

OBSAH

1. Úvod	4
2. Fyzika Slunce	5
2.1. Vnitřní struktura Slunce	5
2.1.1. Jádno	5
2.1.2. Zóna záření	6
2.1.3. Zóna konvekce.....	7
2.2. Atmosféra Slunce	7
2.3. Fotosféra	8
2.3.1. Granulace, supergranulace.....	8
2.3.2. Skvrny.....	8
2.3.3. Fakulová pole	8
2.4. Chromosféra	9
2.4.1. Spikule	9
2.4.2. Flokulová pole	9
2.4.3. Chromosférické erupce.....	9
2.4.4. Protuberance	10
2.5. Koróna	12
2.6. Magnetické pole	13
2.6.1. Haleův cyklus	13
2.7. Sluneční cyklus.....	14
2.8. Hvězdná aktivita ⁹	15
3. Historie a vývoj pozorování Slunce ¹⁰	17
4. Pozorování fotosféry	19
4.1. Pozorování prostým okem	19
4.1.1. Pozorovací protokol.....	20
4.2. Pozorování pomocí dalekohledu	21
4.2.1. Přímé pozorování.....	21
4.2.2. Sluneční fólie	22
4.2.3. Pozorování projekcí.....	22
4.3. Zakreslování fotosféry projekční metodou.....	23
4.3.1. Postup zakreslení	23
4.4. Vyplnění pozorovacího protokolu	24
4.5. Wolfovo relativní číslo	25
4.6. Klasifikace slunečních skvrn	26
4.7. Heliografické souřadnice skvrn	29
4.8. Synoptická mapa	30
4.9. Motýlkový diagram	30
5. Pozorování chromosféry.....	31
5.1. Koronograf	31
5.2. Chromosférický dalekohled s H-alfa filtrem	32
5.3. Pozorovací program sledování aktivity chromosféry.....	32
5.4. Postup zakreslení	33
5.5. Vyplnění pozorovacího protokolu	34
5.6. Protuberanční číslo	35
5.7. Klasifikace protuberancí.....	35
5.7.1. Volkerova klasifikace protuberancí.....	36
5.7.2. Kniselyho klasifikace protuberancí	37
5.7.3. Cardiffská klasifikace protuberancí.....	37

5.8. Výška protuberance	41
5.9. Délka filamentu	41
6. Astrofotografie Slunce.....	42
6.1. Bezpečnost při fotografování.....	42
6.2. Širokoúhlá fotografie.....	42
6.3. Fotografování pomocí dalekohledu	43
6.4. Filtry na dalekohled	43
6.5. Snímek x video	44
6.6. Digitální zrcadlovka v primárním ohnisku	45
6.7. Kompaktní fotoaparát v afokální sestavě	45
6.8. Kamera v primárním ohnisku dalekohledu	45
7. Vlastní pozorování fotosféry	46
7.1. Přístrojové vybavení a metody	46
7.2. Pozorovací protokol.....	46
7.3. Napozorovaná data	49
8. Vlastní pozorování chromosféry	52
8.1. Přístrojové vybavení a metody	52
8.2. Pozorovací protokol.....	52
8.3. Napozorovaná data	54
9. Snímky na internetu.....	57
9.1. Informace pro začátek	57
9.1.1. Astronomia.zcu.cz	57
9.1.2. Astro.cz.....	58
9.2. Pozemní observatoře.....	58
9.2.1. CESAR	58
9.2.2. Observatoř Mt. Wilson	58
9.2.3. Observatoř Big Bear	58
9.2.4. Observatoř Teide na Tenerife	59
9.3. Kosmické sondy	59
9.3.1. SOHO	59
9.3.2. SDO	59
9.4. Amatérská pozorování	60
9.4.1. Spaceweather.com	60
9.4.2. The Sun Today	60
10. Porovnání výsledků	61
10.1. Denní změna struktury sluneční skvrny NOAA 1024.....	61
10.2. Procentuální zastoupení jednotlivých tvarů protuberancí	62
10.3. Vlastní fotografie a snímek družice SOHO skvrny NOAA 1084	63
10.4. Kresba pohybu protuberance 18. 3. 2010.....	64
10.5. Porovnání snímku z družice SDO a nákresu v protokolu.....	65
10.6. Detail skvrny NOAA 101092	66
10.7. Porovnání velikostí skvrn	67
11. Závěr.....	68
12. Použité internetové zdroje a literatura	69
13. Seznam obrázků.....	71
14. Seznam tabulek.....	72
15. Přílohy	73
16. Resume	74

1. Úvod

Pozorování Slunce má tisíciletou historii, ale až po objevu dalekohledu se mohlo začít s podrobnějším zkoumáním jeho aktivity. Nejvýraznějším projevem sluneční aktivity je výskyt slunečních skvrn ve fotosféře, který se pravidelně opakuje v podobě slunečních cyklů. Pro studium změn v pravidelnosti cyklů jsou nutné dlouhé pozorovací řady. Pozorovací řady svým pozorováním rozšiřují nejen profesionální, ale i amatérští astronomové.

Pro začínajícího astronoma-amatéra je jen otázka času, kdy vybaví dalekohled vhodnými pomůckami a obrátí zrak ke Slunci. Postupem času a technických možností dochází postupně k zdokonalení a zlevnění filtrů, a tak dnes může začínající astronom pozorovat nejen fotosféru, ale i chromosféru Slunce.

V současné době mohou zájemci z řad laické i odborné veřejnosti sledovat Slunce prostřednictvím internetu. Většina observatoří a sond, které pozorují Slunce, má rozsáhlé obrazové archivy. S blížícím se maximem nového slunečního cyklu se dá předpokládat zvýšený zájem médií a veřejnosti o Slunce a jeho aktivitu.

V této práci bych rád, na základě vlastních pozorování a dat získaných z internetu, předložil začínajícímu astronomovi-amatérovi nebo „internetovému“ pozorovateli z řad veřejnosti, návod, jak Slunce pozorovat, jak pochopit děje, které se na Slunci odehrávají, a jak správně interpretovat získané informace.

Před studiem na vysoké škole jsem se astronomii věnoval hlavně z pozorovatelského hlediska. Při výběru tématu bakalářské práce jsem hledal, jak zkombinovat teoretickou a praktickou astronomii. Pozorování Slunce, zpracování a porovnání dat vlastních a dat nalezených na internetu moji představu o kombinaci teorie a praxe splňují.

2. Fyzika Slunce

Slunce je nejbližší hvězda k Zemi, proto můžeme podrobně sledovat sluneční činnost a jevy, které na Slunci probíhají. I přes relativně podrobné zkoumání nejsou některé fyzikální procesy Slunce zatím zcela vysvětleny. Sluneční fyzika je obsáhlý vědní obor, s ohledem na téma bakalářské práce se zde budu zabývat pouze některými partiemi.

Tabulka 1: Vybrané charakteristiky Slunce ¹

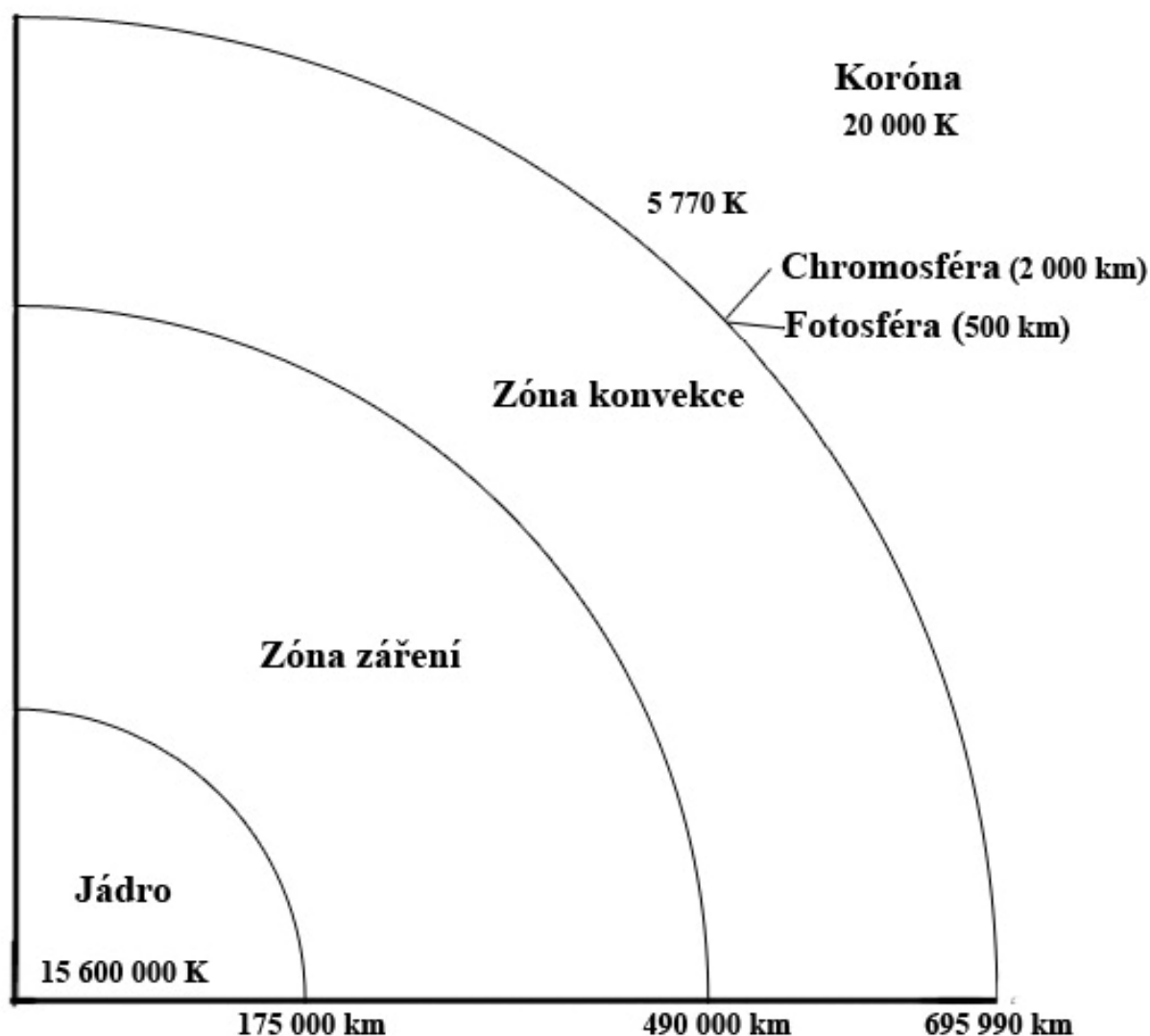
Hmotnost	$1,989 \cdot 10^{30}$ kg
Rovníkový poloměr	695 990 km
Teplota povrchu	5 770 K
Teplota v centru	15 600 000 K
Střední vzdálenost od Země	149 600 000 km
Spektrální typ	G2V
Perioda rotace na rovníku	25,1 dne
Perioda rotace na pólech	34,4 dne
Složení	70 % vodík, 28 % helium, 2 % ostatní prvky

2.1. Vnitřní struktura Slunce

2.1.1. Jádro

Sluneční jádro sahá od středu do vzdálenosti 175 000 km (25 % poloměru Slunce¹). Rozměry jádra Slunce byly zjištěny pomocí helioseismologie. V oblasti jádra je vysoká teplota a tlak. Díky těmto extrémním podmínkám mohou v jádře probíhat termonukleární reakce. Hlavním zdrojem energie Slunce je přeměna vodíku na helium. Rovnice přeměny vodíku na helium jsou popsány v publikacích popisujících astrofyzikální procesy ve hvězdách, například ².

