, ve své nejvyšší (třetí) energetické hladině. Snižováním teploty, a tedy energie, dochází k přechodu elektronu do nižšího elektronového orbitalu (do nižší energetické hladiny). Protože se tento děj děje skokově, vyzáří elektron určité množství energie. V případě vodíku, vyzáří záření ve viditelném spektru o vlnové délce 656,28 nm.⁴¹

Díky tomu, že se při povrchu Slunce teplota sníží k teplotě potřebné pro existenci atomárního stavu vodíku, a tedy i excitovaných stavů, můžeme Slunce pozorovat v této emisní čáře vodíku, označované jako H-alfa. V tomto spektru můžeme vidět to nejzajímavější při povrchu Slunce (výšky cca 0-150 000 km)

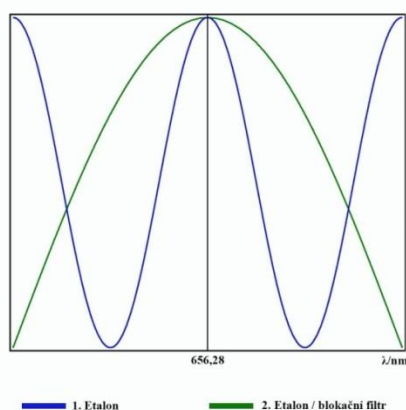
Stavba H-alfa filtru je poměrně náročná na technologii. Na rozdíl od Baaderovy folie, která je jenom folie s nanesenou vrstvičkou kovu, musí filtrovat nejen intenzitu, ale i vlnovou délku světla.

Myslím, že následující popis převzatý z webu Dalekohledy Matoušek je pěkný nástin funkce H-alfa filtru *Srdcem H-alfa filtru je tzv. etalon. Je to interferenční optické zařízení, které se skládá ze dvou tenkých destiček z čistého křemičitého skla opatřených na jedné straně speciálními částečně odrazivými vrstvami na čelní ploše a antireflexními vrstvami na zadní. Mezi destičkami se odráží světlo a interferencí se propouští jen oblast spektra, pro kterou je filtr zkonstruován, tedy 656,28nm.*⁴²

Jen doplním jednotlivé frekvenční průběhy na každém etalonu. První etalon vyjme ze spektra, jen určité frekvence (v pravidelných rozestupech viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, modrá křivka) Druhý (zelená křivka) z těchto frekvencí vyjme pouze tu, která nás zajímá, tzn. vlnovou délku 656,28 nm. Výsledná frekvence je součtem modré a zelené křivky. Ostatní frekvence pásma se vykrátí, takže nám zbyde opravdu jen kýžená hodnota H-alfa.

⁴¹ H-alpha. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/H-alpha>

⁴² Solarscope H-alfa dalekohledy a filtry. *Dalekohledy Matoušek* [online]. 2005 [cit. 2014-03-06]. Dostupné z: <http://www.dalekohledy.cz/webmagazine/products.asp?idk=342>



Obr. 27: Průběhy frekvence na jednotlivých etalonech

2.6 Techniky pozorování Slunce

V zásadě můžeme dělit pozorování na pozemské a kosmické. Mezi ty pozemské se řadí většina zmíněných pozorovacích technik, mezi kosmické pak především vědecké projekty a různé velmi nákladné solární laboratoře. Např. SOHO (Solar & Heliospheric Observatory), SDO (Solar Dynamics Observatory), STEREO (Solar TERrestrial RELations Observatory), ... Samozřejmě vědecké pozorování probíhají i na Zemi, př. GONG (Global Oscillation Network Group), GREGOR, ...

2.6.1 Výhody a nevýhody pozorování ze Země a Vesmíru

Při pozorování ze Země můžeme narazit na tzv. seeing, který je způsoben především vlivem atmosféry, její rozdílnou teplotou, a tedy různým indexem lomu, což se projeví rozmazáním nebo rozechvěním obrazu. Tento jev jde ovlivnit pouze do jisté míry, a to postavením dalekohledu vysoko nad terén, kde je rozdíl teplot už nízký. Nebo použitím zařízení adaptivní optiky, která se dnes už používá na všech velkých a klíčových solárních dalekohledech. Jedná se o zařízení, které dokáže minimalizovat chvění obrazu způsobené atmosférou. Zařízení je velmi složité, ale hlavní součástí je adaptivní zrcadlo, které se dokáže různě deformovat tak, aby viditelný obraz nechvěl.

Výhodou pozorování ze Země je fakt, že dalekohledy mohou být poměrně velké a levné, jsou flexibilní pro jednotlivá pozorování, každý vědec si může

zrealizovat vlastní experiment, tzv. postfokální zařízení (zařízení umístěné až za ohniskem) např. spektrografy, filtry, polarimetry...

Abychom se zbavili chvění obrazu vlivem atmosféry, umístíme dalekohled mimo atmosféru, a to do Vesmíru. Toto je velká výhoda všech dalekohledů nacházejících se ve Vesmíru, kde jsou oproštěni od zkreslení zapříčiněných atmosférou. Další bezespornou výhodou je to, že tento dalekohled můžeme umístit do pozice, která je pro nás nejvýhodnější (různé dráhy kolem Slunce: kolem slunečního rovníku i dokonce přes póly⁴³)

Velká nevýhoda těchto kosmických dalekohledů je ta, že díky absenci atmosféry přichází i o ochranu před velmi silným radičním zářením z kosmu i ze Slunce. Nenašel jsem zatím případ, který by to potvrzoval, ale na přednášce Ph. D. Michala Švandy, jsem se dozvěděl, že toto riziko existuje je jen otázkou času a štěstí, kdy k tomu dojde.⁴⁴ Další omezení je ve velikosti a hlavně hmotnosti, kvůli omezené možnosti raket, které je musí vynést na oběžnou dráhu.

2.7 Mé dostupné možnosti pozorování

Protože jsem si stanovil cíl pozorovat Slunce, musel jsem se dostat k některému vhodnému dalekohledu, obecně technice pro bezpečné pozorování slunce. Počítal jsem s tím, že mi otec půjčí svůj dalekohled typu newton od ruské firmy TAL. Poté jsem se dohodl s nedalekou krajskou hvězdárnou ve Veselí nad Moravou o zapůjčení dalekohledu s H-alfa filtrem. Bohužel se mi nepodařilo sehnat CCD kameru pro pořizování snímků v primárním ohnisku dalekohledu, ale CCD kameru se mi podařilo nahradit digitální zrcadlovkou Minolta.

Dále jsem mohl použít i baaderovu folii určenou pro pozorování Slunce, dále pak i sadu barevných filtrů na okulár pro přímé (vizuální) pozorování. K zapůjčenému dalekohledu z hvězdárny byla i zapůjčena paralaktická montáž EQ-6. Jedná se o bytelnou montáž firmy Sky Watcher s automatickým posunem tzv. pointací obrazu (takže se pozorovaný obraz ani nehne).

⁴³ Ulysses (sonda). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-03-16]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Ulysses_%28sonda%29

⁴⁴ ŠVANDA, Michal. *Slunce a Sluneční soustava* [PDF]. 2013 [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/dokumenty/workshop-III-03-msv-slunecni_soustava.pdf

3 Pozorování v amatérských podmínkách

Dnes, kdy jsou astronomické dalekohledy dostupné a jejich kvalita se blíží vědeckému vybavení, můžu provést jejich srovnání. V následujících subkapitolách rozeberu mé postupy pozorování Slunce, a jakými cestami jsem dospěl k výsledům.

3.1 H- alfa filtr + dalekohled Borg 77

Tento dalekohled s filtrem jsem měl vypůjčený společně s paralaktickou montáží EQ-6. Během prvního testování se objevily problémy se zaostřením. Ochetní zaměstnanci hvězdárny ve Veselí nad Moravou mě pomohli problém vyřešit, nakonec se jednalo o zanesený blokační filtr v hledáčku (součást H-alfa filtru), který byl očištěn.

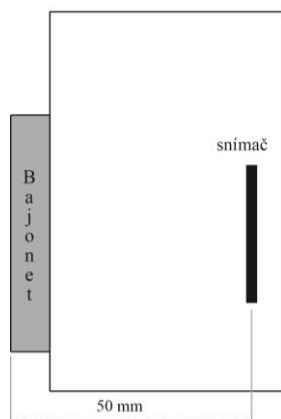
Při druhém testování dalekohledu se nám už podařilo Slunce zaostřit a pozorovat na Slunečním kotouči filameny a sluneční skvrny.



Obr. 28: Dalekohled Borg na německé paralaktické montáži EQ-6

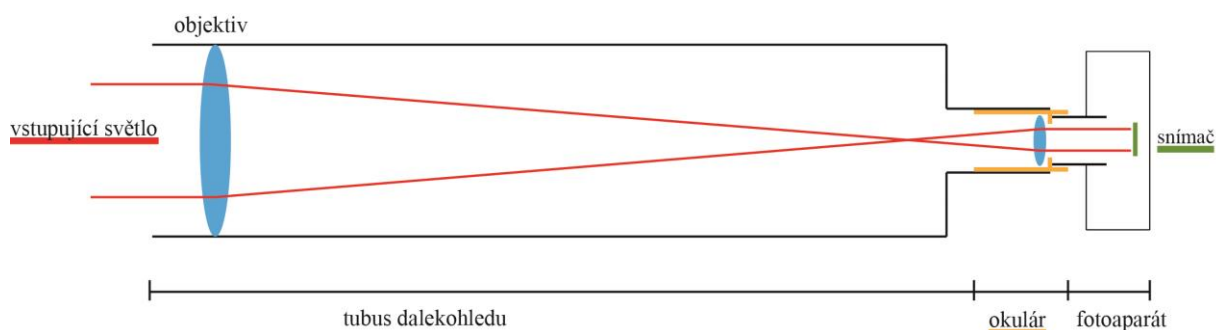
3.1.1 Použitý fotoaparát

Abych mohl výsledky pozorování zaznamenat a v této práci publikovat, musel jsem ještě vyřešit problém s připojením digitálního fotoaparátu Minolta D7. S tímto problémem mi pomohl otec, který si v dávných dobách koupil redukci z okulárového výtahu 1,25“ na bajonet Minolta, takže mi stačilo jen upevnit redukci na fotoaparát a celou sestavu pak připojit k dalekohledu. Když jsem se poprvé podíval do hledáčku, obraz byl rozmazaný, to mne nepřekvapilo (díky tomu, že fotoaparát má jinde rovinu zaostření než okulár dalekohledu), snažil jsem se obraz doostřit. Zjistil jsem však, že u zrcadlovek je rovina snímače hodně vzdálena od bajonetu viz Obr. 29. Takže díky velké vzdálenosti čipu od ohniska dalekohledu, jsem nemohl fotit v primárním ohnisku (tzn. fotit v rovině zaostření dalekohledu, využít tak pouze ohniskovou vzdálenost dalekohledu).



Obr. 29: Vzdálenost bajonetu od roviny snímače

Proto mi bylo doporučeno využít tzv. okulárovou (afokální) projekci, která můj problém vyřešila, jedná se o to, že okulár zvětší obraz a rovinu zaostření posune blíže ke snímači, čímž se mi podařilo zaostřit obraz. (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**) Přípravek, který jsem použil, můžete vidět na Obr. 31.



Obr. 30: Schéma zaostření pomocí refraktoru Borg 77



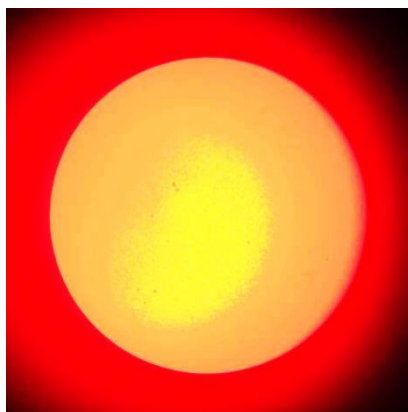
Obr. 31: Přípravek pro upevnění fotoaparátu k dalekohledu

3.1.2 První snímky

Metoda snímání byla na zrcadlovku do formátu *MRW (Minolta-RAW, fotografie není nijak kompresována, pro mé použití nejvhodnější).

Z prvních fotografií zbylo jen zklamání, vypadaly „nemastně, neslaně“ Bylo na nich vidět jen rudé Slunce ve velkém červeném závoji, na některých snímcích bylo dokonce vidět, že barva Slunce jde hodně do žluta. Až později jsem zjistil, že automatika fotoaparátu špatně vyhodnotila světelné podmínky, proto jsem později fotil plně manuálně.

Během pozorování barevného histogramu, jsem zjistil, že celá fotografie je hodně přexponovaná. Žluté rastrované fleky byly způsobeny především zmíněnou přexpozicí. I když se na těchto přexponovaných snímcích nepodařilo určit granulaci ani jemné detaily slunečního povrchu (sluneční skvrny a granulace), daly se ještě použít na porovnání protuberancí (koronálních výronů hmoty).



Obr. 32: Ukázka silně přexponovaného snímku

3.1.3 Post zpracování

Získané snímky jsem upravoval v zapůjčeném programu Camera RAW. U všech snímků jsem upravil barevnost, u přexponovaných snímků byla expozice vykompenzována, většina snímků byla však rozostřená a pro mé účely tak nepoužitelná.