¹ Pro lepší představu o rozměrech vnitřní struktury Slunce uvádím procentuální dosah v poloměru Slunce.



Obr. 1: Vnitřní stavba Slunce³

2.1.2. Zóna záření

Na sluneční jádro navazuje vrstva nazývaná zóna zářivé rovnováhy, která končí 490 000 km od středu Slunce (70 % poloměru Slunce). Záření z jádra vstupuje do zóny záření s energií, která odpovídá přibližně rentgenovému záření. Teplota zde dosahuje řádu milionů kelvinů, ale hustota není příliš velká, dosahuje hodnoty $1\,400\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, tedy o něco málo větší, než je hustota vody v pozemských podmínkách.⁴ V plazmatu jsou lehké plyny (helium a vodík) zcela ionizovány. Fotony předají energii volným elektronům, dochází k fotoionizaci. Zóna záření je pro fotony neprůhledná, střední volná dráha fotonu je přibližně 1 mm. Poté je foton pohlcen.

Při přenosu energie zářením nastává stav popisovaný jako energetická rovnováha. Energie, která vstoupí z jádra do zóny záření, je téměř stejná jako energie, která vystupuje ze zóny záření do zóny konvekce. Rovnováha platí pro energii záření jako pro celek, neplatí pro fotony. Pohlcováním a vyzařováním fotonů rentgenového záření dochází nejen k postupnému zmenšování energie fotonu, ale i k rozdělení na více fotonů o nižší energii. Z jednoho rentgenového fotonu vznikne přibližně 25 000 fotonů viditelného záření.

2.1.3. Zóna konvekce

V zóně konvekce je nižší teplota, při které již nedochází k ionizaci plynu. Volné elektrony se musí začít spojovat s jádry atomů a vznikají neutrální atomy. Plyn začne více pohlcovat fotony vyzářené ze zóny záření. Roste opacita plynu, tzn. plyn začne být pro volné fotony neprůzračný. Dochází k poklesu teploty a vzniku proudění. Horké plazma stoupá směrem vzhůru a na jeho místo se dostává chladnější plazma od povrchu Slunce.

Na horní hranici konvekce je viditelný povrch Slunce – fotosféra. Proudění plazmatu má přímý vliv na jevy viditelné ve fotosféře, např. granulaci, skvrny, protuberance a další.

2.2. Atmosféra Slunce

Slunce nemá pevný povrch, od kterého by se dalo měřit, hranice se musí stanovit na základě opticky definované hranice. Pro určení se používá veličina zvaná optická hloubka τ . Udává množství pohlceného světla, které odpovídá optické tloušťce atmosféry. Průměrná hloubka atmosféry, ze které přicházejí informace, je rovna hodnotě 1. Atmosféra Slunce začíná zhruba 300 km pod vnějším okrajem fotosféry. Oblasti pod touto hranicí patří k nitru Slunce. Do atmosféry vidíme, unikne z ní část fotonů, do nitra nevidíme, neunikne z něj žádný foton.

Z intenzity I_0 v optické hloubce τ vystupuje ven intenzita záření

$$I = I_0 e^{-\tau}.$$

Tabulka 2: Závislost optické hloubky na intenzitě záření⁵

τ	0,1	0,5	1	2	3	4	5
I	0,90	0,61	0,37	0,14	0,05	0,02	0,007

2.3. Fotosféra

Fotosféra tvoří povrch Slunce a panují zde podmínky (teplota 5 700 K, tloušťka přibližně 500 km a nízká opacita), které umožňují fotonům se volně pohybovat a unikat do volného prostoru. Z fotosféry přichází 98 % všech fotonů, které Slunce vyzáří.

2.3.1. Granulace, supergranulace

Granulace tvoří zrnitou strukturu fotosféry, která se neustále mění. Velikost jednotlivých granulí je okolo 1 200 km (zorný úhel pro střed slunečního disku 1,7"). Jejich jasnost je zhruba o 30 % větší, než oblastí ležících mezi granulemi. Kontrast k okraji disku postupně klesá, pokles je pouze zdánlivý a je způsoben pouze geometrickým zkreslením kulového povrchu Slunce. Výskyt granulí je nezávislý na poloze na slunečním kotouči.

Granulace se vytváří prouděním horkého plazmatu k povrchu Slunce (jasnější oblasti) a klesáním chladnějšího plazmatu do nižších vrstev (tmavší oblasti).

Projevem konvekce ve větších geometrických měřítkách je supergranulace (rozměry buňky jsou 30 000 km).

2.3.2. Skvrny

Sluneční skvrny (2 000 K) jsou chladnější oblasti ve fotosféře (6 000 K). Ochlazení je způsobeno přítomností lokálních magnetických polí, které brzdí konvekci. Vyvinutá skvrna se skládá z temnějšího jádra – stínu (umbry) a světlejšího okraje – polostínu (penumbry). Tmavší zbarvení skvrn je způsobeno tím, že je pozorujeme na pozadí částí Slunce s větší teplotou. Skvrny se vyskytují jednotlivě nebo ve skupinách, životnost se pohybuje od hodin až po několik dní. Výskyt skvrn je závislý na heliografické šířce a cyklu sluneční aktivity.

2.3.3. Fakulová pole

Fakulová pole jsou jasnější oblasti fotosféry. Zjasnění způsobuje větší tok sluneční energie, který je ovlivněn větší intenzitou lokálního magnetického pole. Fakulová pole provázejí oblasti vzniku skvrn, jejich životnost několikrát přesahuje dobu života skvrn. Objevují se několik dní před vznikem skvrny a lze je pozorovat i po zániku skvrn. Jsou pozorovatelná pouze na okraji slunečního disku, ve středu disku dochází k přesvícení fotosférou. Při pozorování v ultrafialovém spektru lze spatřit fakulová pole po celém disku.

2.4. Chromosféra

Nad fotosférou leží vrstva chromosféry o tloušťce přibližně 2 000 km. Teplota v chromosféře je rovna asi 20 000 K. Jevy v chromosféře jsou ovlivněny konvekcí z fotosféry a magnetickým polem.

2.4.1. Spikule

Spikule (lat. *klásky*) je plyn vystřelený rychlostí $20 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ do výšky 15 000 km. Jsou rozmístěny po celém obvodu Slunce a neustále se obměňují (životnost je přibližně 10 minut). Svojí strukturou navazují na granule z fotosféry.

2.4.2. Flokulová pole

Flokule (lat. *vločky*) jsou místa v chromosféře, která se vyznačují zvýšením jasů vůči okolí. Nárůst jasů způsobuje zvýšená intenzita lokálního magnetického pole. Flokule se mohou spojit dohromady a vzniká flokulové pole. Flokulová pole navazují na fakulová pole z fotosféry. Na rozdíl od fakulových polí můžeme flokulová pole pozorovat po celém disku.

2.4.3. Chromosférické erupce

Flokulové pole v chromosféře oznamuje přítomnost aktivní oblasti. Aktivní oblast je vyvolána velmi proměnným magnetickým polem. Při velké aktivitě pole dojde k prudkému vzplanutí (několikanásobné zjasnění) flokulového pole. Dojde k chromosférické erupci⁶.

Erupce lze pozorovat vizuálně v čáře H-alfa, pro fotografické účely je vhodnější snímat erupce v čarách vápníku. Extrémně velké erupce lze spatřit i ve viditelném spektru¹. Při pozorování erupcí se určuje několik parametrů: doba erupce (minuty až hodiny), mohutnost (vzestupné číslování 1, 2, 3, 3+), plocha (miliontiny plochy disku) a četnost výskytu. Tyto parametry se mění v průběhu slunečního cyklu, narůstají se zvýšenou aktivitou Slunce.

Erupce na rozdíl od protuberancí nevykazují žádné změny polohy v atmosféře. Při erupci se jedná pouze o výron zářivé energie. Výron energie je doprovázen změnou struktury aktivní oblasti, v závislosti na síle erupce může dojít k vyvržení části hmoty nad flokulové

¹ Erupci ve viditelném světle pozoroval 1. 9. 1859 R. Ch. Carrington. Jasnost erupce se vyrovnala celému slunečnímu disku. V době pozorování probíhala na Slunci mohutná magnetická bouře.

pole. Hmota naakumuluje energii a pak ji uvolní jako eruptivní protuberanci. Pokud dojde k erupci na okraji disku, pozorujeme ji jako polokruhovou vypuklinu, která mění postupně jasnost, nikoliv tvar.

2.4.4. Protuberance

Protuberance jsou oproti koróně chladná a hustá oblaka plazmatu. Hmota je udržována magnetickými indukčními čarami, které mohou zasahovat až do koróny.

Současná sluneční fyzika neklasifikuje protuberance do skupin, ale vytváří pro protuberance matematické modely s různými počátečními parametry. Klasifikace protuberancí je dána historickým vývojem pozorování Slunce a minimálními znalostmi sluneční fyziky. Pro odbornou veřejnost a amatérské pozorovatele Slunce má klasifikace protuberancí pořad význam. Protuberance dělíme podle fyzikálních vlastností a vzniku na dva základní druhy: na protuberance klidné a protuberance eruptivní. Existuje několik podrobnějších klasifikací protuberancí. Vybral jsem klasifikaci protuberancí z publikace *Slunce a jeho vliv na Zemi*.⁵

I. Klidné protuberance

a) Normální klidné protuberance

Hmota normální klidné protuberance vyvěrá z chromosféry, plazma je unášeno podél indukčních čar, poté vniká zpět do chromosféry. Protuberance vytváří oblouk nad sluneční povrchem, který zůstává tvarově stálý dlouhou dobu. Normální klidná protuberance může dosáhnout délky 200 000 km, tloušťky 10 000 km a výšky 50 000 km až 100 000 km nad povrchem Slunce. Část normálních klidných protuberancí vzniká z eruptivních protuberancí.

b) Koronální protuberance

Koronální protuberance bývají pozorovány pouze jako pohyby směrem k povrchu Slunce. Vznikají ve velkých výškách v koróně nahuštěním a chladnutím hmoty vlivem magnetického pole. Oblaka pomalu klesají do chromosféry, při spojení s chromosférou může vzniknout oblouk.

II. Eruptivní protuberance

a) Aktivní protuberance

Aktivní protuberance jsou nejčastějším typem aktivních protuberancí, vyznačují se vláknitou strukturou s četnými uzlinami. Směr pohybu hmoty protuberance je jednotný.

Vyvržená hmota proudí podle indukčních čar zpět k povrchu do tzv. středu přitažlivosti. Pokud koronální protuberance začne proudit do středu přitažlivosti, vzniká tzv. koronální aktivní protuberance. Někdy dochází k proudění hmoty oběma směry, vznikají dva středy přitažlivosti, taková protuberance se označuje jako interaktivní.

b) Eruptivní protuberance

U eruptivních protuberancí převažuje pohyb hmoty směrem ke slunečnímu povrchu. Při klesání protuberance dochází k zjasňování. Vznik protuberance je hůře pozorovatelný, protože vyvržená hmota je teplejší a má vyšší rychlost, snadno unikne.

Podskupinu eruptivních erupcí tvoří tzv. eruptivní oblouk. Může vzniknout z velké aktivní protuberance. Vyvržená hmota dosáhne velké výšky, začne se rozpínat, postupně slábne a nakonec zmizí.

c) Protuberance v aktivních oblastech

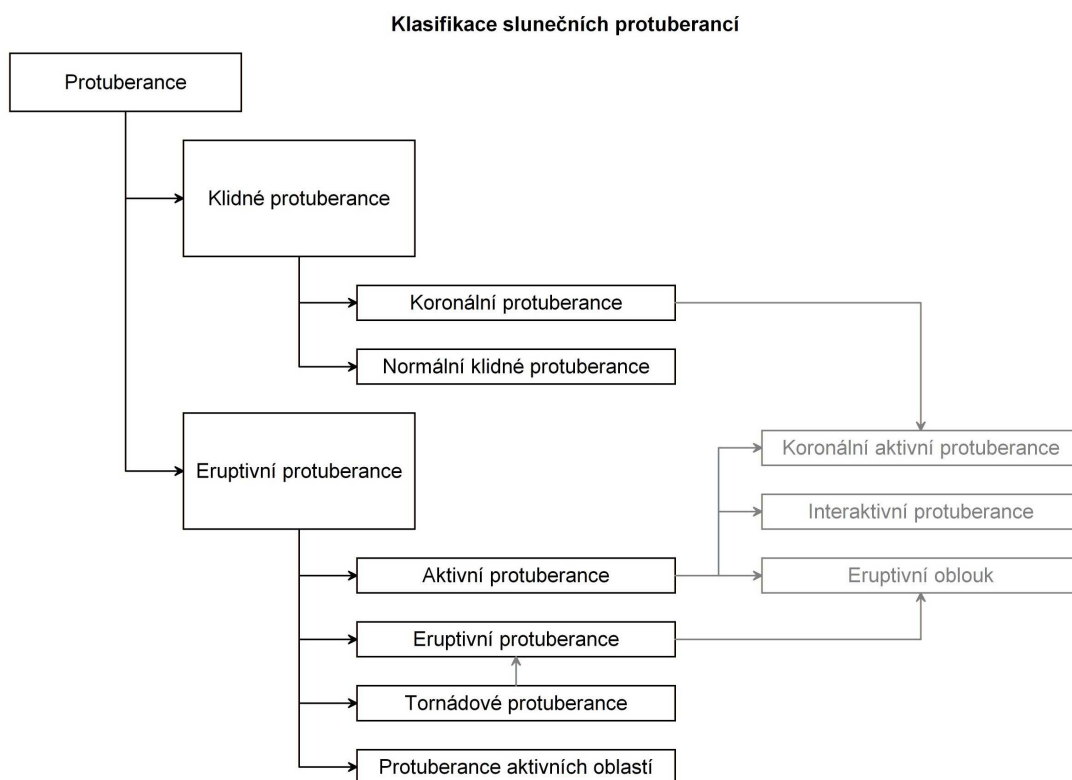
Protuberance vznikají v aktivních oblastech a blízkém okolí, rychle mění svůj tvar. Nejčastější je paprskovitý tvar, z aktivní oblasti je po skoro přímkových drahách vyvrhována hmota, která se vrací zpět. Doprovázejí chromosférické erupce, při kterých je materiál vyvrhován velkými rychlostmi.

d) Tornádové protuberance

Tornádové protuberance se vyznačují pravotočivými vírovými rotačními pohyby hmoty. Rychlost rotace je přibližně $50 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. Pokud je rychlost konstantní, životnost protuberance dosáhne několika dní. Při nižší rychlosti dochází k rozervání protuberance. Při vyšší rychlosti se z tornádové protuberance vyvine protuberance eruptivní.

Tabulka 3: Znaky a porovnání klidné a eruptivní protuberance ⁵

	Klidná protuberance	Eruptivní protuberance
životnost	dny až měsíce, nemění tvar ani polohu	několik hodin, rychlý vznik a vývoj
výskyt	mimo aktivní oblasti	aktivní oblasti a okolí
rychlost	vnitřní struktura řádově $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$	celá protuberance 30 až $200 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$
pozorování pohybu	pouze pohyb k povrchu Slunce	pohyb pozorován od povrchu i k povrchu Slunce
pozorování vzniku	velmi výjimečně	zřetelné vyvěrání protuberance z nízkých vrstev chromosféry
dosažená výška		až 1 000 000 km



Obr. 2: Klasifikace slunečních protuberancí³

2.5. Koróna

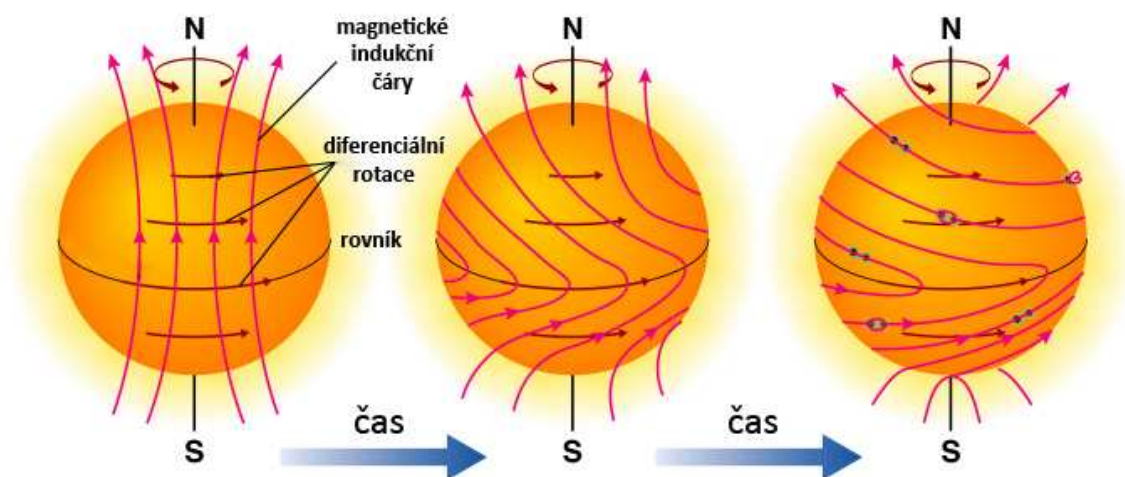
Nejvyšší část sluneční atmosféry plynule přechází do meziplanetární hmoty. Koróna se vyznačuje vysokou teplotou (milióny kelvinů) a velmi nízkou hustotou. Světlo z koróny je přesvětleno fotosférou, pro pozorování potřebujeme disk Slunce odstínit. K nejjednoduššímu odstínění dochází během úplného zatmění Slunce, kdy Měsíc zakryje svítící disk. Princip úplného zatmění Slunce je použit v koronografu. Tímto přístrojem můžeme korónu pozorovat bez závislosti na slunečních zatměních. Vlivem vysoké teploty dochází k vyzařování z koróny v měkké rentgenové a daleké ultrafialové oblasti spektra. Pro tyto oblasti spektra je zemská atmosféra málo propustná nebo zcela nepropustná. Pozorování se musí provádět na vysokohorských observatořích nebo pomocí přístrojů umístěných na oběžné dráze okolo Země.

2.6. Magnetické pole

Aktivita Slunce je způsobena magnetickým polem Slunce. Magnetické pole pravděpodobně vzniká vnitřními pohyby hmoty ve Slunci (sluneční dynamo). V zóně konvekce neustále proudí plazma, vznikají elektrické proudy, které jsou provázeny magnetickým polem.

2.6.1. Haleův cyklus

Magnetické pole Slunce se mění v cyklu 22 let. Ze začátku cyklu směřují indukční čáry magnetického pole od pólu k pólu, jsou rovnoběžné s poledníky (poloidální pole). Vlivem diferenciální rotaceⁱ a zamrznutí siločar v plazmatuⁱⁱ dochází k navíjení indukčních čar magnetického pole ve směru rovníku (toroidální pole)^o.



Obr. 3: Navíjení indukčních čar magnetického pole⁷

ⁱ Diferenciální rotací se vyznačují tekutá tělesa. Různé části tělesa rotují jinou úhlovou rychlostí. Jádro Slunce rotuje jako tuhé těleso, zóna konvekce podléhá diferenciální rotaci. Doba rotace rovníku Slunce je 26,8 dne, doba rotace rovnoběžky na 70° sluneční šířky je 31,8 dne.

ⁱⁱ Pojem „zamrzlé“ magnetické siločáry v plazmatu vyjadřuje zachování magnetického toku; magnetické indukční čáry se pohybují s plazmatem a naopak pohybující plazma s sebou unáší magnetické indukční čáry a deformuje je.

Navíjení probíhá čím dál tím hustěji a magnetické pole se zesiluje. Dochází k vystupování svazků indukčních magnetických čar nad povrch Slunce. Na povrchu vzniká dvojice skvrn s opačnou polaritou. Po oslabení původního pole dochází k přepólování magnetického pole. Vzniká pole nové s opačnou polaritou. Proces přepólováním magnetických pólů trvá přibližně 11 let, pro navrácení magnetického pole do původního stavu musí proběhnout opětovné přepólování. Jedenáctiletý cyklus přepólování magnetického pole má přímý důsledek v jedenáctiletém cyklu sluneční aktivity.