3.1.4 Zaznamenané problémy

3.1.4.1 Prach

Při snímání s vysokou clonou jde na fotografiích pozorovat mimo jiné i různé tmavé tečky, které se objevují vždy na stejném místě na fotografii. Při porovnání dvou fotografií, mi bylo hned jasné, že se nejedná o sluneční skvrny, ale že problém musí být buď v dalekohledu, nebo ve fotoaparátu. Když jsem hledal informace o tomto problému, vzpomněl jsem si na ostření a rovinu zaostření, neboť malý prach, který je na čipu (nebo v jeho blízkosti) se nezobrazí při malé cloně (clonové číslo od 1 do cca 5,6). Je totiž mimo hloubku ostrosti a tudíž se na fotografii příliš neprojeví, když ale budeme zvětšovat clonu a clonové číslo (od cca $f = 11$), dochází už k výraznému zobrazení prachu na čipu. Starší fotoaparáty na film tímto neduhem netrpěly, protože každá fotografie byla focena na čerstvý fotografický materiál a pravděpodobnost prachu tak byla velice nízká, kdežto u dnešních digitálních fotoaparátů (hlavně s výměnnými objektivy) jejich fotografie prachem trpí.

Amatérští pozorovatelé prach na čipu řeší tím, že odečítají tzv. snímek flat frame (bílý nebo také plochý snímek), který řeší problém prachu a vinětace

zároveň. Jedná se o bílý snímek, který se pořídí stejnou sestavou, jak byl pořízen snímek s daty (ten od kterého chceme prach odečíst). Měl by nám vzniknout snímek s různými černými puntíky a vlásky, které představují prach.

Narazil jsem opět na problém, a to že jsem nebyl schopen tento flat snímek vytvořit, protože jsem musel vytvořit snímek s celým vybavením, také filtrem, který je příliš tmavý a díky tomu jsem nemohl vytvořit flat snímek.

Proto jsem byl nucen vytvořit tento snímek za pomoci objektivu zacloněného na clonu f 32, před objektiv jsem dal bílý papír a fotil na denním světle. Výsledný flat frame byl na první pohled uspokojivý, ale při prvním odečtu jsem zjistil, že světelnost dalekohledu je ještě menší, takže velikost prachu neodpovídala. (na snímcích z dalekohledu byl prach ostřejší než u snímku z dalekohledu) To bylo způsobeno především velkou hloubkou ostroty u málo světelného dalekohledu.

Tento problém se mi dostatečně nepodařilo vyřešit.



Obr. 33: Flat frame, ukazuje rozmístění prachu na čipu

3.1.4.2 Ostření

Dalším problémem bylo nekvalitní zaostření. Díky tomu malé světelnosti dalekohledu můžeme počítat s větší hloubkou ostroty a tedy menším důrazem

na kvalitní zaostření, ale i přes to je tolerance zaostření jen 0.38381 mm.⁴⁵ Proto jsem měl velké potíže kvalitně zaostřit obraz v hledáčku fotoaparátu.

Díky nedostatečnému vybavení jsem nemohl použít speciálních metod ostření, především ostření přes parfokalizovaný okulár, které je nejrychlejší a nejúčinnější.

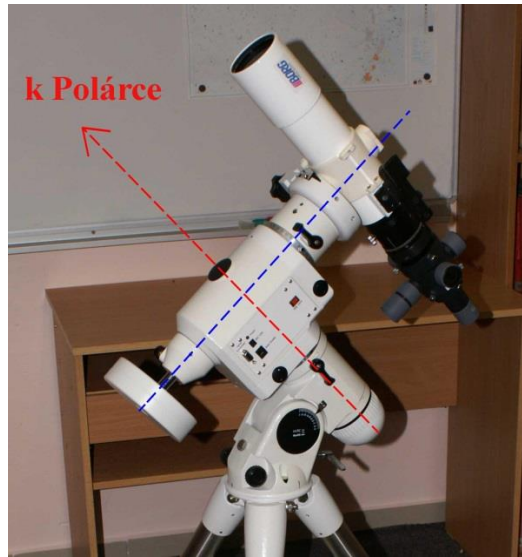
3.1.4.3 Pointace

Při pozorováních jsem používal zapůjčenou montáž EQ-6, která sice pointaci zvládá, ale musí být montáž dostatečně seřízená. Protože se jedná o rovníkovou montáž, musel jsem nejprve nastavit polární osu, která se nastavuje, tak aby směřovala k polárce, viz Obr. 34. To je sice skvělé, ale ve dne už hůře proveditelné, takže jsem se při prvních pozorováních obešel bez toho, že mi Slunce nebude „ujíždět“ z hledáčku. Řešil jsem to tím, že jsem pomocí guideru nastavoval dalekohled, tak abych Slunce dostal přibližně do středu hledáčku.

Vyzkoušel jsem si i montáž seřídit, abych nemusel ručně pointovat. Vyřešil jsem to tím, že jsem dalekohled s montáží umístil na pozorovací stanoviště a v noci jsem přesně nastavil polární osu, při tom jsem použil polární hledáček umístěný v montáži, tak aby polární osa směřovala k polárce. Druhý den, když bylo jasno jsem mohl vyzkoušet tzv. časový strojek, který otočí celým dalekohledem kolem polární osy přesně za 24 hodin. Čímž se kompenzuje pohyb Země a hvězdy i Slunce jsou vůči hledáčku v klidu.

Problém, ale zůstává v tom, že montáž musí být pořád ustanovena na jednom stabilním místě, abych ji mohl opět použít na přesnou pointaci. V opačném případě ustalování nemá cenu, protože přesunem vytvořím odchylku od polární osy a montáž si bude myslet, že polární osa je správně nastavená a tudíž bude pohybovat dalekohledem v nějaké „pseudorovině“, rozhodně ne společně s objektem.

⁴⁵ BÍLEK, František. Zaostřování. *Amatérská Astronomie a Astrofotografie* [online]. 2003 [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: <http://web.quick.cz/frantabilek/astrofoto/zaostrovani/zaostrovani.html>



Obr. 34: Znázorněné osy na montáži, červená osa=polární osa (rovnoběžná se zemskou osou); modrá=deklinací osa (otočí se 1 za 24 hodin kolem polární osy)

3.2 Baaderova folie + dalekohled TAL-120

Tuto sestavu mi zapůjčil otec. Jedná se o ruský dalekohled typu Newton označovaný také jako reflexní nebo zrcadlový a na míru vytvořeného filtru z baaderovy folie, která se umísťuje před dalekohled. Dalekohled je umístěn na německé paralaktické montáži, jedná se o stejný typ montáže jako zapůjčená EQ-6 s tím rozdílem, že u montáže není hodinový strojek (absence sledování/pointace obrazu) a na rozdíl od EQ-6 není tak tuhá.

Při pozorování jsem si musel být jistý, abych nezapomněl nasadit filtr před dalekohled, protože hrozí zničení zraku při podívání se na Slunce skrz dalekohled bez filtru. To samé platí i pro fotoaparát, domnívám se, že zvýšená teplota by určitě mohla snímací čip fotoaparátu nenávratně zničit. Nebavím se vůbec o expozimetru nebo ostřícím snímači, které by se zajisté poškodily.



Obr. 35: Dalekohled TAL-120 s nasazenou Baaderovou folií

3.2.1 Použitý fotoaparát

Opět jsem používal stejný fotoaparát, a to Minoltu D7, s redukcí z bajonetu Minolta na okulár 1,25". Když jsem se snažil Slunce v dalekohledu zaostřit, narazil jsem na samý problém jako při použití dalekohledu Borg, a to nedostatečné zaostření Slunce, kvůli velké vzdálenosti čipu od roviny zaostření dalekohledu, od ohniska dalekohledu. Problém jsem vyřešil podobně jako u dalekohledu Borg s H-alfa filtrem. viz 3.1.1 (Použitý fotoaparát)

3.2.2 První snímky

Protože jsem byl s dalekohledem více sžitý, nepotřeboval jsem se nijak soustředit na ostření a navádění objektu, ale soustředil jsem se víc na samotný objekt a na expoziční čas, obecně se mi lépe pozorovalo a fotografovalo s touto sestavou.

Některé snímky jsem zkušebně v průběhu pozorování chodil zkontrolovat na počítači, zda jsou ostré, protože jsem stále používal metodu ostření na matnici fotoaparátu, které není dokonalé a má za následek případné rozostření objektu na fotografii.

3.2.3 Post zpracování

Abych mohl získané snímky vzájemně porovnávat, musel jsem dodržovat shodné úpravy, stejně jako v případě získaných snímků z H-alfa filtru. Proto jsem opět snímal do RAW formátu (konkrétně *.MRW)

Upravoval jsem především expozici, doostření, zvýraznění detailů.

Všechny snímky byly převedeny do černobílé pro zvýraznění kontrastů, některé snímky jsem záměrně obarvil, abych docílil ještě většího kontrastu.

3.2.4 Zaznamenané problémy

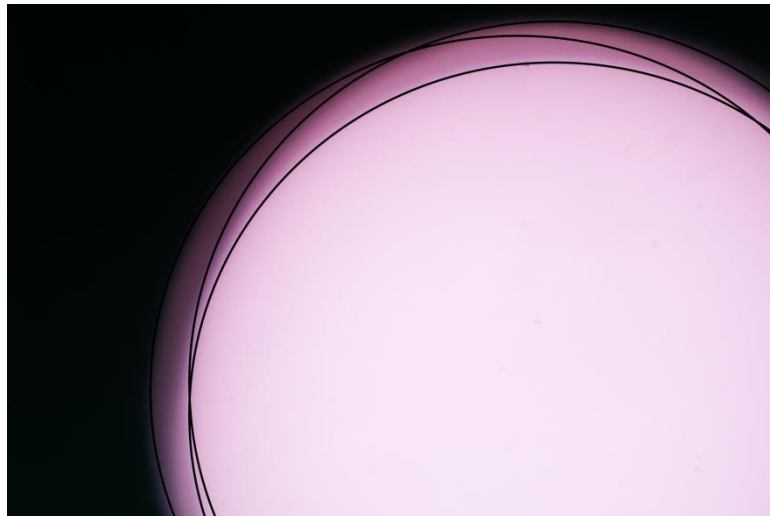
3.2.4.1 Prach

Žel používal jsem ten samý fotoaparát, a musel jsem se tak vypořádávat se stejnými problémy, jako v případě sestavy Borg + H-alfa filtr. Proto toto téma nebudu dále rozebírat, jen odkážu na kapitolu 3.1.4.1 (Prach)

3.2.4.2 Ostření

Protože jsem používal ostření na matnici, zaznamenal jsem opět problém s dostatečným zaostřením, stejně jako v případě dalekohledu Borg a H-alfa filtrem.

Opět jsem nemohl použít parfokalizovaný okulár. Tento problém jsem vyřešil jen z části, protože jsem použil ostřicí Hartmanovu masku, jedná se o masku, která se připevňuje před dalekohled, a jsou v ní tři otvory s úhlovým posunem 120° ($360^\circ/3 = 120^\circ$). Při rozostřeném obrazu jsou v hledáčku vidět 3 hvězdy (podle počtu otvorů), v mém případě jsem viděl 3 velké rozostřené kotouče Slunce, které se překrývaly částí uprostřed (Obr. 36).



Obr. 36: Rozostřený obraz 3 slunečních disků, použita Hartmanova maska, jednotlivé kotouče jsou zvýrazněny černými kružnicemi



Obr. 37: Schéma optické soustavy dalekohledu TAL-120 (refraktor/Newton), afokální projekce

3.2.4.3 Pointace

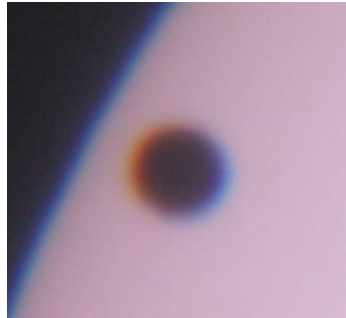
Dalším společným problémem byla pointace, montáž nebyla motorizována a tak jsem musel ručně pointovat, tzn. pomocí šroubu stavit dalekohled a tak sledovat Slunce.

Dalším zjištěním bylo, že montáž nebyla dostatečně tuhá a při každém silnějším zatřesení se nepatrně rozechvěla, v hledáčku to bylo vidět tím, že se Slunce pohybovalo o cca 2-3 mm na matnici fotoaparátu.

3.2.4.4 Optická vada

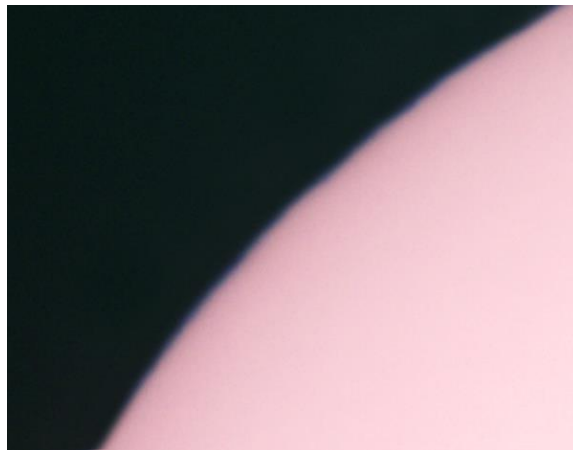
Při podrobnějším zkoumání fotografií jsem zjistil, že dalekohled trpí ohybovou vadou přesně chromatickou aberací. Je to jev, který se pozoruje u

všech optických zařízení. Je způsobena rozdílnými vlnovými délkami, které se ohýbají různě, to zapříčiňuje, že se v obraze objeví okolo kontrastních hran barevné okraje. Především se objevují barvy z obou konců viditelného spektra, takže červená a modrá. viz Obr. 38



Obr. 38: Chromatická aberace, způsobená ohybovou vadou okuláru

Dočetl jsem se však, že tato optická vada se pozoruje pouze u čočkových dalekohledů a já používal zrcadlový. Úplně jsem totiž zapomněl, že jsem fotografoval přes (čočkový) okulár a zmíněná vada je způsobena jím. Abych své tvrzení potvrdil, půjčil jsem si kvalitnější okulár, se kterým se potvrdilo, že se vada zmenšila. viz Obr. 39



Obr. 39: Omezená míra chromatické aberace díky použití kvalitnějšího okuláru

3.3 Metoda projekce, TAL-120

Jako v předchozím případě jsem i teď použil ruský dalekohled, s tou změnou, že jsem před dalekohled neumisťoval sluneční filtr. Protože jsem používal specifickou metodu, nazývanou projekce. Při které jsem se nedíval přímo do okuláru (opět upozorňuji, že hrozí poškození zraku), ale nechal jsem Slunce promítat skrz okulár na papír umístěný za okulárem.