2.7. Sluneční cyklus

Aktivita Slunce je ovlivněna magnetickým polem, které periodicky mění polaritu. Nejkratší sluneční cyklus je tzv. jedenáctiletý cyklus. Perioda 11,2 let je doba, která uplyne od minima aktivity k dalšímu minimu. Cykly se vyznačují obdobími minima a maxima. V době minima se magnetické póly nacházejí poblíž rotačních pólů Slunce, aktivita Slunce je nízká. Postupným navíjením magnetických indukčních čar se magnetické póly přesouvají směrem k rovníku a aktivita Slunce roste, nastává maximum sluneční aktivity. Kromě jedenáctiletého cyklu existují cykly 22letý (navrácení magnetického pole do původního stavu), 80letý, 200letý, a i 800letý. O existenci cyklů s delší periodou (200letý a více) se pouze domníváme, protože neexistují dostatečně dlouhé pozorovací řady.

Hlavním pozorovatelným projevem slunečního cyklu je výskyt slunečních skvrn. Průběh cyklu určuje Wolfovo číslo, heliografická šířka skvrn a jejich polarita. Wolfovo číslo je index určující počet skvrn během cyklu, roste směrem k maximu. Heliografická šířka skvrn se posouvá od výšek 40° – 50° (začátek cyklu) postupně k rovníku (konec cyklu). Každý nový cyklus začíná výskytem skupiny slunečních skvrn, které mají opačnou polaritu než skupiny skvrn z předešlého cyklu.

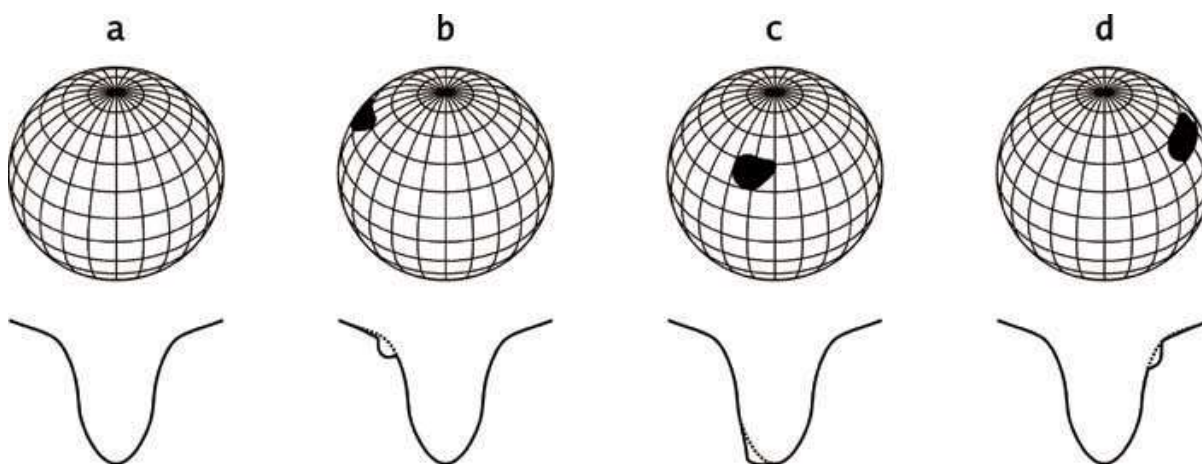
11letá délka slunečního cyklu je průměrná hodnota, doba může být kratší nebo delší o několik měsíců až let. Cykly se mohou i částečně překrývat, důkazem může být i současný 24. jedenáctiletý sluneční cyklus. Začal 4. ledna 2008, kdy na 30° severní heliografické šířky byla zpozorovaná skvrna ⁸. První skvrna z nového cyklu byla na Slunci pozorovaná již 31. července 2006, po třech hodinách zanikla. Navíc se vyskytla pro začátek cyklu v neobvyklé heliografické šířce, konkrétně na 13° jižní heliografické šířky.

2.8. Hvězdná aktivita ⁹

Sluneční aktivita je způsobena magnetickým polem, které vzniká v konvektivní zóně. U hvězd podobných Slunci (spektrální třída G) a u hvězd s mohutnou konvektivní zónou (spektrální typ K a M) se předpokládá možnost výskytu hvězdné aktivity. Přímá pozorování disků hvězd nelze pro malé úhlové rozměry uskutečnit. Využívá se proto poznatků z pozorování Slunce. Ze spektroskopických pozorování známe spektra jednotlivých projevů sluneční aktivity. Magnetická pole v chromosféře se projevují emisí v čarách H a K ionizovaného vápníku. Aktivní oblasti a erupce se projevují emisí v čarách vodíku. Koróna je pozorovatelná v rentgenovém a gama záření.

První pozorování provedená v šedesátých letech minulého století prokázala přítomnost magnetického pole u hvězd spektrálního typu F až M, u některých hvězd i periodickou změnu intenzity magnetického pole.

V roce 1982 byla provedena pro analýzu světla metoda dopplerovské tomografie. Tato metoda využívá změnu vlnové délky spektrální čáry vlivem změny směru a rychlosti pozorovaného objektu vůči pozorovateli. Pokud se na povrchu hvězdy vyskytne skvrna, na spektrální čáře se objeví deformace, ze které lze vypočítat a určit tvar, polohu, teplotu a velikost skvrny.



Obr. 4 Dopplerovská tomografie ⁹

Základní principy dopplerovské tomografie:

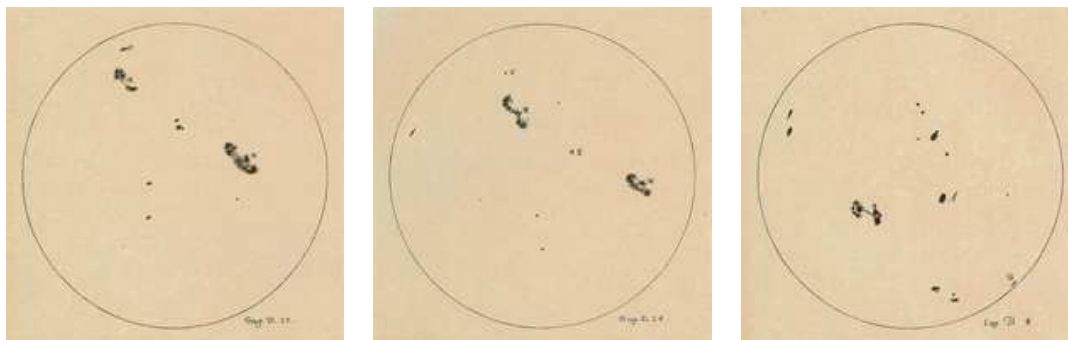
- a) spektrální čára rozšířená rotací hvězdy;
- b) na východním okraji se objevuje ve fotosféře hvězdná skvrna,
- c) skvrna v profilu čáry způsobuje deformaci;
- d) s pohybem skvrny po viditelné polokouli, způsobeným rotací hvězdy, se posunuje i deformace v profilu spektrální čáry.

Dopplerovskou tomografií byly detekovány např. hvězdné skvrny hvězdy V711 Tau, diferenciální rotace hvězdy AB Dor, velmi silné erupce hvězdy MT Tau a koróna u dvojhvězdy YY Gem. U některých hvězd byly pozorovány i hvězdné cykly o délce 2,6 let.

3. Historie a vývoj pozorování Slunce¹⁰

První zmínky o pozorování slunečních skvrn pocházejí z roku 800 př. n. l. z Číny. Od starověku až po období křesťanství bylo jakékoliv zmínění o skvrnách považováno za projev kacírství. Slunce bylo božsky čisté, nemohly se na něm vyskytovat žádné skvrny.

V Praze roku 1607 Johannes Kepler pozoroval sluneční skvrny v domněnku, že se jedná o přechod Merkuru přes sluneční disk. Objevem dalekohledu byly sluneční skvrny potvrzeny. Prvními pozorovateli pomocí dalekohledu byli otec a syn Fabriciové, Galileo Galilei, Thomas Hariot nebo Christopher Scheiner. Poslední jmenovaný zakresloval polohy skvrn a objevil diferenciální rotaci Slunce.



Obr. 5: Kresby slunečních skvrn¹¹

Alexander Wilson roku 1769 pozoroval velkou skvrnu na okraji slunečního disku, skvrna projevovala větší zkreslení, než jaké by měla jako plošný útvar na povrchu Slunce. Zjistil, že sluneční skvrny jsou prohlubně na slunečním povrchu. Zkreslení skvrny u okraje disku se nazývá Wilsonův efekt.

Po řadě pozorování odhalil S. H. Schwabe roku 1843 cyklické opakování výskytu skvrn. Na jeho práci navázal R. Wolf s odhalením 11letého slunečního cyklu. Zavedl pojem relativního čísla skvrn. Výskyt skvrn v různých heliografických výškách v závislosti na čase znázornil v motýlkovém diagramu roku 1861 G. Spörer.

Diferenciální rotaci Slunce podrobněji zkoumal R. C. Carrington. Pro přesné odečítání heliografických souřadnic byl zaveden nultý poledník na Slunci. Nultý poledník se počítá od okamžiku průchodu středem kotouče. Tento okamžik byl určen pro světové poledne 1. ledna 1854. Doba rotace nultého poledníku je rovna synodické době rotace Slunce 27,3 dne. Toto časové období se nazývá Carringtonova otočka. Její hodnoty lze najít ve Hvězdářské ročence.

Při experimentech se spektroskopem objevili Gustav Kirchhoff a Robert Bunsen roku 1859 přítomnost absorpčních čar hořčíku, chrómu, křemíku, vápníku a železa ve slunečním spektru. Zjistili, že čáry jsou vyzařovány prvky v plynném stavu. Železo se nachází ve Slunci v plynném stavu, proto musí být Slunce velmi horké.

Roku 1868 nezávisle na sobě sestrojili Norman Lockyer a Pierre Janssen spektroskop na pozorování chromosféry a protuberancí. Do té doby se pozorování chromosféry a protuberancí omezovala pouze na zatmění Slunce.

George Ellery Hale změřil pomocí Zeemanova jevu hodnoty magnetického indukčního pole ve skvrnách. Pozorování byla provedena roku 1907 na nově postavené sluneční věži na observatoři Mt. Wilson.

Pozorování nízké koróny mimo úplné zatmění umožnil Bernard Lyot roku 1931 zkonstruováním koronografu. V konstrukci koronografu je použita clonka simulující zaclonění Měsícem při úplném zatmění Slunce.

Vesmírný program otevřel pozorování a výzkumu Slunce nové možnosti. Z oběžné dráhy Země lze pozorovat Slunce v ultrafialovém, rentgenovém a gama oboru spektra, nedochází k pohlcování záření zemskou atmosférou. Obraz není ovlivněn chvěním atmosféry (seeingem), proto je možné na Slunci rozlišit mnohem větší detaily než z pozemských dalekohledů.

První snímky Slunce z vesmíru poskytly družice OSO (Orbiting Solar Observatory) vypouštěné v letech 1962 až 1975. Přístroje na kosmické stanici Skylab, která byla vypuštěna NASA v roce 1973, fotografovaly Slunce v rentgenovém oboru spektra. Sledováním Slunce se postupně zabývalo několik družic.

2. prosince 1995 byla vypuštěna sonda SOHO. Sonda je umístěna v Lagrangeově bodě L1 soustavy Slunce–Země, tato poloha umožňuje neustálé pozorování Slunce v různých oborech spektra. Sondu SOHO později doplnila dvojice identických družic STEREO poskytujících prostorový obraz Slunce. Nepřetržité snímkování a nové komplexní poznatky o Slunci přináší sonda SDO vypuštěná v roce 2010.

4. Pozorování fotosféry

Pro dlouhodobá pozorování a následné zpracování výsledků má význam dlouhá pozorovací řada a stejné pozorovací postupy. Je důležité pozorovat jednotnou metodou, pozorovat stejným dalekohledem a zakreslovat na protokol stejných parametrů.

Fotosféru je možné pozorovat pouhým okem, přímo dalekohledem, nebo projekcí přes dalekohled. Mezi pozorovatelné fotosférické útvary patří póry, sluneční skvrny, fakulová pole, granulace, okrajové ztemnění a ostrý okraj slunečního disku. Sluneční skvrny jsou pozorovány 400 let, za tuto dobu byl vypracován pozorovací a zakreslovací program.

Popis a struktura pozorování byla převzata z příručky pro vizuální pozorování Slunce od Michala Švandy.¹²

Nikdy se nedívejte nechráněným dalekohledem přímo na sluneční disk. Při sebekratším pohledu do dalekohledu hrozí trvalé poškození nebo ztráta zraku!



4.1. Pozorování prostým okem

Pozorování Slunce prostým okem je nejjednodušší možnost. Slunce je možné bezpečně pozorovat, pokud je světlo ze Slunce zeslabeno. Taková příležitost nastává při východu a západu Slunce, při přechodu oblačnosti před Sluncem. Při ostatním pozorování je nejbezpečnější použít speciální brýle určené pro pozorování zatmění Slunce nebo svářečský filtr č. 13 a 14.

Nevýhoda pozorování Slunce pouhým okem spočívá v nízkém úhlovém rozlišení lidského oka. Lze pozorovat pouze velké skvrny s průměrem větším než 20 000 km (6 % z celkového počtu skvrn). Pozorování Slunce prostým okem lze navazovat na dlouhou pozorovací řadu.

4.1.1. Pozorovací protokol

Pozorovací protokol pro pozorování Slunce tvoří:

- a) náčrtek Slunce o průměru 3 až 5 cm
- b) přibližná poloha a velikost skvrn
- c) místo a souřadnice pozorovacího místa
- d) datum a čas (UT)
- e) filtr, pomocí kterého se pozorovalo
- f) pozorovací podmínky
- g) intenzita viditelnosti jednotlivých skvrn

Tabulka 4: Intenzita viditelnosti skvrn ¹²

1	skvrna na hranici viditelnosti pouhým okem
2	skvrna vidět bez potíží
3	skvrna je viditelná zřetelně

PROTOKOL O POZOROVÁNÍ SLUNCE POUHÝM OKEM

Pozorovatel:

Adresa stanice:

Pozorovací místo:

Datum:

Čas (SEČ):

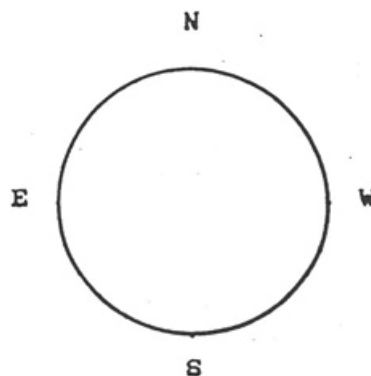
Filtr:

Intenzita:

Pozorovací podmínky:

Slunce bylo pozorováno i dalekohledem: DZ - DK - NE

Poznámky:



Obr. 6: Protokol pro pozorování Slunce pouhým okem ¹³

4.2. Pozorování pomocí dalekohledu

Při pozorování dalekohledem jsou vidět na Slunci větší detaily než při pozorování prostým okem. Lze pozorovat Slunce přímo (dalekohled s filtrem), nebo projekcí obrazu na stínítko.

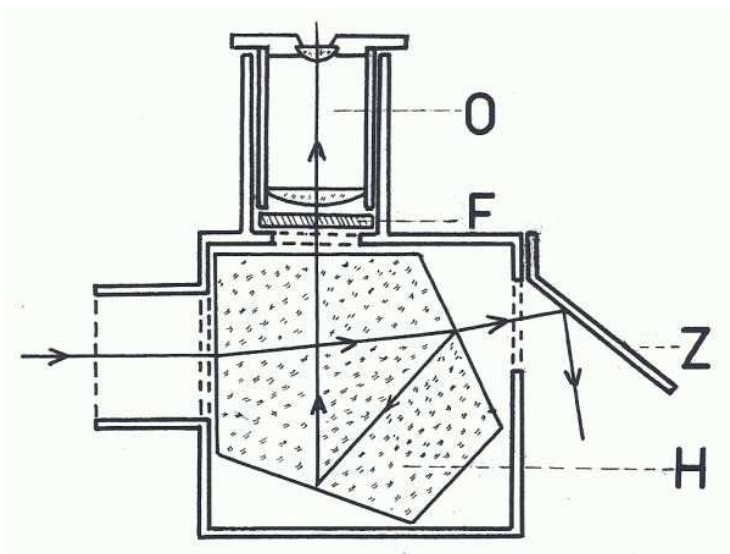
4.2.1. Přímé pozorování

Přímé pozorování se používá pro určení počtu skvrn a skupin, fakulových polí. Je možné použít velká zvětšení pro nalezení detailů. Za dobrých pozorovacích podmínek je viditelná granulace. Pro zakreslování poloh skvrn na disku je ale tato metoda nevhodná.

Pro přímé pozorování musíme dalekohled vybavit filtrem, který zeslabí svit Slunce na bezpečnou úroveň. Pro zeslabení jasu lze použít Herschelův hranol nebo sluneční fólii.

Herschelův hranol

Herschelův hranol¹⁴ se používá pro refraktory. Hlavní částí hranolu je speciální hranol (H), který přes pomocné zrcadlo (Z) odkloní 90 % světla mimo hranol. Prostřednictvím optického materiálu hranolu se pohltí 9,8 %, k dalšímu pohlcování dochází při odrazech na stěnách hranolu. Do okuláru (O) je propuštěno 0,16 % původního světla. Pro vizuální pozorování je to stále příliš velká hodnota, pro zeslabení světla se používá dvojice polarizačních filtrů nebo sada šedých filtrů (F). Náročnými požadavky na konstrukci patří Herschelův hranol mezi dražší pomůcky k pozorování Slunce. Vysokou cenu vynahrazuje kvalitou obrazu pro vizuální i fotografické pozorování.



Obr. 7: Schéma stavby Herschelova hranolu¹⁴

4.2.2. Sluneční fólie

Sluneční fólie je nejlevnější pomůcka pro bezpečné pozorování fotosféry Slunce. Dá se použít pro všechny konstrukce dalekohledů. Vyrobená objímka s fólií se nasazuje před objektiv dalekohledu. Pro vizuální pozorování se používá speciální hliníková fólie o tloušťce 0,012 mm, která redukuje světlo na 0,001 %. Pro fotografické účely se používá fólie s vyšší propustností.

4.2.3. Pozorování projekcí

Pozorování projekcí umožňuje nejsnazší a nejbezpečnější možnost, jak zakreslovat fotosféru. Slunce je dalekohledem promítáno na stínítko. Na stínítku vznikne obraz, ze kterého lze přesně odečíst polohu a zjistit tvar jednotlivých útvarů ve fotosféře.

*Tabulka 5: Výhody a nevýhody projekční metody*¹²

Výhody	Relativní bezpečnost.
	Vhodné např. pro větší skupiny, kdy lze přesně a názorně popisovat a ukazovat jednotlivé útvary.
	Lze pohodlně zakreslovat polohy skvrn.
Nevýhody	Obecně se doporučuje pouze pro čočkové dalekohledy, tj. refraktory, naprosto nevhodná je pro katadioptrické systémy díky kumulaci tepla v systému.
	Je nutný speciální projekční okulár (u většiny jiných konstrukcí hrozí jejich zničení).
	Je třeba zhotovit nebo zakoupit vhodnou projekční plochu (stínítko).
	Nelze pozorovat všechny útvary, je vhodné většinou pouze na sluneční skvrny.
	Pro delší pozorování či zákresy je nezbytný hodinový pohon dalekohledu.

4.3. Zakreslování fotosféry projekční metodou

Standardní průměr protokolu pro zakreslování projekční metodou je 250 mm, případně lze použít protokol o průměru 125 mm. Pro projekční metodu je nejvhodnější čočkový dalekohled o průměru nejméně 50 mm a ohniskové vzdálenosti přibližně 800 mm, obraz bude dostatečně velký. Je vhodné použít paralaktickou montáž (správná orientace kresby) vybavenou alespoň hodinovým strojkem, který nám umožní automaticky sledovat a eliminovat pohyb Slunce po obloze.

4.3.1. Postup zakreslení

- a) Dalekohled se nastaví tak, aby promítal obraz na stínítko s protokolem.
- b) Vypne se hodinový pohon a zorientuje se formulář s pohybujícím obrazem Slunce. Protokol musí být natočen tak, aby se obraz posouval směrem k západu (W).
- c) Dále se zorientuje obraz Slunce směrem východ–západ (E–W). Pomocí jemných pohybů se navede na spojnici E–W některou malou skvrnu a opět se vypne pohon montáže. Při správné poloze protokolu má skvrna putovat po této spojnici. Protokol podle potřeby lze pootočit.
- d) Je-li obraz Slunce zorientován, zapne se pohon a nastaví se obraz Slunce na střed pozorovacího protokolu.
- e) Samotný zákres útvarů fotosféry by neměl trvat než déle 10 minut, aby se neprojevila rotace Slunce. Zakreslení se provádí ostrou tužkou tvrdosti HB. Umbra skvrny se zakreslí černou barvou a penumbru obrysem. Fakulová pole se zakreslují žlutou nebo červenou pastelkou.
- f) Do protokolu je nutné uvést střední čas pozorování v UT, pozorovací podmínky, kvalitu obrazu a kvalitu pozorování. Pro popis pozorovacích podmínek, kvality obrazu a kvality pozorování se používá pětiškálová stupnice.