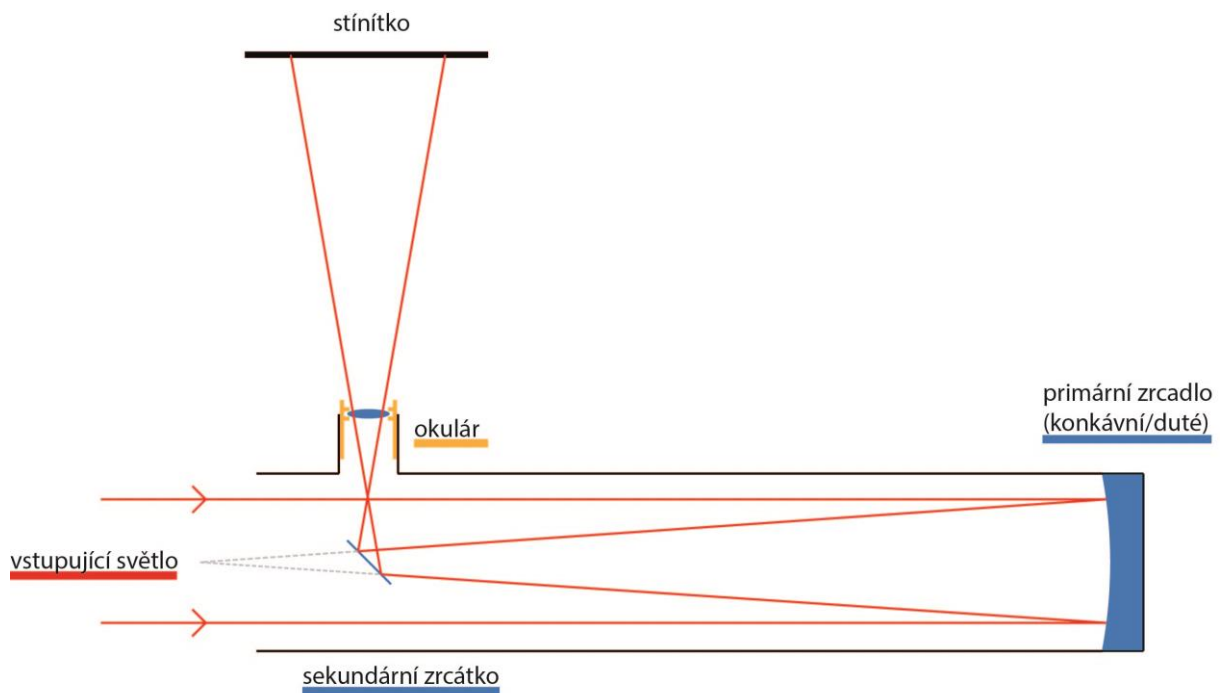
Při projekci jsem používal speciální držák pro promítání, dodávaný společně s dalekohledem. Držák se umísťuje na deklinační osu (kolmou k pozorovací ose). Takže kolmost obrazu byla zachována. Nedocházelo k tak velkému zkreslení obrazu.



Obr. 40: Dalekohled TAL-120 se speciálním držákem pro přímou projekci

Upozorňuji, že se jedná o riskantní způsob pozorování (Obr. 44), které se hodí zvláště jako prezentaci pro větší skupiny. Důležité je si nejprve zjistit, zda výrobce schvaluje použití této metody, projekce Slunce, na svém dalekohledu. Četl jsem o zapálených okulárech, kouři z dalekohledu, v takovém případě pozorovatel riskuje poškození dalekohledu vlivem deformace tubusu, či úplné zničení čoček v okuláru, zvláště u levných dalekohledů.

Zjistil jsem, že jediným sériovým výrobcem, který tuto metodu plně podporuje a dokonce i poskytuje (např. nástavce pro projekci nebo speciální okuláry) je ruský TAL. Který je výrobcem i mnou použitého dalekohledu.



Obr. 41: Schéma afokální projekce na stínítko

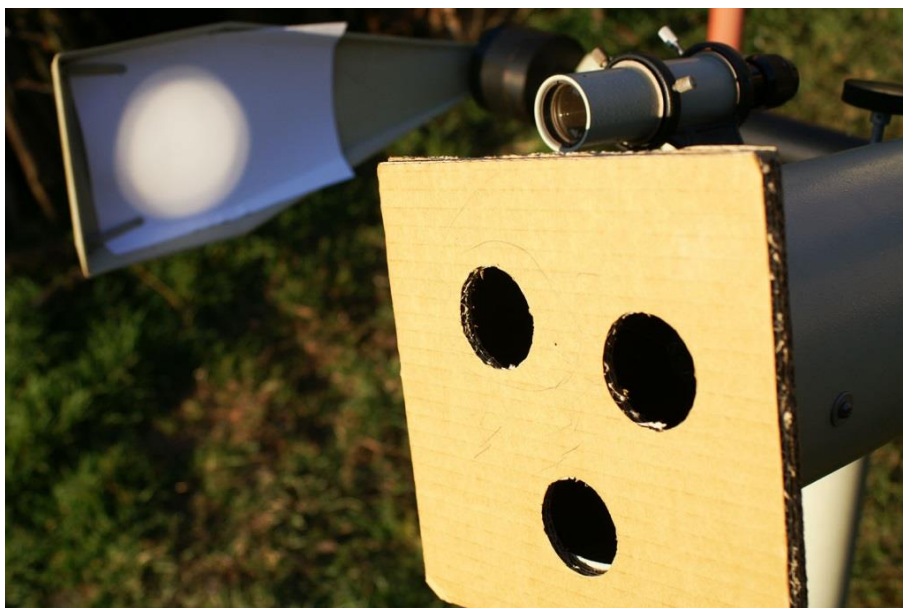
3.3.1 Pořizování snímků

Snímky jsem pořizoval opět na digitální fotoaparát Minolta D7 s nasazeným setovým objektivem 28-100 mm / f: 3,5-5,6. Snímal jsem opět do formátu RAW a snímky upravoval stejnou metodou jako v předchozích případech.

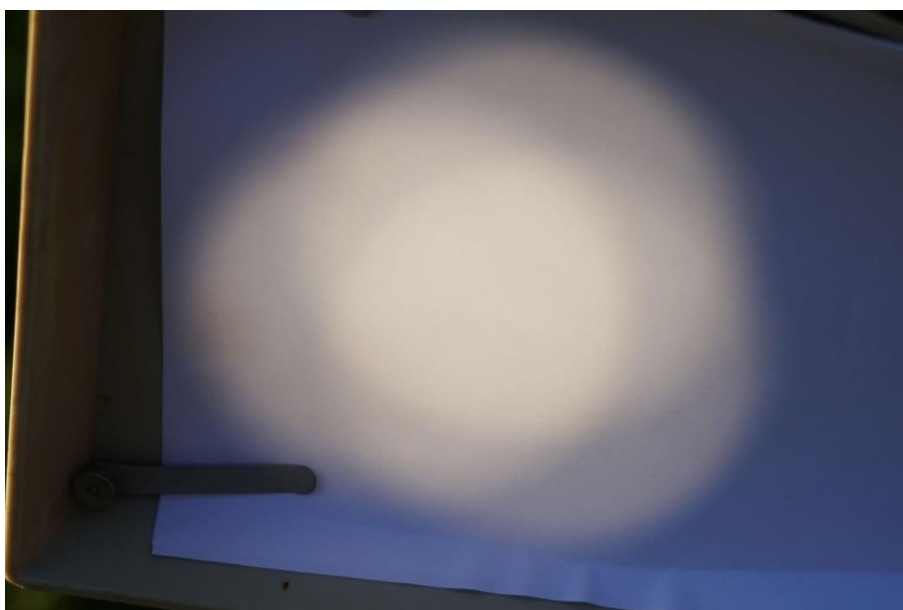
Velkou výhodou v takovémto případě, byl fakt, že jsem nemusel řešit prach a barevná vada okuláru byla vyřešena tím, že jsem místo něj používal objektiv.

3.3.2 Ostření

Ostření bylo zajištěno pomocí Hartmanovy masky, stejně jako v případě afokální projekce s fotoaparátem. (Obr. 42)



Obr. 42: Ostření bylo zajištěno pomocí ostřicí pomůcky Hartmanovy masky



Obr. 43: Extrémně rozostřený obraz na stínítku

3.3.3 Zaznamenané problémy

3.3.3.1 Tuhost montáže

Jediným zaznamenaným problémem bylo to, že při sebe menším zatřesení montáže se obraz nekontrolovaně roztřásl a nebylo tak možné pořizovat snímky. Jev jsem hlavně pozoroval, když jsem ručně pointoval a hlavně při silnějším

větru, který když se opřel do montáže, tak se obraz Slunce nekontrolovaně rozkmital po celém stínítku, v mém případě papíru.

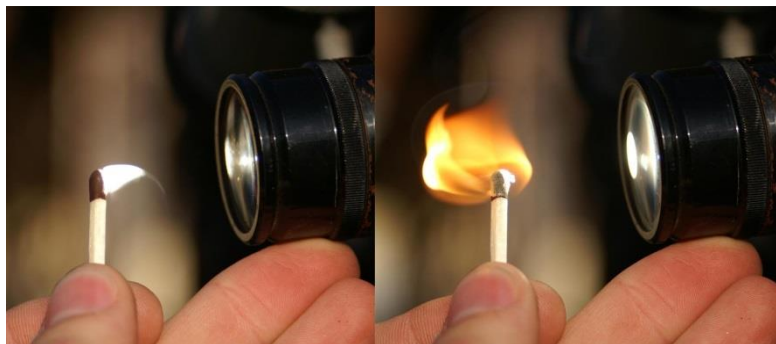
3.3.3.2 Bezpečnost

Až takový problém to zas není, když pozorovatel ví, s jakým nebezpečím pracuje, a že má dodržovat bezpečné postupy při pozorování, aby zmenšil riziko na minimum. Přeci jen pracujeme s koncentrovaným paprskem světla, které je schopno nám doslova vypálit zrak.

V některých případech je metoda projekce jedinou možností, jak přesně zakreslit skvrny na Slunci s minimální odchylkou nebo poskytnout obraz co největší skupině lidí. Např. při skupinovém pozorování Slunce.

Na druhou stranu jsem četl o případě, kdy při výměně okuláru se pozorovatel nechtěně podíval ve směru paprsků a utrpěl nenávratné poškození zraku.⁴⁶

Proto buďte prosím opatrní a snažte se při pozorování nejdříve myslet a až potom pozorovat.