Tabulka 6: Stupnice pro určení podmínek a kvality pozorování ¹⁵

Pozorovací podmínky Oc.	
1	Jasno, nepatrný neklid vzduchu.
2	Obloha se slabým zákalem.
3	Znatelný neklid vzduchu.
4	Silný neklid vzduchu.
5	Velmi silný neklid vzduchu, silná oblačnost.

Kvalita obrazu Obr.	
1	Patrný jen největší skvrny, granulace neviditelná.
2	Patrný i menší skvrny.
3	Viditelné drobné skvrny, pozorovatelná granulace.
4	Dobře pozorovatelná granulace i póry.
5	Velmi dobře znatelné všechny detaily.

Kvalita pozorování Q	
1	Velmi nepříznivé podmínky.
2	Nepříznivé podmínky.
3	Průměrné podmínky.
4	Dobré podmínky.
5	Velmi dobré podmínky.

- g) Po zakreslení kresby na protokol následuje zpracování napozorovaných dat.

4.4. Vyplnění pozorovacího protokolu

Po provedení zákresu obrazu Slunce je na řadě vyplnění pozorovacího protokolu. Informace lze doplnit i zpětně, není potřeba aktuálního obrazu Slunce (datum, čas, kvalitu obrazu a pozorovacích podmínek vyplňujeme při pozorování).

- a) Souřadnice nebo místo pozorování
- b) Jméno a příjmení pozorovatele
- c) Číslo Carringtonovy otočky Slunce (Hvězdářská ročenka)
- d) Číslo pozorování (individuální číslování pozorovatele)

- e) L_0 heliografickou délku centrálního meridiánu v čase pozorování
- f) B_0 heliografickou šířku středu disku v pozorovacím čase
- g) P poziční úhel rotační osy Slunce

Hodnoty heliografické délky a šířky a velikost pozičního úhlu lze najít ve Hvězdářské ročence. Údaje jsou stanoveny pro půlnoc světového času, pro čas pozorování musíme hodnoty přepočítat (interpolovat) pomocí vztahu:

$$H = H_1 + \frac{t}{T}(H_2 - H_1),$$

kde H je hledaná hodnota, t čas pozorování, H_1 předchozí hodnota, H_2 následující hodnota, T časový rozdíl mezi H_1 a H_2 , v ročence je 24:00, v jiných zdrojích se může lišit.

Po vypočtení L_0 , B_0 , P se do protokolu zakreslí osa rotace a rovník Slunce. Rotační osa se zakresluje pomocí úhlové stupnice po obvodu protokolu a hodnoty pozičního úhlu P . Při kladné hodnotě P se vynáší úhel v matematicky záporném směru (ve směru hodinových ručiček), při záporné hodnotě je směr opačný. Osa rovníku Slunce prochází středem kruhu a je kolmá na osu rotace. Rovník Slunce se zakresluje podle šablon, podle hodnoty L_0 .

4.5. Wolfovo relativní číslo

Dalším krokem zpracování kresby je rozdělení skvrn do skupin. Skupiny skvrn se orámuje a očísloví (čísloví se skvrny podle narůstající heliografické délky). Do protokolu uvedeme:

- a) počet skupin skvrn g
- b) počet všech skvrn f
- c) Wolfovo relativní číslo R , které se vypočítá podle vztahu

$$R = 10g + f$$
- d) Počet fakulových polí F




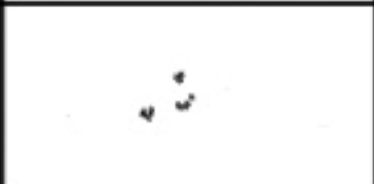

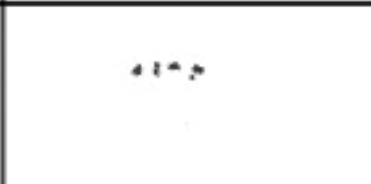
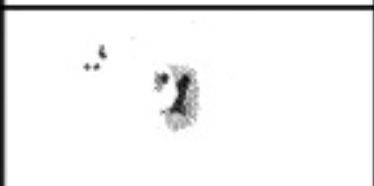


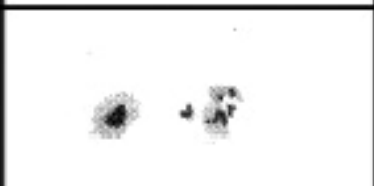
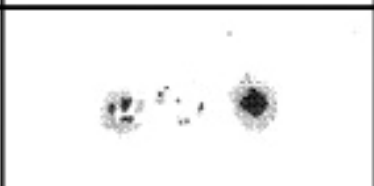
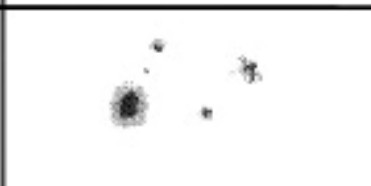
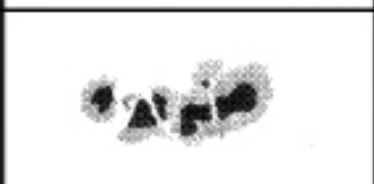



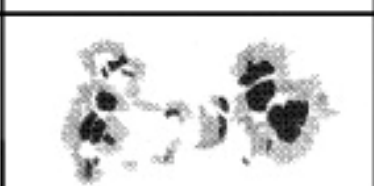



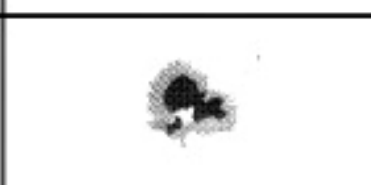
Uvádějí se i čísla g_c, f_c, R_c , které jsou platná pro centrální část kresby. Centrální část má poloviční průměr, než má celá kresba. Pokud se skupina skvrn nachází na centrálním kruhu, započítává se do čísla g_c . Do čísla f_c se započítávají pouze skvrny nacházející se v centrální části. Relativní centrální číslo R_c se vypočte podle vzorečku $R_c = 10g_c + f_c$.

4.6. Klasifikace slunečních skvrn

Skupiny skvrn se dále zpracovávají. Určuje se typ a počet skvrn. Pro určení typu skupiny existují dvě klasifikace: Curyšská a McIntoshova. Častěji se používá novější McIntoshova klasifikace.

Tabulka 7: McIntoshova klasifikace slunečních skvrn ¹²

A	Malá ojedinělá skvrna nebo unipolární skupina, žádná skvrna nemá penumbry; převážně krátká doba existence.
B	Bipolární skupina s menším počtem skvrn bez penumbry. Osa skupiny je většinou orientována ve směru E–W.
C	Bipolární skupina s nevelkým počtem skvrn s penumbrou na jednom konci (většinou vedoucí skvrna).
D	Bipolární protáhlá skupina s penumbry na obou koncích, skupina nepřesahuje 10° heliografické délky. Je zřetelně patrná vedoucí a chvostová skvrna s jednoduchou strukturou. Patří sem také skupiny podobné C a H, ale penumbra hlavní skvrny musí přesahovat 5° v délce.
E	Bipolární skupina s větším počtem skvrn, složité penumbry na obou koncích, možnost společné penumbry pro více umber; mezi hlavními skvrnami se vyskytuje mnoho skvrn, některé i s penumbrou; délka od 10° do 15° heliografické délky.
F	Složité bipolární skupina s mohutnými penumbry na obou koncích, doplněná komplexem nepravidelných skvrn s penumbry i bez nich; v délce přesahuje 15° heliografické délky.
H	Unipolární skupina s penumbrou; jestliže obsahuje další skvrny, nenacházejí se dále než 3° od penumbry hlavní skupiny.

A			
B			
C			
D			
E			
F			
H			

Obr. 8: McIntoshova klasifikace slunečních skvrn¹²

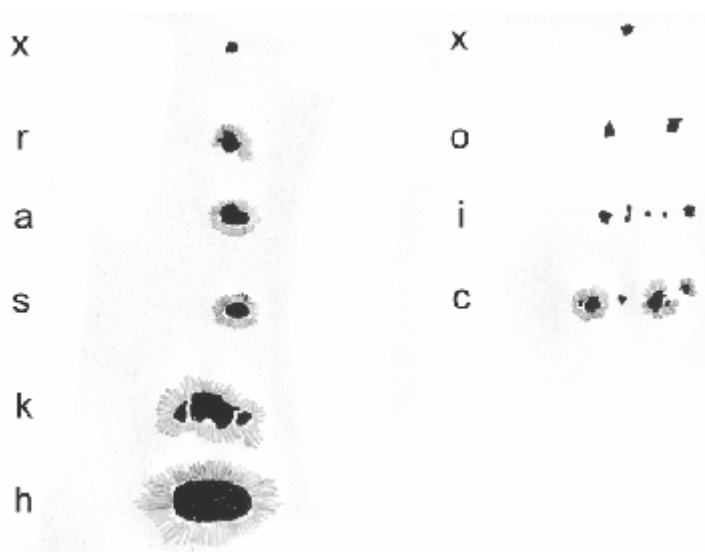
Tabulka 8: Určení největší skvrny ve skupině – tvar:¹²

x	Žádná penumbra, šířka polostínové oblasti musí přesahovat alespoň tři úhlové vteřiny, aby mohla být klasifikována jako penumbra.
r	Penumbra je nerozvinutá, na obrysu obvykle neúplná a nepravidelná.
a	Asymetrická rozvinutá penumbra, v některých částech nemusí mít jasné hranice, celková velikost skvrny nepřesahuje 2,5° v heliocentrických souřadnicích.
s	Symetrická penumbra vyskytující se všude kolem umbry, skvrna má celkovou velikost nepřesahující 2,5° v heliocentrických souřadnicích.
k	Totéž jako a, ale skvrna je větší než 2,5°.
h	Totéž jako s, ale skvrna je větší než 2,5°.

Tabulka 9: Určení rozložení skvrn ve skupině – konfigurace¹²

x	Samostatná skvrna.
o	Plošné rozložení skvrn, oblast mezi vedoucím a chvostovým koncem skupiny. Je bez skvrn, takže se skupina dá zřetelně a bez problémů rozdělit do dvou oblastí s opačnou magnetickou polaritou
i	Střední rozložení skvrn, mezi vedoucím a chvostovým koncem leží několik skvrn bez penumbry.
c	Kompaktní rozložení skvrn, mezi vedoucím a chvostovým koncem leží mnoho velkých i malých skvrn, ze kterých má alespoň jedna penumbry; extrémem této skupiny je oblast, ve které jsou všechny skvrny uloženy v jedné penumbrální oblasti.

Při klasifikaci by mohl pomoci následující obrázek:



Obr. 9: Klasifikace hlavní skvrny a rozložení skvrn ve skupině¹²

4.7. Heliografické souřadnice skvrn

Další hodnoty, které lze z přímého pozorování získat, jsou heliografické souřadnice skvrn. Souřadnice se počítají pro každou skvrnu zvlášť.

- Odměří se její poziční úhel Q měřený od severního konce osy rotace přes východ v intervalu $\langle 0^\circ, 360^\circ \rangle$ a vzdálenost těžiště skvrny od centra disku vz (v milimetrech) (jak odečíst tyto údaje lze pochopit z obrázku zákresu).
- Vypočítá se veličina ρ danou vztahem:

$$\rho = \arcsin \frac{vz}{R},$$

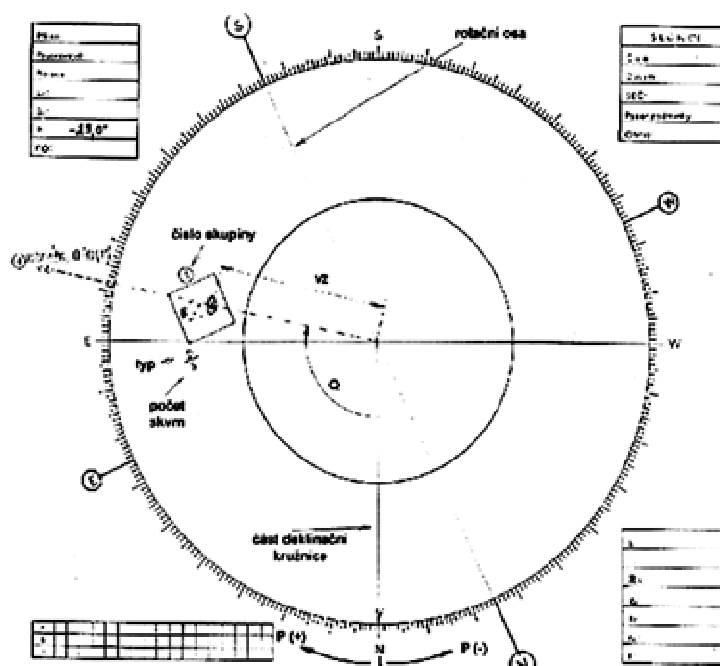
kde R je poloměr zákresu v milimetrech.

- Vypočítá se heliografická šířka b a heliografická délka l skvrny podle vztahů:

$$b = \arcsin(\sin B_0 \cos \rho + \cos B_0 \sin \rho \cos(P - Q)),$$

$$l = \left(\arcsin \frac{\sin \rho \sin(P - Q)}{\cos b} \right) + L_0.$$

- Získaná hodnota se vynese do tabulky v protokolu (není povinné).



Obr. 10: Vyplněný protokol o průměru 250 mm ¹²

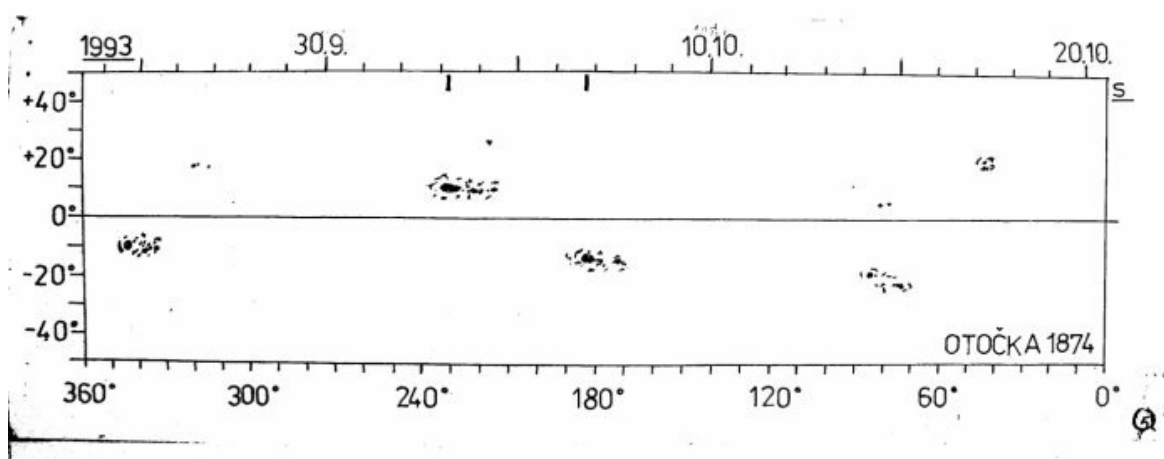
4.8. Synoptická mapa

Heliografické souřadnice skvrn můžeme zakreslit do synoptické mapy. Získáme přehled o rozložení a četnosti slunečních skvrn a fakulových polí na slunečním disku. Synoptickou mapu můžeme vytvořit pro období několika dní, po dobu jedné otočky nebo i pro více otoček. Záleží na délce pozorovací řady a zvoleném měřítku.

Zakreslujeme nejlépe na milimetrový papír o formátu A3. Na svislou osu vynášíme heliografickou šířku skvrn (skvrny se vyskytují v tzv. královském pásu – -40° až $+40^\circ$ heliografické šířky). Na vodorovnou osu vynášíme heliografickou délku skvrn.

Pokud byla zakreslována skvrna po více dní, vybere se kresba, kde je skvrna:

- nejblíže k centrálnímu poledníku, tvar skvrny je pro pozorovatele nejméně zkreslen a odečtení polohy skvrny je zatíženo nejmenší chybou
- největší nebo skupina skvrn má nejrozvinutější strukturu



Obr. 11: Synoptická mapa¹⁶

4.9. Motýlkový diagram

Motýlkový diagram znázorňuje výskyt slunečních skvrn v závislosti na heliografické šířce. Každá skvrna je zobrazena v diagramu jako jeden bod. Diferenciální rotace Slunce způsobuje odlišnou dobu rotace skvrn s různou heliografickou šířkou. Výsledný diagram ukazuje průběh slunečního cyklu. Lze rozlišit skvrny starého a nového cyklu, pokud se na Slunci vyskytují současně.²⁰

5. Pozorování chromosféry

Chromosféra je přesvícena fotosférou, proto je nutné při jejím pozorování světlo z fotosféry odstínit. K odstínění fotosféry dochází při úplném zatmění Slunce. Měsíc postupně zcela zakryje disk Slunce. Po obvodu lze pozorovat červenou chromosféru a protuberance. Úplné zatmění Slunce probíhá několik málo minut a je omezeno úzkým pásem totality. Chromosféra na slunečním disku nebyla pozorovatelná vůbec.

Zvrat přinesl až objev spektroskopu pro pozorování chromosféry a protuberancí roku 1868. Tento přístroj umožňoval pozorování chromosféry mimo dobu zatmění.

Chromosféra je při porovnání s fotosférou mnohem dynamičtější. Lze pozorovat více jevů: spikule, flokulová pole, chromosférické erupce a protuberance (filamenty). Pojmy protuberance a filament označují stejný fyzikální jev, který je pozorovatelný v různé poloze vůči slunečnímu disku. Za protuberanci se označuje oblak hmoty, který je pozorován na okraji disku. Oblak hmoty má vyšší teplotu než tmavé pozadí a září červenou barvou. Pokud je oblak hmoty pozorovatelný nad slunečním diskem, pak se jeví jako tmavý. Tento útvar označujeme jako filament. Jedná se o chladnější oblak, který se promítá nad teplejším povrchem.

5.1. Koronograf

Koronograf zkonstruoval roku 1930 francouzský astronom B. Lyot. Slouží k pozorování nízké koróny Slunce. Pomocí něj lze pozorovat chromosférické jevy na okraji disku – spikule a protuberance. Konstrukce koronografu uměle simuluje úplné zatmění Slunce. Clona před ohniskem dalekohledu zakrývá sluneční disk, energetický filtr (skládá se červeného a infračerveného filtru) před objektivem odstraňuje 90 % světelného a tepelného záření ze Slunce. Za clonou je umístěn H-alfa filtr, který redukuje zbývající světelné záření. Clona má přesně dané rozměry, musí se v průběhu roku vyměňovat v závislosti na vzdálenosti Země–Slunce. Clona umístěná před ohniskem je vystavena teplotám okolo 1 200 K, proto musí být vyrobena z materiálů o nízké teplotní roztažnosti. Montáž dalekohledu musí zaručovat přesně udržení clonky před slunečním diskem.

Každý koronograf je konstruován zvlášť podle parametrů daného dalekohledu. Náročnost provedení se promítá ve vysoké ceně koronografu. Proto tímto přístrojem disponují hlavně hvězdárny. Vysoké náklady na cenu vynahradí velmi kvalitní obraz. Lze pořizovat

detailní snímky chromosféry na okraji disku. Kvalita obrazu je ovlivněna pouze chvěním atmosféry, proto se koronografy používají na vysokohorských observatořích, kde je seeing menší než v níže položených oblastech.

5.2. Chromosférický dalekohled s H-alfa filtrem

Chromosférický dalekohled částí navazuje na konstrukci koronografu. Před objektiv je umístěn opět energetický filtr, který do dalekohledu propouští pouze červenou oblast ze slunečního spektra. Před okulárem je umístěn úzkopásmový filtr, který má propustnost v okolí čáry H-alfa, tj. 656,3 nm. Technologie výroby filtrů v přesně vymezené propustnosti je náročná. Dalekohledy s H-alfa filtrem patřily pro amatérské astronomy mezi cenově nedostupné. V roce 2005 se na trhu objevily H-alfa dalekohledy s průměrem okolo 40 mm za přijatelnou cenou. Oblast pozorování chromosféry se otevřela širší skupině astronomů-amatérů. H-alfa dalekohledem lze pozorovat nejen děje na okraji disku (spikule, protuberance), ale i děje na disku samotném (filamenty, erupce, flokulová pole, skvrny).

5.3. Pozorovací program sledování aktivity chromosféry

Chromosféru lze pozorovat pouze přímou metodou pomocí dalekohledu s filtrem. Metoda projekce obrazu na stínítko nelze použít, světlo procházející filtrem není dostatečně intenzivní na vytvoření obrazu. Dostupnost dalekohledů s H-alfa filtrem rozšířila základnu pozorovatelů. Bylo nutné vytvořit pozorovací program, který by sjednotil postup pozorování, aby byly výsledky objektivní.