Obr. 44: Zapalování zápalky v ohnisku dalekohledu TAL-120, zapálila se během 5 sekund, koncentrované světlo je z plochy 113 cm²

⁴⁶ Pozorování slunce. In: *Astronomické fórum* [online]. 2000 [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: <http://www.astro-forum.cz/cgi-bin/yabb/YaBB.pl?num=1331015458, #7>

4 Porovnání dat s výsledky z NASA

Když jsem pořídil velké množství snímků a ty nejlepší jsem upravil, napadlo mě, že bych je mohl vzájemně porovnat se snímky z NASA, třeba si z nás dělají srandu a zveřejňují data, která jsou v rozporu s realitou

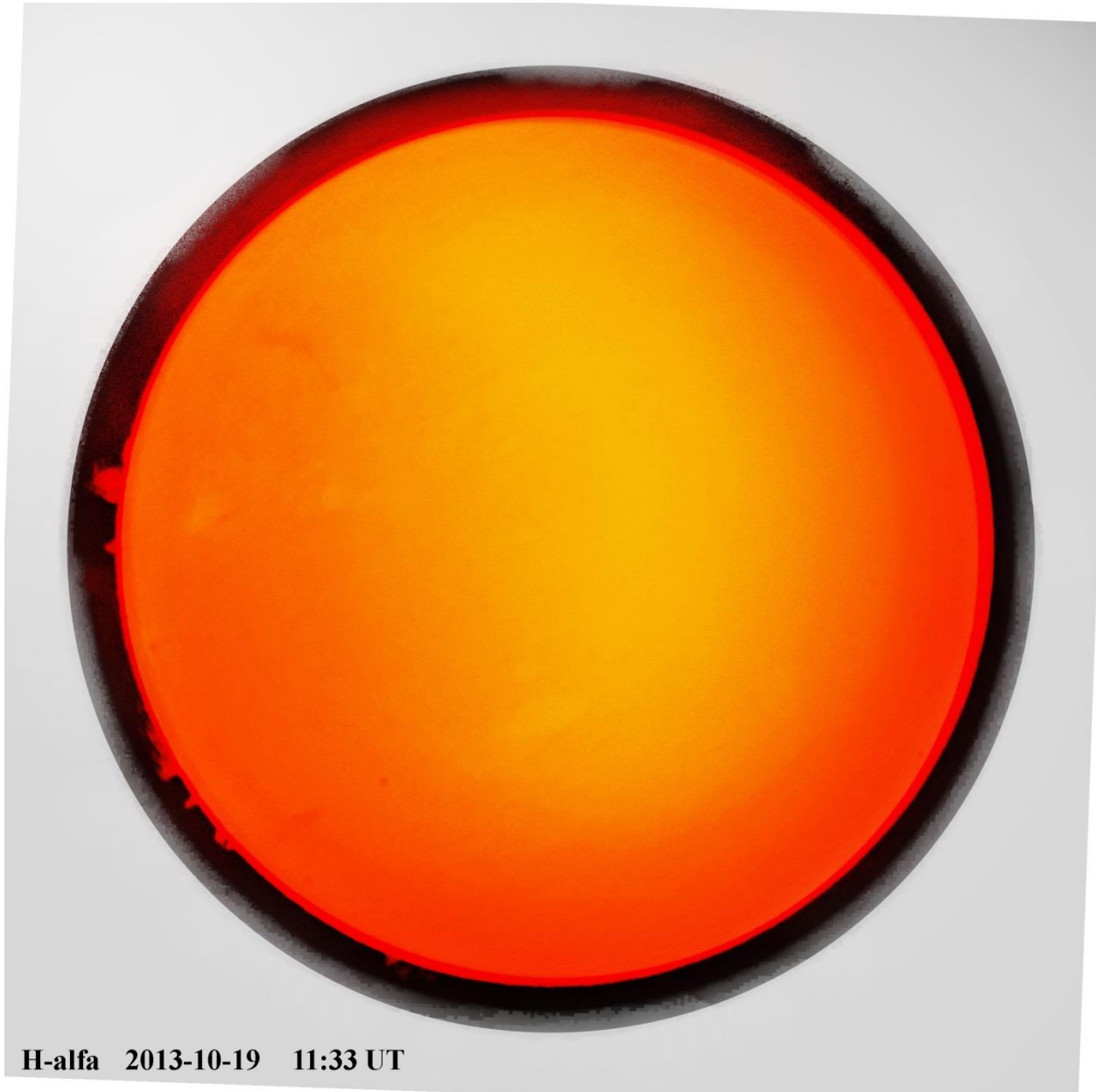
Na následujících posledních stránkách můžete porovnávat snímky mé se snímky NASA, pořízené především družicí SDO (Solar Dynamics Observatory).

4.1 Databanka SDO

Snímky NASA jsem získával z webu www.sdo.gsfc.nasa.gov, konkrétně z velké databanky uvolněné pro veřejnost. Konkrétní adresa je www.sdo.gsfc.nasa.gov/assets/img/browse. Tato databanka je strukturovaná jako systém adresářů, v kmenovém adresáři jsou umístěny subadresáře pojmenované podle let, nejstarší složka je z roku 2010. Po rozkliknutí se dostaneme do složky, kde se nacházejí adresáře pojmenované dle měsíců, adresáře mají čísla od 1 do 12. Když si vybereme žádaný měsíc, dostaneme se do další nabídky, kde vybereme kýžený den. V této složce se nacházejí všechna pozorování, provedená v tento den (od 0:00 do 24:00).

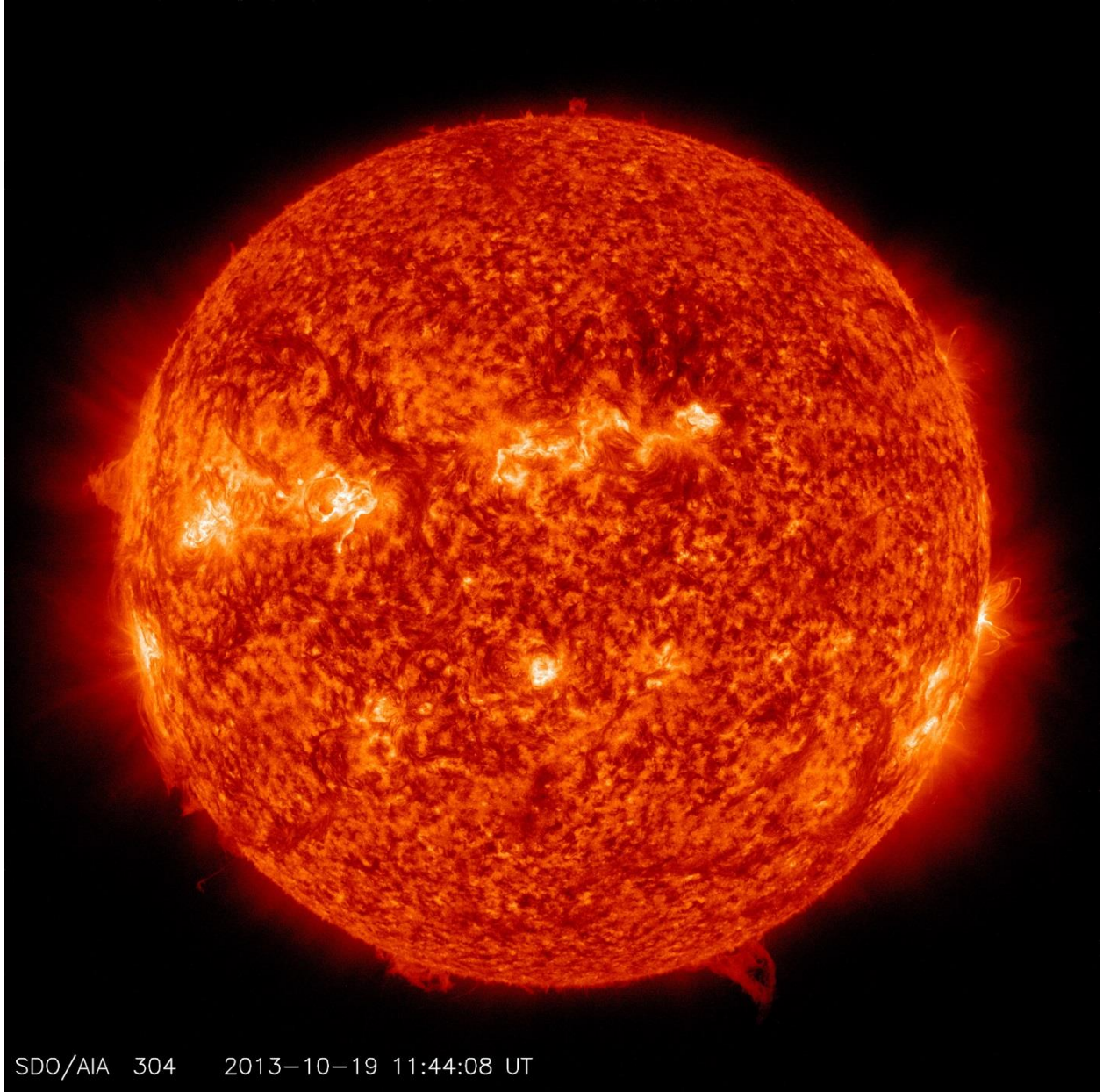
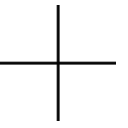
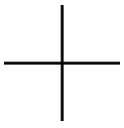
Tento způsob řazení není z daleka dokonalý. Chvilku totiž trvá, než se uživatel zorientuje v dlouhých názvech souborů. Soubory jsou ve formátu *.jpg.

4.2 H-alfa 2013-10-19 11:33 UT

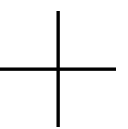
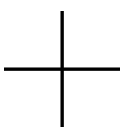


Obr. 45: H-alfa 2013-10-19 11:33 UT

EXIF: čas: 1/2 s; ISO: 100; clona:--; AWB; 16-bit RGB



Obr. 46: SDO/AIA 304 2013-10-19 11:44:08 UT



Obr. 45

Tento snímek byl vytvořen pomocí dalekohledu Borg s H-alfa filtrem. Snímek byl pořízen 19. října v 11:33. Pozorovací podmínky byly dostatečné, seeing byl dobrý.

Můžeme si povšimnout výrazné protuberance na „západní“ části Slunce. Dále si pak můžeme povšimnout filamentu, který není až tak zřetelný, ale nachází se na „západní“ polokouli Slunce v horní části, nedaleko protuberance.

Můj snímek není až tak zřetelný na rozdíl od snímku pořízeném družicí SDO, ale zachycuje krásnou protuberanci, stejně jako SDO. Snímek je focený poměrně dlouhým čase, protože jsem ještě nevěděl, jak mám správně nastavit manuální expozici, proto je tento snímek pořízený časem 1/2 s.

V histogramu jsem zaznamenal poměrně velký přepal červené barvy, je to dáno především tím, že expozimetr ve fotoaparátu nedokáže až tak přesně stanovit intenzitu světla na krajích viditelného spektra, proto tuto světelnou situaci vyhodnotil nesprávně. A vytvořil tak přeexpozici.

Obr. 46

Snímek z družice SDO zachycuje Slunce téměř ve stejný čas, ale s většími detaily a na rozdíl od mého snímku, zachycuje i protuberanci, která míří ze slunečního kotouče dolů. Důvodů proč jsem ji nezachytil, je několik, ale převládá hlavně ten, že jsem nedodržel souosost dalekohledu a fotoaparátu.

Snímek SDO zobrazuje horní vrstvu chromosféry, rozhraní mezi chromosférou a spodní korónou.

4.3 H-alfa 2013-10-19 11:40 UT



Obr. 47: H-alfa BW 2013-10-19 11:40 UT

EXIF: čas: 1/60 s; ISO: 100; clona:--; AWB; 16-bit RGB -> 8-bit BW



Obr. 48: H-alfa GONG 2013-10-19

Obr. 47

Jedná se o snímek pořízený několik minut po Obr. 45. Avšak zachycuje sluneční kotouč s větším množstvím detailů. Neboť tento snímek byl záměrně podexponován.

Můžeme vidět tři sluneční skvrny, flokulové pole ve střední části napravo, a velmi výrazný filament v horní levé části Slunce.

Oproti předchozímu (mému) snímku má daleko vyšší vypovídající hodnotu.

Úpravy byly především provedeny v kontrastu a zostření, dále pak byla celá fotografie převedena na černobílou a uložena jako 8-bit. obrázek.

Obr. 48

Tento snímek byl pořízen sledovací skupinou dalekohledů GONG (Global Oscillation Network Group), nad jejichž dalekohledy doslova „nezapadá Slunce“.

Oproti mému snímku zachycuje větší množství detailů. Ale povšimněme si, že se velmi shodují, už jen díky poloze filamentu nebo skvrn.

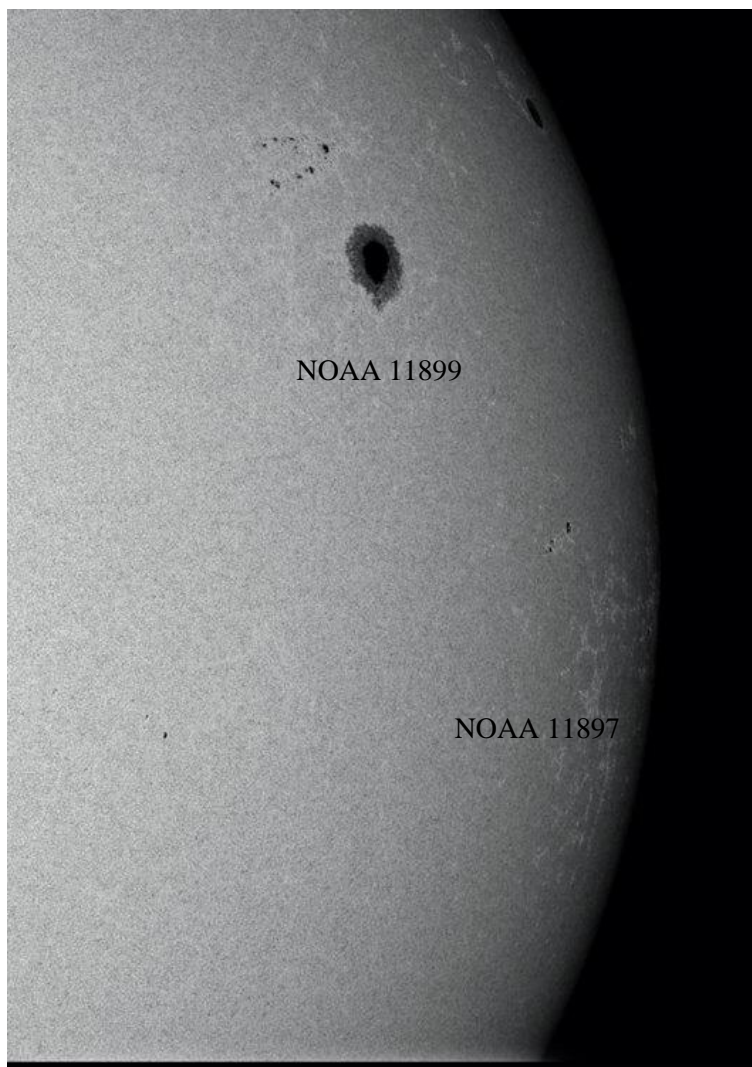
Snímek je pořízený ve spektru H-alfa, a tak se jedná o dokonalá referenční data pro porovnání mých výsledků.

4.4 Baaderova folie 2013-11-22 14:15 UT



Obr. 49: Baaderova folie 2013-11-22 14:15

EXIF: čas: 1/200 s; ISO: 800; clona:--; AWB; 16-bit RGB -> 8-bit RGB



SDO/HMI 2013.11.22_14:21:45

Obr. 50: SDO/HMI 2013-11-22 14:21

Obr. 49

Tento snímek ukazuje aktivní oblast NOAA 11899, na obrázku je poměrně velká sluneční skvrna, poblíž ní můžeme rozlišit další dvě malé skvrnky („severozápadně“).

Čeho si dále můžeme všimnout, je velké flokulové pole při okraji slunečního disku, přibližně v polovině. (NOAA 11897)

Snímek byl pořízen pomocí dalekohledu TAL-120, jako afokální projekce.

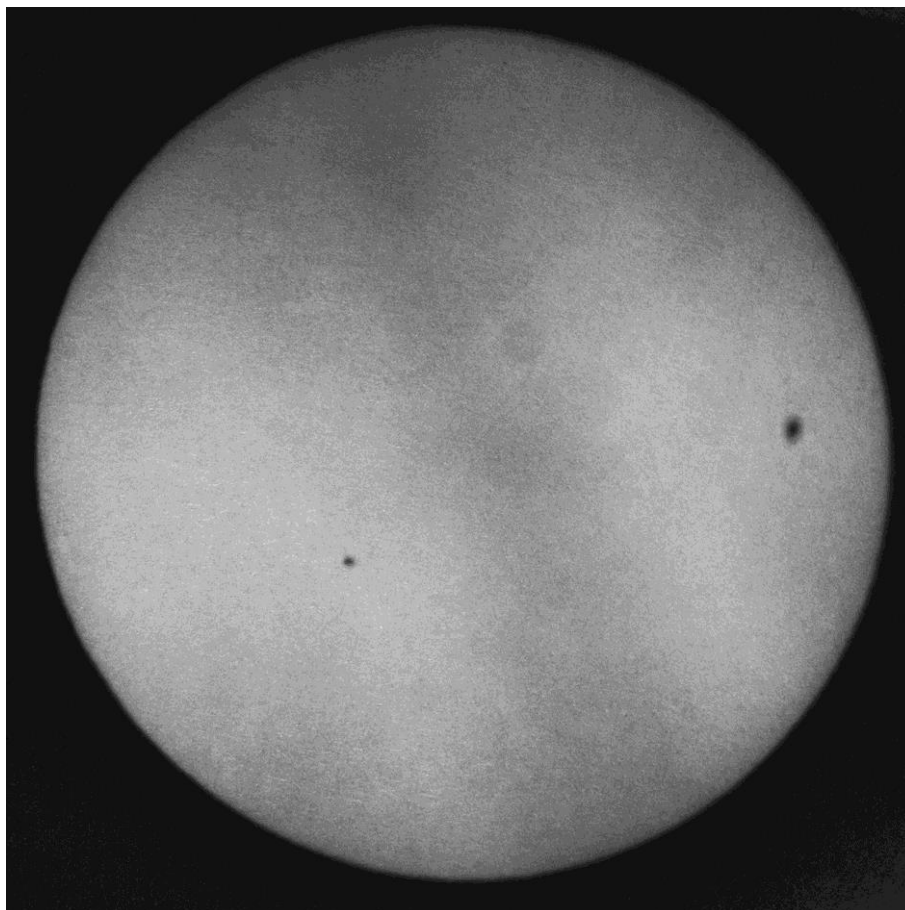
Expozice byla nastavena + 1/2 EV. Snímek byl upraven zvýšením kontrastu a použil jsem funkci zostření. Proto si můžeme na snímku všimnout pruhů, které jsou vygenerovány CCD snímačem fotoaparátu. Dále byl snímek přebarven falešnou barvou do žluta, abych získal co největší kontrast.

Obr. 50

Snímek pořízený SDO je bezesporu detailnější než můj, ale to nemění nic na tom, že i z mého snímku, lze mnoho vyčíst. Např. rozmístění skvrn nebo flokulová pole.

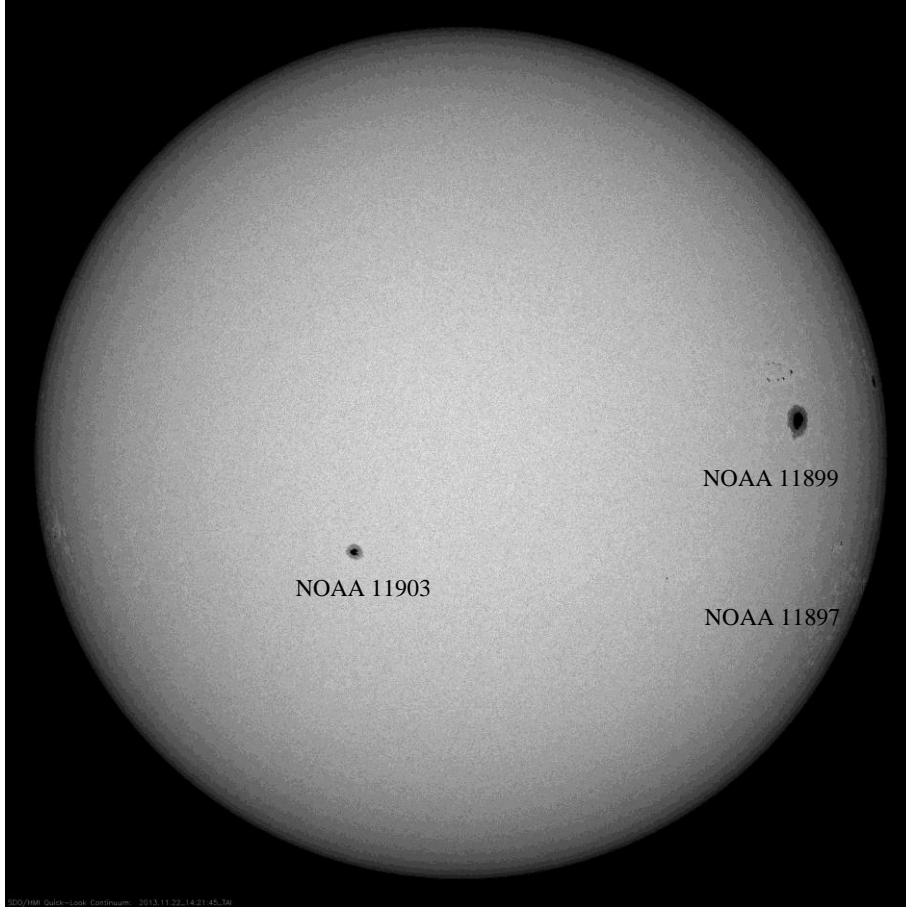
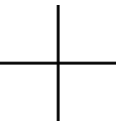
Na rozdíl od mého snímku, je sluneční skvrna ostřejší, především penumbro má kontrastnější hrany.

4.5 Projekce TAL-120 2013-11-22 14:29 UT

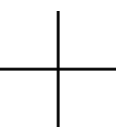
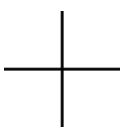


Obr. 51: Projekce 2013-11-22 14:29

EXIF: čas: 1/500 s; ISO: 200; clona: 8; AWB; 16-bit RGB -> 8-bit BW



Obr. 52: SDO/HMI 2013-11-22 14:21



Obr. 51

Jedná se o přehledový snímek, celého Slunce, můžeme si všimnout dvou výrazných skvrn

Snímek byl pořízen metodou projekce na stínítko-papír.

Na slunečním disku si můžeme všimnout tmavé rozostřené linie, která se táhne shora dolů, jedná se o větev stromu, protože Slunce bylo koncem listopadu hodně nízko nad horizontem. Při focení jsem si linie nevšiml, až při kontrole snímků ve fotoaparátu, jsem si všiml mírného ztmavení na fotografii.

Fotografie byla pořízena fotoaparátem s nasazeným objektivem, expozice byla nastavena + 1/3EV. Úpravy proběhly zvýrazněním detailů a převedením snímku do černobílé barvy.

Obr. 52

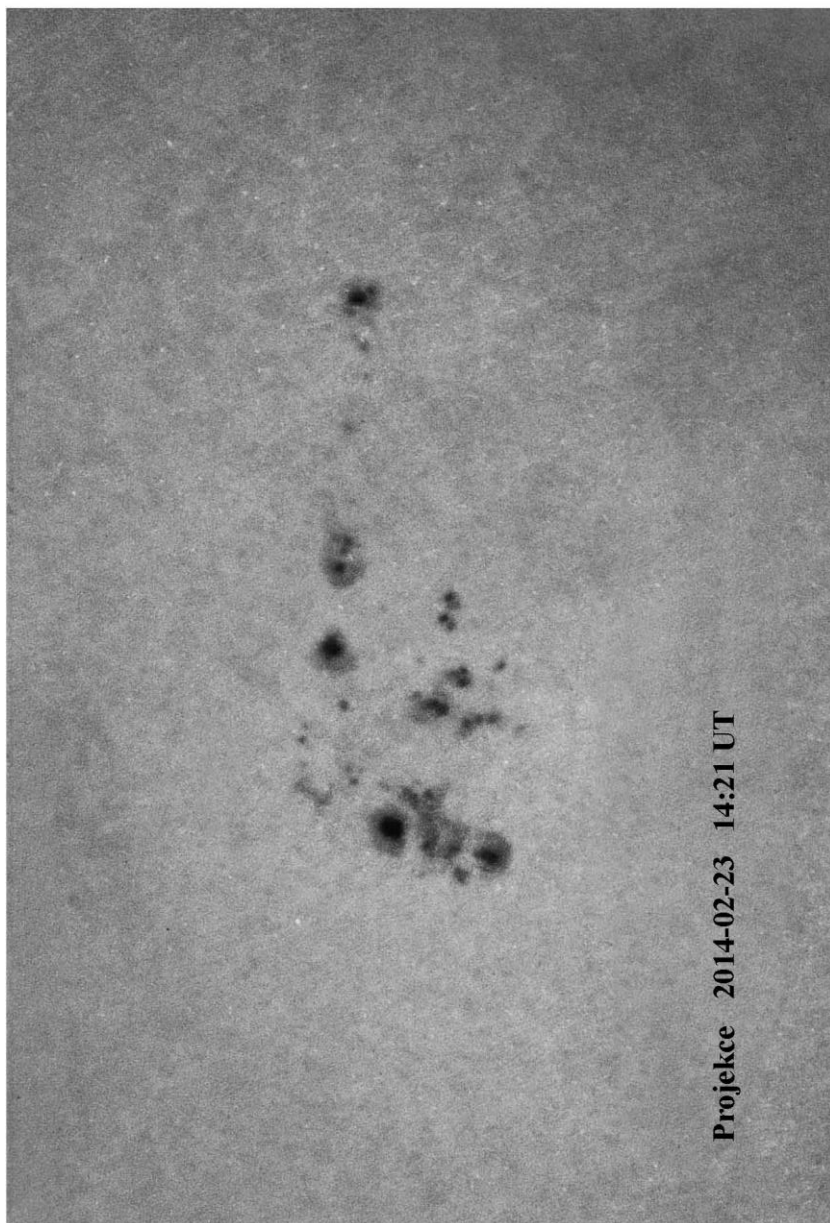
Fotografie pořízená družicí SDO, zachycuje aktivní oblasti NOAA 11897; 11899; 11903.

Při porovnání vidíme, že jsou oba snímky téměř totožné.

4.6 Projekce TAL-120 2013-02-23 14:21



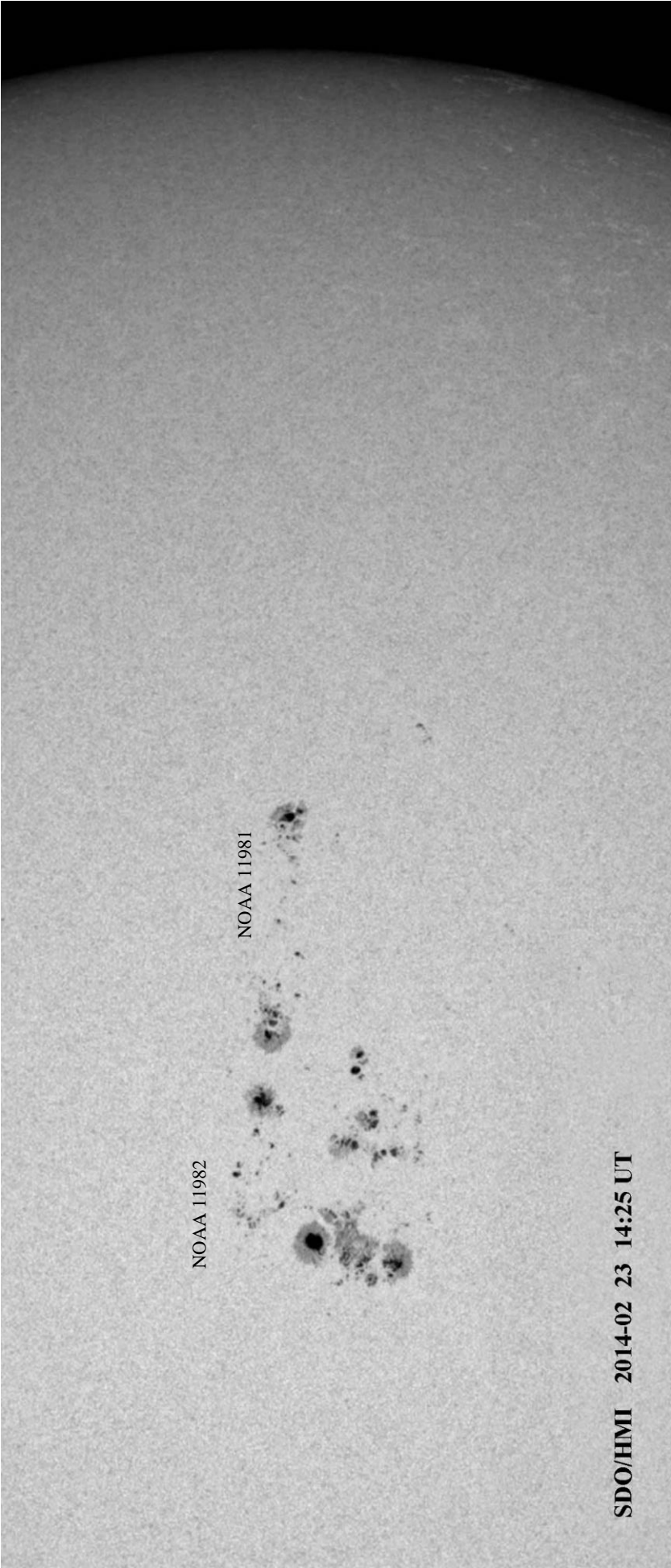
Obr. 54: Přehledová mapa,
2014-02-23; Baaderova folie
+ afokální snímání



Projekce 2014-02-23 14:21 UT

Obr. 53: Projekce; 2014-02-23 14:21 UT

65 EXIF: čas: 1/1500 s; ISO: 200; clona: 11; AWB; 16-bit RGB -> 8-bit BW



NOAA 11982

NOAA 11981

SDO/HMI 2014-02 23 14:25 UT

Obr. 55: SDO/HMI 2014-02-23 14:25 UT

Obr. 53

Na snímku můžeme vidět aktivní oblasti NOAA 11981 a 11982.

Snímek se mi podařilo pořídit, když aktivní oblasti byly ve středu slunečního kotouče, a bylo tedy nejvhodnější je vyfotografovat.

Na mém snímku lze vidět mnoho jemných detailů. Tento snímek je jeden z nejlepších snímků, které se mi podařilo pořídit, zachycuje jen o něco málo méně detailů než SDO.

Jedná se opět o projekci na čtvrtku bílého papíru. Úpravy byly především zostření a zvýšení kontrastu.

Pro srovnání snímek z SDO v témže čase, ukazuje jen o něco víc detailů, dost mne překvapilo, že jsem měl tak přesné výsledky, dané především díky kvalitnímu zaostření.

Obr. 54

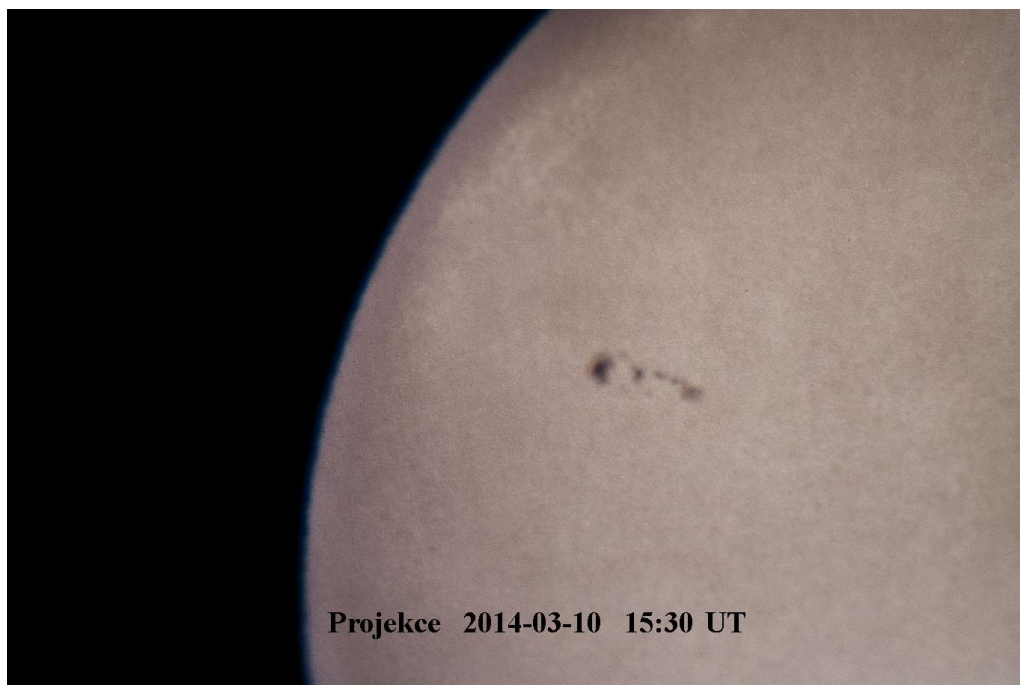
Přehledová mapa, pro představení si velikosti aktivní oblasti.

Pořízeno afokální projekcí skrz okulár. Jedná se o tři složené snímky.

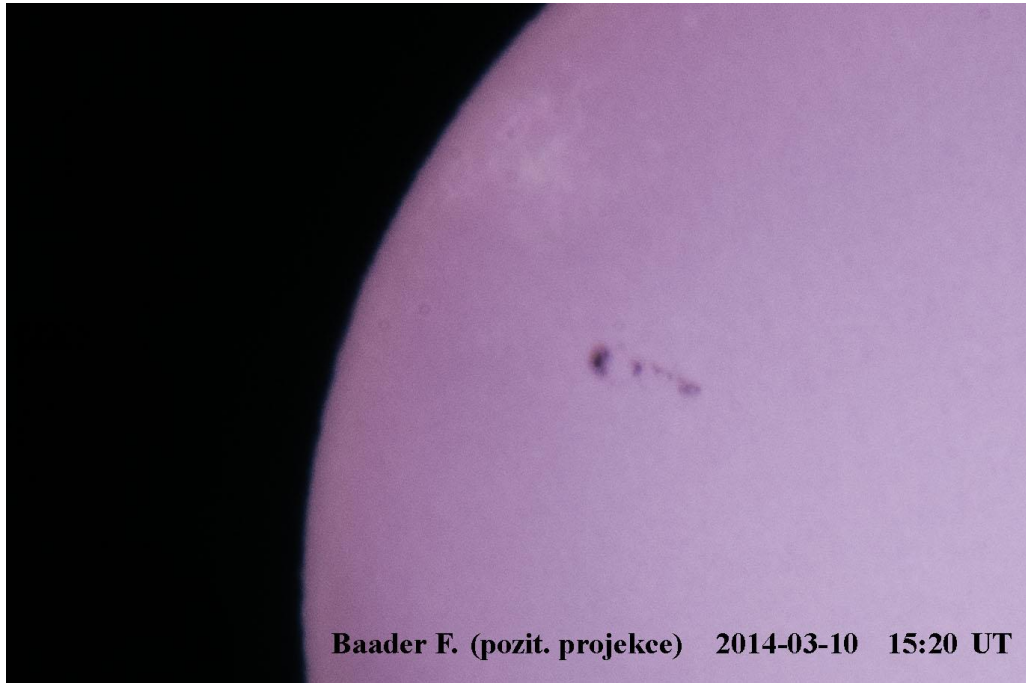
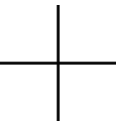
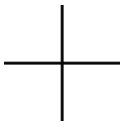
Obr. 55

Pro srovnání snímek z SDO v témže čase, ukazuje jen o něco víc detailů, dost mne překvapilo, že jsem měl tak přesné výsledky, dané především díky kvalitnímu zaostření.

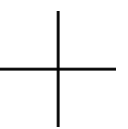
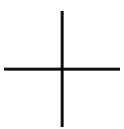
4.7 Projekce TAL-120 2014-03-10 15:30 UT

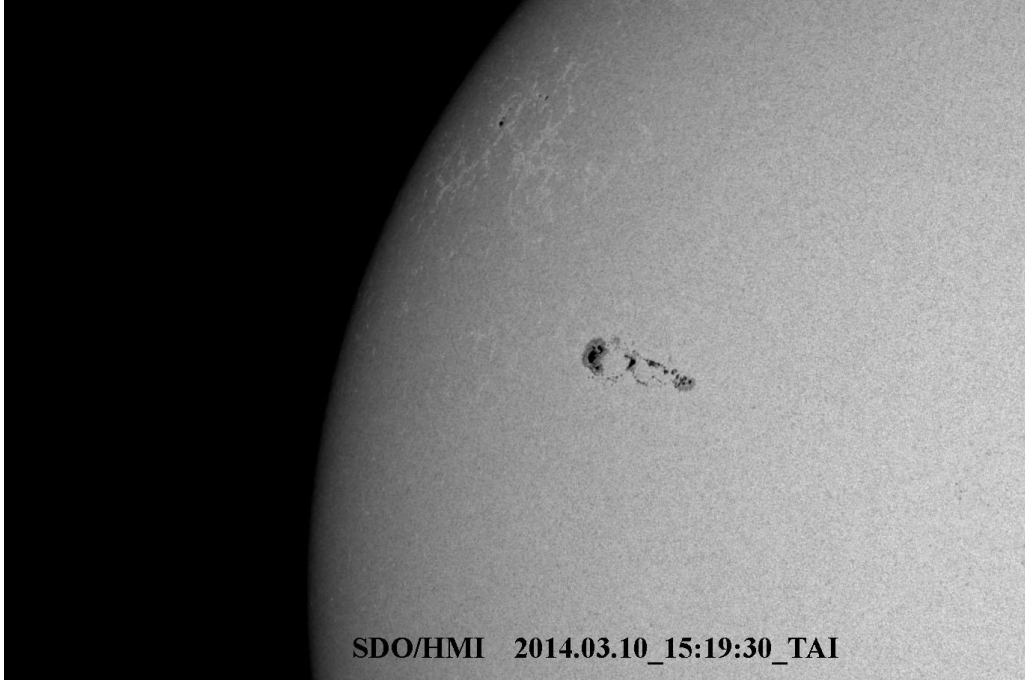
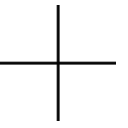
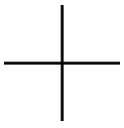


Obr. 56: Projekce 2014-03-10 15:30 UT

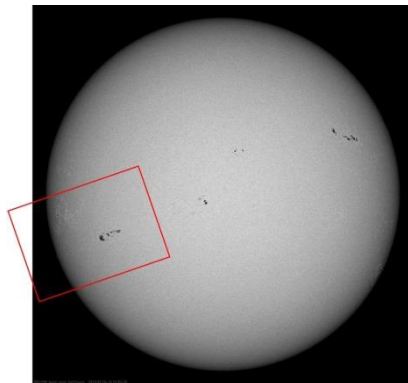


Obr. 57: Baaderova folie, afokální projekce; 2014-03-10 15:20 UT

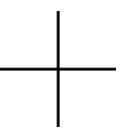
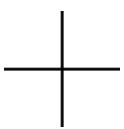




Obr. 59: SDO/HMI 2014.03.10_15:19:30_TAI



Obr. 58: Přehledová mapa, SDO/HMI 2014.03.10_15:19:30_TAI



Obr. 56: Projekce 2014-03-10 15:30 UT

Na této fotografii lze spatřit aktivní oblast se slunečními skvrnami NOAA 12004 a zároveň trojicí se flokulové pole NOAA 112004.

Můžete vidět, že sluneční skvrny jsou mírně rozostřené, bohužel dalšími úpravami v počítači jsem nemohl dosáhnout relevantnějších výsledků.

Obr. 57: Baaderova folie, afokální projekce; 2014-03-10 15:20 UT

Jedná se o tutéž aktivní oblast, jen s tím rozdílem, že snímek je pořízen metodou okulárové (afokální) projekce pomocí fotoaparátu.

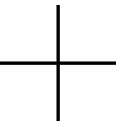
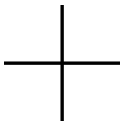
Na obrázku můžete spatřit flokulové pole, které lze spatřit i na snímku pořízeném na stínítku.

Obr. 58

Jak můžeme porovnat, snímek z SDO družice je bezesporu ostřejší a výraznější.

Obr. 59

Přehledová mapa ukazuje, jaké je skutečné postavení skvrn na slunečním disku.



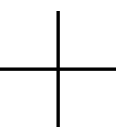
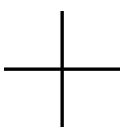
4.8 H-alfa 2012-06-06 4:18 UT

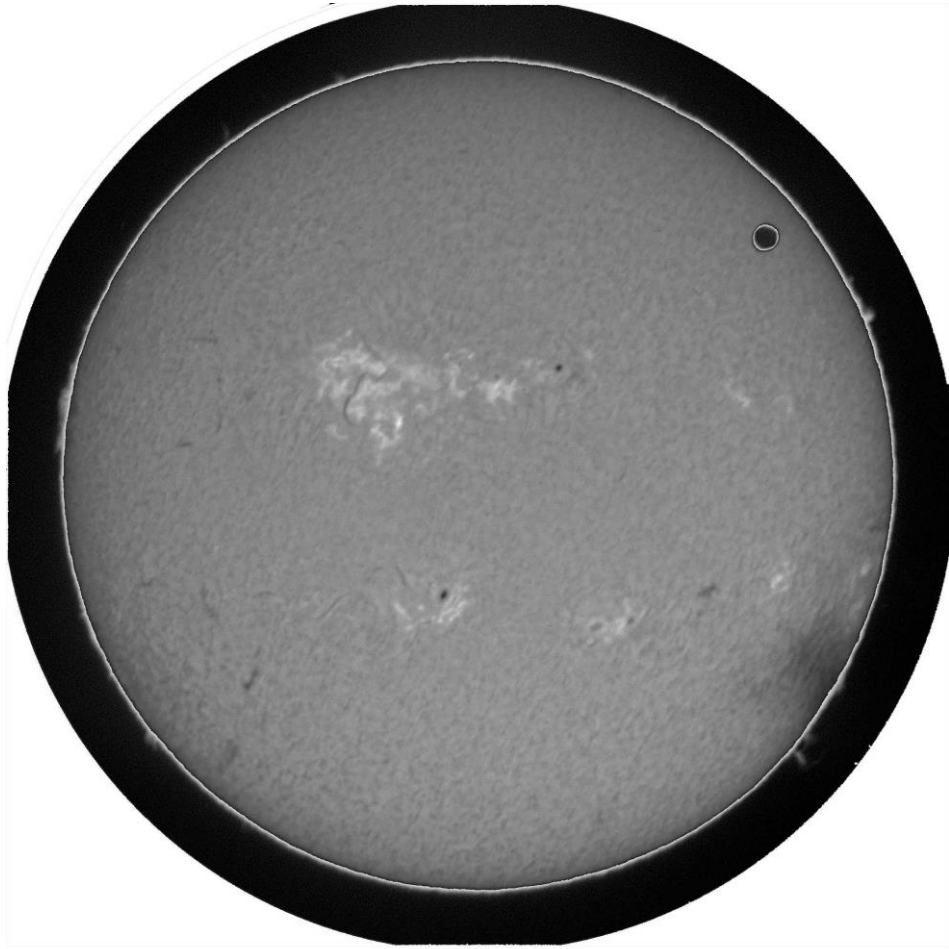
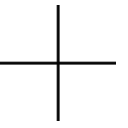
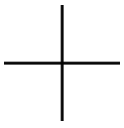


H-alfa 2012-06-06 4:18 UT

©M. Vajčner

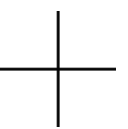
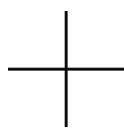
Obr. 60: H-alfa 2012-06-06 4:18 UT, © Marek Vajčner

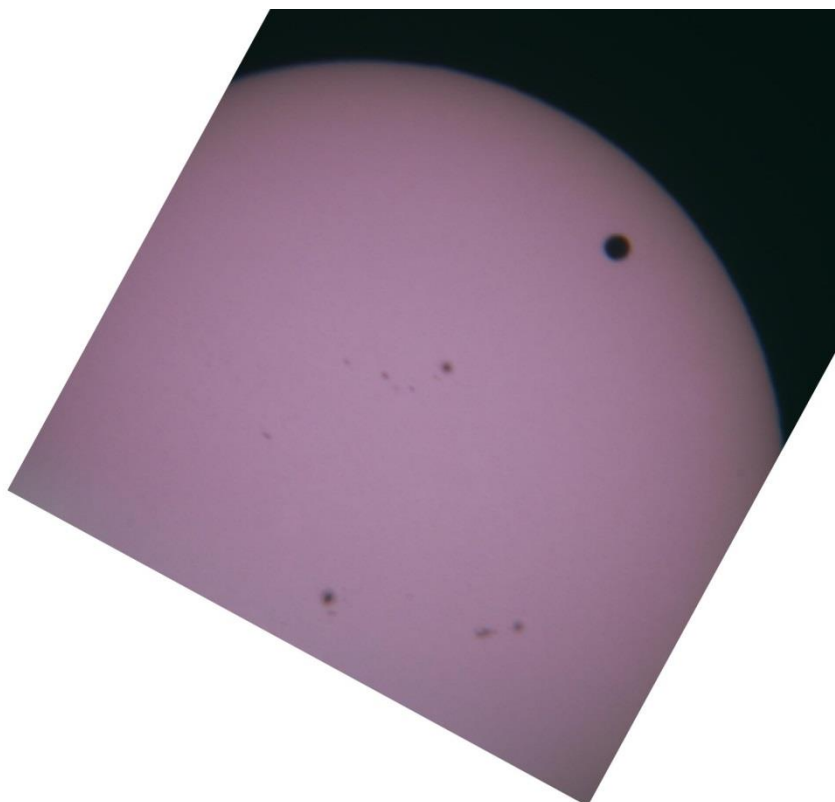




H-alfa/GONG 2012-06-06 4:06 UT

Obr. 61: H-alfa/GONG 2012-06-06 4:06 UT





Baader. F. (okulárová projekce) 2012-06-06 3:43 UT

Obr. 62: Baaderova folie, afokální projekce 2012-06-06 3:43 UT

Obr. 60

Tento snímek je zapůjčený s laskavým svolením p. Marka Vajčnera, který tento snímek pořídil, při tranzitu Venuše přes sluneční kotouč 6. června 2012.

Oproti mým fotografiím, pořízených pomocí H-alfa filtru, má velmi kvalitně zaostřenou fotografii a správně nastavenou expozici, což mě se z daleka tak dobře nepodařilo.

Při srovnání s následujícím snímkem, můžeme vidět minimum rozdílů.

Obr. 61

Snímek pořízený v H-alfa spektru, sledovacím zařízením skupiny GONG.

Obr. 62

Můj snímek pořízený pomocí metody afokální projekce společně s Baaderovou folií.

Tento snímek lze s předešlými porovnávat pouze v rozmístění skvrn na Slunci, v žádném případě nám neukáže protuberance ani filamenty.

Ke všem snímkům

Co rozhodně bije do očí je různé postavení Venuše na slunečním kotouči, je to dáno tím, že se mi nepodařilo sehnat snímky, které by byly naprosto totožné, focené ve stejný čas.

4.9 Porovnání

Během pozorování se mi osvědčila především metoda afokální projekce, kdy je pomocí okuláru obraz (Slunce) promítán na čtvrtku bílého papíru umístěnou přibližně 50 cm od okuláru. Protože projekce byla pro mě velmi výhodná, co se týká ostření, ale hlavně fotografování. Na rozdíl od okulárové (afokální) projekce, kdy je fotoaparát umístěn za okulárem, jsem fotografoval pouze stínítko s obrazem Slunce.

Na druhou stranu metoda projekce byla nejnebezpečnější ze všech mnou použitých metod, neboť stačí jen chvilka nepozornosti a pozorovatel může přijít o zrak. Při používání dalekohledu TAL-120 jsem narazil ještě na jeden problém, a to v pointaci, kdy absence hodinového strojku na montáži zapříčiňovala neustálé „ujíždění“ Slunce ze zorného pole.

H-alfa filtr se mi osvědčil nejhůře, je to dáno především tím, že jsem nebyl dostatečně „sžitý“ s technikou, kterou jsem měl pouze zapůjčenou. S H-alfa filtrem jsem pozoroval nejméně, bylo to dáno především tím, že v období na které jsem měl dalekohled zapůjčený bylo často přes den zataženo a Slunce se přes zimu pohybovalo nízko nad obzorem (nízká deklinace). Dále se mi dostatečně nepodařilo zajistit zaostření obrazu, které se projevilo velkým počtem nepoužitelných fotografií.

Velkou výhodou byla montáž dalekohledu EQ-6, která obsahovala elektronické navádění a hodinový strojek, takže jsem mohl pohodlně fotografovat a nestarat se o pointaci, a kdybych neměl ustanovenou montáž, stačilo jen pomocí guideru přesně namířit dalekohled na Slunce.

Poslední metoda, kterou jsem použil, byla, že jsem před dalekohled TAL-120 umístil astro folii přímo určenou ke sledování Slunce. Folie poskytuje ostrý obraz společně s kvalitními okuláry. Proto jsem sice získal použitelné fotografie, ale ve srovnání s projekční metodou byly tyto fotografie rozostřené, při zjišťování důvodu jsem dospěl k názoru, že je problém především v okuláru, který i při vizuálním pozorování vykazoval velkou chromatickou aberaci. Dále jsem narazil na problém, při ostření, kdy jsem v hledáčku nic neviděl kvůli světlu, které se odrazilo od čočky hledáčku.

Závěr

Cílem mé práce bylo shrnout základní poznatky o Slunci, provést sérii pozorování, pro které chci nadchnout i ostatní zájmové skupiny a svá pozorování kvalitativně porovnat s pozorováními NASA, konkrétně s družicemi SDO, SOHO a pozemním sledovacím systémem GONG.

Hlavním cílem nebylo najít něco světoborného, ale zaměřit se hlavně na samotné porovnání několika principiálně odlišných metod pozorování. Proto je poslední čtvrtá část práce velmi obsáhlá.

Abych shrnul všechna pozorování, která jsem učinil, musím dodat, že mimo pozorování zmíněná v části 4, proběhlo i velké množství negativních pozorování, kdy byla zatažená obloha a tedy nešlo pozorovat Slunce. To, že je negativní pozorování pozorování jsem se dozvěděl na semináři p. Michala Sobotky z Astronomického ústavu Akademie věd ČR.

Práce mi otevřela, pro mě zcela nové dveře do světa astronomie, o kterých jsem sice věděl, ale přehlížel. Teď už však vím, že Slunce zdaleka tak neznáme, jak jsem si myslel, a že sluneční skvrny nejsou jediná věc, která lze na Slunci pozorovat.

Mimo jiné jsem získal mnoho zkušeností jak s používáním nových dalekohledů, montáží a filtrů, tak jsem se naučil základní návyky psaní rozsáhlejší práce.

Jako hlavní význam pro mě byl, že až někdy v budoucnu budu psát svou diplomovou práci, získané znalosti z práce SOČ zúročím.

V dohledné době, především o prázdninách se uskuteční série pozorování Slunce pro veřejnost, pořádaná společně ve spolupráci s hvězdárnou ve Veselí nad Moravou. Dále se budu snažit o zapojení se do projektu Pozorování Slunce (*Se Sluncem společně*), který zaštiťuje hvězdárna ve Valašském Meziříčí s Kysuckou hvězdárnou v Kysuckom Novom Meste.

Věřím, že má práce bude pro veřejnost příkladem a doufám, že ji bude inspirovat pro pozorování Slunce.

Použitá literatura a informační zdroje

- 1 DRUCKMÜLLER, Miloslav. Červenec 2010 - Vnitřní koróna Slunce při úplném zatmění 11. 7. 2010. In: Česká astronomická společnost [online]. 11. 7. 2010 [cit. 2014-01-04]. Dostupné z: <<http://www.astro.cz/cam/2010/07/>>.
- 2 HLAD, Oldřich a Jaroslav PAVLOUSEK. Přehled astronomie. druhé, přepracované a doplněné. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1990. ISBN 80-030-0160-9.
- 3 KRYNICKÝ, Martin. *Učebnice fyziky pro gymnázia* [online]. 2010 [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: <<http://www.ucebnice.krynicky.cz>>.
- 4 ŠVANDA, Michal. Slunce jako hvězda: *Astronomický ústav AV ČR* [PDF]. 2013 [cit. 2014-03-13]. Dostupné z: <http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/dokumenty/workshop-III-01-msv-slunce_jako_hvezda.pdf>.
- 5 ŠVANDA, Michal. Slunce jako hvězda I: *Astronomický ústav AV ČR* [MP3, audiozáznam přednášky]. 2013 [cit. 2014-03-13]. Dostupné z: <<http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/zvukove-zaznamy/workshop-III-slunce-msv-01.mp3>>.
- 6 ŠVANDA, Michal. Sluneční dynamika: *Astronomický ústav AV ČR* [PDF]. 2013 [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/dokumenty/workshop-III-02-msv-slunecni_dynamika.pdf>.
- 7 ŠVANDA, Michal. Sluneční dynamika: *Astronomický ústav AV ČR* [MP3, audiozáznam přednášky]. 2013 [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <<http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/zvukove-zaznamy/workshop-III-slunce-msv-03.mp3>>.
- 8 ŠVANDA, Michal. Slunce a Sluneční soustava [PDF]. Astronomický ústav AV ČR, 2013 [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/dokumenty/workshop-III-03-msv-slunecni_soustava.pdf>.

- 9 SOBOTKA, Michal. Sluneční skvrny od A do Z: *Astronomický ústav AV ČR, Ondřejov* [PDF]. 2013 [cit. 2014-03-11].
Dostupné z: <<http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/dokumenty/workshop-III-mso-05-skvrny-od-a-do-z.pdf>>.
- 10 SOBOTKA, Michal. Sluneční skvrny od A do Z [MP3, audiozáznam přednášky]. 2013 [cit. 2014-03-11].
Dostupné z: <<http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/zvukove-zaznamy/workshop-III-slunce-mso-07.mp3>>.
- 11 *Astronomia*: Astronomický server Fakulty Pedagogické ZČU v Plzni [online]. 2014 [cit. 2014-02-25]. Dostupné z: <<http://astronomia.zcu.cz/>>.
- 12 Záhada horké sluneční koróny. Česká astronomická společnost [online]. 2011 [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: <<http://www.astro.cz/clanek/4552>>.
- 13 *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. 2001- [cit. 2014-03-17].
Dostupné z: <<https://cs.wikipedia.org/>>.
- 14 REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Encyklopedie fyziky [online]. 2006 [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <<http://fyzika.jreichl.com/>>.
- 15 TOMAN, Jakub. *Slunce a jeho pozorování* [online]. 2009- [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: <<http://slunce.astronomie.cz/>>.
- 16 The Classification of X-ray Solar Flares: or "Solar Flare Alphabet Soup". In: Space Weather [online]. 2010 [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: <<http://spaceweather.com/glossary/flareclasses.html>>.
- 17 MATOUŠEK, Miroslav. *Dalekohledy Matoušek* [online]. 2005- [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: <<http://www.dalekohledy.cz/webmagazine/home.asp?idk=1>>.
- 18 BÍLEK, František. *Amatérská Astronomie a Astrofotografie* [online]. 2003 [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: <<http://web.quick.cz/frantabilek/index.html>>.
- 19 *Astronomické fórum: České astronomické společnosti* [online]. 2000- [cit. 2014-03-17].
Dostupné z: <<http://www.astro-forum.cz/cgi-bin/yabb/YaBB.pl>>.

Seznam obrázků a zdrojů obrázků

- Obr. 1: Sluneční spektrum; spektrograf: MERIS; Rozlišení 2,18 Å/px 10
Astronomické fórum. HROCH, Miloš. *Spektroskop* [online]. 2010 [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: <http://www.astro-forum.cz/cgi-bin/yabb/YaBB.pl?num=1156688234/75, #83>
- Obr. 2: Schéma Slunce 12
Slunce jako hvězda. Slunce a jeho pozorování [online]. 2009- [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: http://slunce.astronomie.cz/data/slunce/sunparts_cz_m.jpg
- Obr. 3: Schéma konvekce na Slunci 13
Autor: Vladimír Pokorný
- Obr. 4: Příklad molekulárního mračka, na obrázku je Růžicová mlhovina, NGC 2237 14
DAVIS, Brian. Astronomický snímek dne (APOD): 14. únor 2012. Česká astronomická společnost [online]. 200 [cit. 2014-03-17].
Dostupné z: http://apod.nasa.gov/apod/image/1202/ngc2237_davis_1663.jpg
- Obr. 5: Hertzsprungův-Russelův diagram 16
ŠVANDA, Michal. Slunce jako hvězda: Astronomický ústav AV ČR [PDF]. 2013 [cit. 2014-03-13]. Dostupné z: http://www.pozorovanislunce.eu/userfiles/files/dokumenty/workshop-III-01-msv-slunce_jako_hvezda.pdf
- Obr. 6: Proton-Protonový cyklus 19
File:FusionintheSun.svg. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-03-17].
Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:FusionintheSun.svg>
- Obr. 7: CNO cyklus 19
File:CNO Cycle.svg. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-03-17].
Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/File:CNO_Cycle.svg
- Obr. 8: Graf závislosti energie na teplotě v cyklech P-P a CN(O) 20
ADELBERGER, E.G. Solar fusion cross sections II: the pp chain and CNO cycles. Inspirehep [online]. 2011 [cit. 2014-03-17].
Dostupné z: <http://inspirehep.net/record/851966/files/cnoppnew.png>
- Obr. 9: Příklad Fotosféry, SDO HMIIC; 2014-02-14 22
2014-02-14 HMIIC. SDO [online]. 2014 [cit. 2014-03-17].
Dostupné z: 20140214_000000_512_HMIIC.jpg
- Obr. 10: Příklad obrázku Chromosféry, SDO 304; 2014-02-14, teplota 50 000 K 22
2014-02-14 SDO/AIA-304. SDO [online]. 2014 [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: http://sdo.gsfc.nasa.gov/assets/img/browse/2014/02/14/20140214_000020_512_0304.jpg

- Obr. 11: Sluneční koróna při minimu sluneční aktivity; 1996..... 23
 LASCO. SOHO [online]. 2014 [cit. 2014-03-17].
 Dostupné z: http://www.aldebaran.cz/sondy/sondy/95_Soho/lasco004.jpgbrowse/2014/02/14/20140214_000020_512_0304.jpg
- Obr. 12: Sluneční koróna v období maxima sluneční aktivity; 2002..... 23
 LASCO C2 on 16 July 2002. SOHO [online]. 2014 [cit. 2014-03-17].
 Dostupné z: http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/images/large/20020716c2halo_prev.jpg
- Obr. 13: Viditelná koróna při úplném zatmění Slunce v roce 2008, Miloslav Druckmüller . 24
 DRUCKMÜLLER, Miroslav. Sluneční koróna. Astronomický kurz [online]. 2014 [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: <http://www.hvezdarna.cz/astrokurz/obrazky1/kap8/214-E-04-Kor%C3%B3na.jpg>
- Obr. 14: Konvekce pod povrchem Slunce bez skvrny 24
 Autor: Vladimír Pokorný
- Obr. 15: Porušení konvekce vlivem defektu magnetického pole se sluneční skvrnou 25
 Autor: Vladimír Pokorný
- Obr. 16: Sluneční skvrna (AR NOAA 1084) pořízená 02. 07. 2010, teleskop BBSO, v úzkém pásmu 706 nm 25
 SUN SPOT NOAA 1084. BBSO [online]. 2014 [cit. 2014-03-17].
 Dostupné z: http://www.bbso.njit.edu/gallery/sunspot_tio_20100702.jpg
- Obr. 17: Příklad granulace, HINODE: Granulation, pixel 0.055", continu à 5550 A..... 26
 Granulation, pixel 0.055", continu à 5550 A. Observations HINODE [online]. 2014 [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: <http://www.lesia.obspm.fr/perso/jean-marie-malherbe/hinode/5550.jpg>
- Obr. 18: Obrázek Super granulace, získaný matematickými metodami z několika set snímků z dopplergramu družice SOHO 27
 MDI 30-Minute Averaged Dopplergram550 A. The Michelson Doppler Imager [online]. 2014 [cit. 2014-03-17].
 Dostupné z: http://soi.stanford.edu/results/ave_30min.htmlmarie-malherbe/hinode/5550.jpg
- Obr. 19: Spikuly při okraji slunečního kotouče 28
 2014-02-14 SDO/AIA-304. SDO [online]. 2014 [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: http://sdo.gsfc.nasa.gov/assets/img/browse/2014/02/14/20140214_000020_4096_0304.jpg
- Obr. 20: Flokulové pole SDO, vlnová délka 170 nm..... 28
 2014-03-16 SDO/AIA-1700. SDO [online]. 2014 [cit. 2014-03-17].
 Dostupné z: http://sdo.gsfc.nasa.gov/assets/img/browse/2014/03/16/20140316_113207_4096_1700.jpgbrowse/2014/03/16/20140316_001807_4096_1700.jpg
- Obr. 21: Velmi silná sluneční erupce (oblast NOAA 10486) v roce 2003, třída X45 (dodnes se přesně nezná síla erupce, přístroje tehdy měřily mimo svůj rozsah) 29
 2003-11-04 19:48. Free Republic [online]. 2000-2008 [cit. 2014-03-17].
 Dostupné z: <http://www.freerepublic.com/focus/f->

news/1014832/postsbrowse/2014/03/16/20140316_113207_4096_1700.jpgrowse/2014/03/16/20140316_001807_4096_1700.jpg

- Obr. 22: Zatmění Slunce, Maďarsko 11. srpen 1999, Sümeg 30
Autor: Vladimír Pokorný starší
- Obr. 23: Příklad protuberance; SDO, 2013-05-01 30
Circular CME. SDO [online]. 2014 [cit. 2014-03-17].
Dostupné z: <http://sdo.gsfc.nasa.gov/assets/gallery/preview/Rollingwave.jpg>
- Obr. 24: Dlouhý filament na slunečním kotouči, snímáno v H-alfa spektru; GONG 31
H-alfa/NSO/GONG. NSO.GONG [online]. 2014 [cit. 2014-03-17].
Dostupné z: <ftp://gong2.nso.edu/HA/hag/201306/20130611/20130611071814Th.jpg>
- Obr. 25: Mnou použitá Baaderova folie 33
Autor: Vladimír Pokorný
- Obr. 26: Zapůjčený H-alfa filtr, (a) 1. etalon, (b) 2. etalon/blokační filtr s hledáčkem 33
Autor: Vladimír Pokorný
- Obr. 27: Průběhy frekvence na jednotlivých etalonech 35
Autor: Vladimír Pokorný
- Obr. 28: Dalekohled Borg na německé paralaktické montáži EQ-6 37
Autor: Vladimír Pokorný
- Obr. 29: Vzdálenost bajonetu od roviny snímače 38
Autor: Vladimír Pokorný
- Obr. 30: Přípravek pro upevnění fotoaparátu k dalekohledu 39
Autor: Vladimír Pokorný
- Obr. 31: Ukázka silně přeexponovaného snímku 40
Autor: Vladimír Pokorný
- Obr. 32: Flat frame, ukazuje rozmístění prachu na čipu 41
Autor: Vladimír Pokorný
- Obr. 33: Znázorněné osy na montáži, červená osa=polární osa (rovnoběžná se zemskou osou); modrá=deklinční osa (otočí se 1 za 24 hodin kolem polární osy) 43
Autor: Vladimír Pokorný
- Obr. 34: Dalekohled TAL-120 s nasazenou Baaderovou folií 44
Autor: Vladimír Pokorný

Obr. 35: Rozostřený obraz 3 slunečních disků, použita Hartmanova maska, jednotlivé kotouče jsou zvýrazněny černými kružnicemi	46
Autor: Vladimír Pokorný	
Obr. 36: Chromatická aberace, způsobená ohybovou vadou okuláru	47
Autor: Vladimír Pokorný	
Obr. 37: Omezená míra chromatické aberace díky použití kvalitnějšího okuláru	47
Autor: Vladimír Pokorný	
Obr. 38: Dalekohled TAL-120 se speciálním držákem pro přímou projekci.....	48
Autor: Vladimír Pokorný	
Obr. 39: Ostření bylo zajištěno pomocí ostřicí pomůcky Hartmanovy masky.....	50
Autor: Vladimír Pokorný	
Obr. 40: Extrémně rozostřený obraz na stínítku	50
Autor: Vladimír Pokorný	
Obr. 41: Zapalování zápalky v ohnisku dalekohledu TAL-120, zapálila se během 5 s.	51
Autor: Vladimír Pokorný	
Obr. 42: H-alfa 2013-10-19 11:33 UT	53
Autor: Vladimír Pokorný	
Obr. 43: SDO/AIA 304 2013-10-19 11:44:08 UT	54
AIA 304; 2013-10-19. SDO [online]. 2014 [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: http://sdo.gsfc.nasa.gov/assets/img/browse/2013/10/19/20131019_114408_4096_0304.jpg	
Obr. 44: H-alfa BW 2013-10-19 11:40 UT.....	56
Autor: Vladimír Pokorný	
Obr. 45: H-alfa GONG 2013-10-19	57
H-alfa; 2013-10-19. NSO/GONG [online]. 2014 [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: ftp://gong2.nso.edu/HA/hag/201310/20131019/20131019095814Th.jpg	
Obr. 46: Baaderova folie 2013-11-22 14:15	59
Autor: Vladimír Pokorný	
Obr. 47: SDO/HMI 2013-11-22 14:21	60
HMI 2013-11-22. SDO [online]. 2014 [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: http://sdo.gsfc.nasa.gov/assets/img/browse/2013/11/22/20131122_142110_4096_HMI.jpg	
Obr. 48: Projekce 2013-11-22 14:29.....	62
Autor: Vladimír Pokorný	

Obr. 49: SDO/HMI 2013-11-22 14:21	63
HMI 2013-11-22. SDO [online]. 2014 [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: http://sdo.gsfc.nasa.gov/assets/img/browse/2013/11/22/20131122_142110_4096_HMI.jpg	
Obr. 50: Projekce; 2014-02-23 14:21.....	65
Autor: Vladimír Pokorný	
Obr. 51: Přehledová mapa, 2014-02-23; Baaderova folie + afokální snímání.....	65
Autor: Vladimír Pokorný	
Obr. 52: SDO/HMI 2014-02-23 14:25 UT	66
HMI 2014-02-23. SDO [online]. 2014 [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: http://sdo.gsfc.nasa.gov/assets/img/browse/2014/02/23/20140223_142455_2048_HMI.jpg	
Obr. 53: Projekce 2014-03-10 15:30 UT	68
Autor: Vladimír Pokorný	
Obr. 54: Baaderova folie, afokální projekce; 2014-03-10 15:20 UT	69
Autor: Vladimír Pokorný	
Obr. 55: Přehledová mapa, SDO/HMI 2014.03.10_15:19:30_TAI	70
Autor: Vladimír Pokorný	
Obr. 56: SDO/HMI 2014.03.10_15:19:30_TAI.....	70
HMI 2014-03-10. SDO [online]. 2014 [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: http://sdo.gsfc.nasa.gov/assets/img/browse/2014/03/10/20140310_151855_3072_HMI.jpg	
Obr. 57: H-alfa 2012-06-06 4:18 UT, © Marek Vajčner	72
VAJČNER, Marek. H-alfa 2012-06-06; 4:18 UT. Veselí nad Moravou, 2012.	
Obr. 58: H-alfa/GONG 2012-06-06 4:06 UT.....	73
H-alfa GONG 2012-06-06. NSO/GONG [online]. 2012 [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: ftp://gong2.nso.edu/HA/hag/201206/20120606/20120606040614Mh.jpg	
Obr. 59: Baaderova folie, afokální projekce 2012-06-06 3:43 UT	74
Autor: Vladimír Pokorný	