Při hledání materiálů k pozorování chromosféry jsem zjistil, že systematický návod na pozorování chromosféry v českém jazyce chybí. Na popis postupu pozorování chromosféry jsem narazil u Sluneční sekce Belgické astronomické asociace.¹⁷

5.4. Postup zakreslení

Postup pozorování chromosféry vychází z postupu pro pozorování fotosféry.

- a) Centrování obrazu Slunce v okuláru.
- b) Vypnutím pohonu dalekohledu a pohybem obrazu v okuláru určení směru denního pohybu Slunce z východu směrem k západu.
- c) Určení kvality obrazu Q

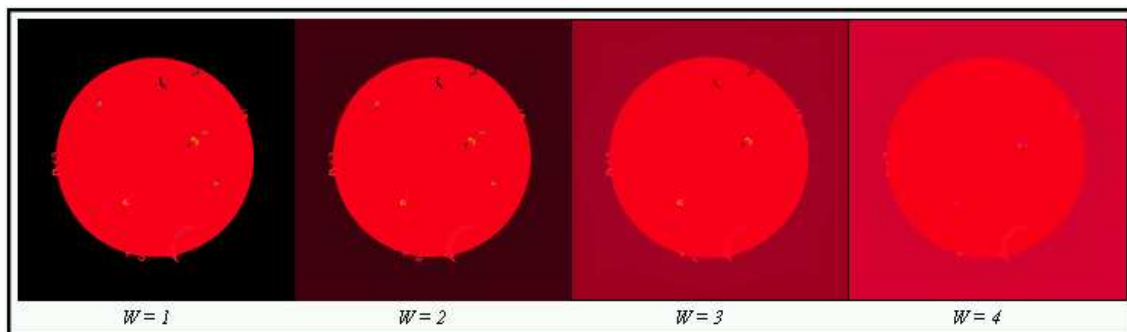
Tabulka 10: Stupnice kvality obrazu¹⁷

Stupnice kvality obrazu Q	
1	Pozorovatelné jsou jen největší a nejtmavší filamenty, protuberance se vlní, struktura slunečního disku je neviditelná.
2	Chromosférická struktura splývá s pozadím, viditelné jsou pouze velké filamenty, protuberance se výrazně chvějí.
3	Chromosférická struktura je viditelná po celém disku, spikule pozorujeme bez menších detailů, flokulová pole mají zřetelný tvar, okraj disku se chvěje
4	Chromosférická struktura a detaily ve filamentech jsou viditelné po celém slunečním disku, protuberance na okraji disku se mírně chvějí.
5	Podrobnosti ve filamentech, po celém disku je dobře viditelná chromosférická struktura, jsou viditelné detaily ve flokulových polích, protuberance jsou viditelné bez chvění, na okraji disku jsou vidět malé spikule.

- d) Určení kontrastu obrazu.

Tabulka 11: Stupnice kontrastu obrazu¹⁷

Stupnice kontrastu obrazu W	
1	Pozadí za slunečním kotoučem je velmi tmavé, protuberance jsou velmi zřetelně pozorovatelné.
2	Pozadí za slunečním kotoučem je tmavé, protuberance jsou zřetelně pozorovatelné.
3	Pozadí za slunečním kotoučem je mírně jasné, protuberance jsou ještě docela zřetelné.
4	Pozadí za slunečním kotoučem je jasné, protuberance jsou viditelné s potížemi.



Obr. 12: Kontrast obrazu při pohledu do dalekohledu¹⁷

Pro pozorování jsou běžné hodnoty $W = 2-3$, hodnota $W = 1$ je určena pro pozorování z vysokohorských pozorovacích míst. Při hodnotě $W = 4$ se pozorování neprovádí kvůli špatným pozorovacím podmínkám.

- e) Do protokolu se zakreslí jevy pozorované na disku, tak i jevy pozorované u okraje disku. Zakresluje se struktura filamentů a protuberancí, flokulová pole se zakreslí obrysem a sluneční skvrny se vyznačí tečkou odpovídající velikosti skvrny. Erupce se označí obrysem a poznámkou, že se jedná o erupci.
- f) Do protokolu uvedeme čas pozorování v UT
- g) Po zakreslení kresby na protokol následuje zpracování napozorovaných dat

Chromosféra se dynamicky mění, při pozorování může dojít k situaci, že se zakreslovaná struktura změní. Zakreslování se provádí v krátkém časovém intervalu (5 minut). Při zákresu složitější struktury, která je časově náročnější, je nutné uvést čas zakreslení.

5.5. Vyplnění pozorovacího protokoluⁱ

Po provedení zákresu obrazu Slunce je na řadě vyplnění pozorovacího protokolu. Informace lze doplnit i zpětně, není potřeba aktuálního obrazu Slunce (datum, čas, kvalitu obrazu a pozorovacích podmínek vyplňujeme při pozorování).

- a) Souřadnice nebo místo pozorování
- b) Jméno a příjmení pozorovatele
- c) Číslo Carringtonovy otočky Slunce (Hvězdářská ročenka)
- d) Číslo pozorování (individuální číslování pozorovatele)
- e) L_0 heliografická délka centrálního meridiánu v čase pozorování

ⁱ Vyplnění pozorovacího protokolu pro chromosféru je totožné s vyplněním protokolu pro fotosféru (4.4. Vyplnění pozorovacího protokolu).

- f) B_0 heliografická šířka středu disku v pozorovacím čase
- g) P poziční úhel rotační osy Slunce

5.6. Protuberanční číslo

Protuberanční číslo je obdoba Wolfova relativního čísla. Do protokolu se uvádí:

- a) Počet jednotlivých struktur e , počítá se protuberance 15“ minut nad povrchem.
- b) Počet skupin protuberancí H , do skupiny se počítají protuberance, které jsou k sobě blíže než 5° .
- c) Protuberanční číslo R_p , vypočteme podle vztahu $R_p = 10 \cdot H + e$

Disk lze rozdělit na dvě části podle výskytu protuberancí.

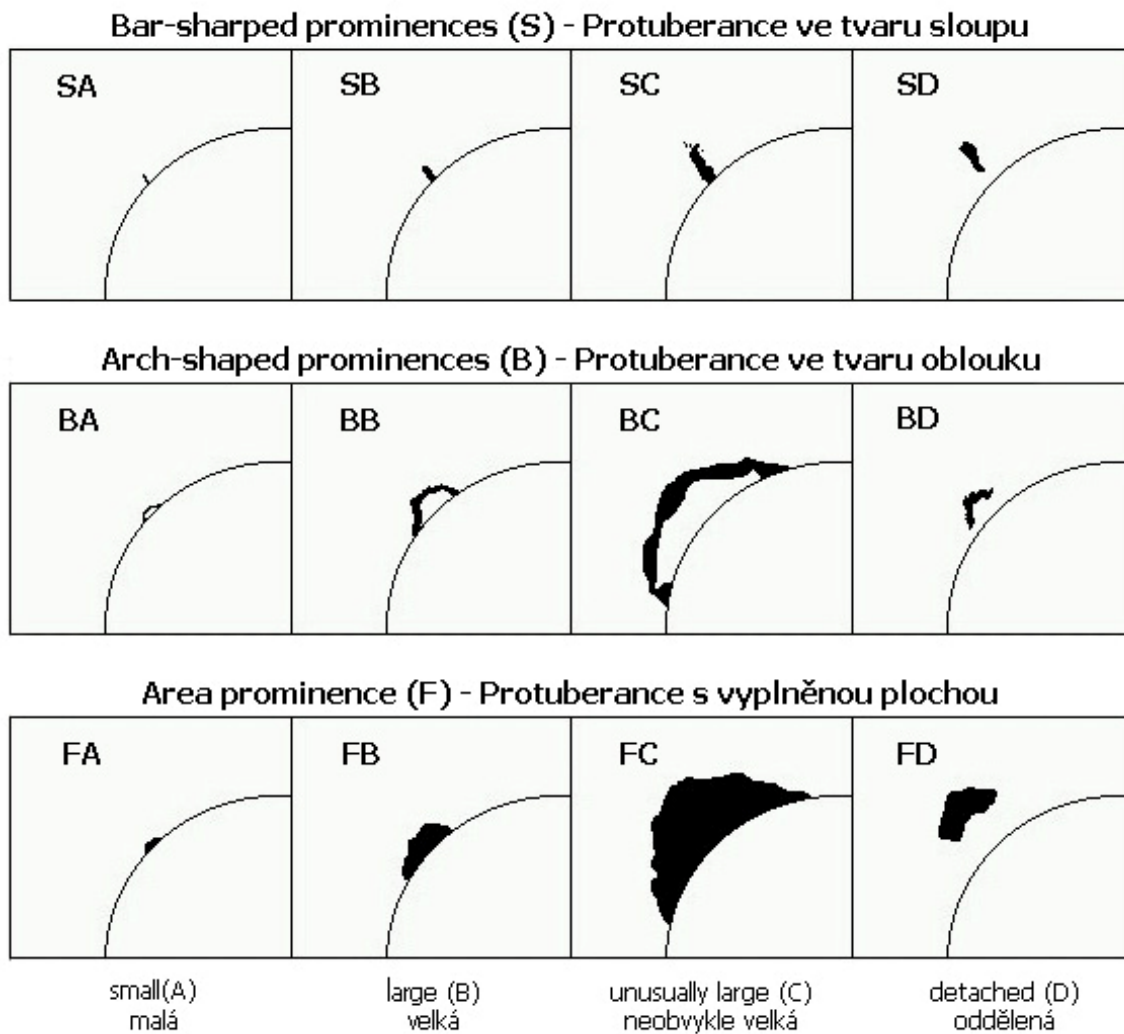
- a) Hlavní zóna – oblast mezi $+50^\circ$ až -50° heliografické šířky. Výskyt protuberancí odpovídá průběhu slunečního cyklu, počet s maximem roste.
- b) Polární zóna – oblast mezi $+50^\circ$ až $+90^\circ$ a -50° až -90° heliografické šířky. Výskyt protuberancí předbíhá sluneční cyklus zhruba o 2 roky, první protuberance se vyskytují 2 roky před minimem. Postupně se činnost pohybuje směrem k pólům. Dva roky před maximem cyklu protuberance zmizí, konečná fáze se shoduje s přepólováním magnetického pole.

5.7. Klasifikace protuberancí

Existuje několik dělení protuberancí podle vizuálního pozorování: Klasifikace podle Volkera, klasifikace podle Knyseliho a Carrdifská klasifikace. Tyto klasifikace se používají pro zpracování napozorovaných dat amatérskými astronomy. Používaly se i jiné klasifikace, např. Newtonova nebo Severnyho klasifikace¹⁸, které se přestaly používat na základě špatných interpretací jevů v chromosféře.

5.7.1. Volkerova klasifikace protuberancí

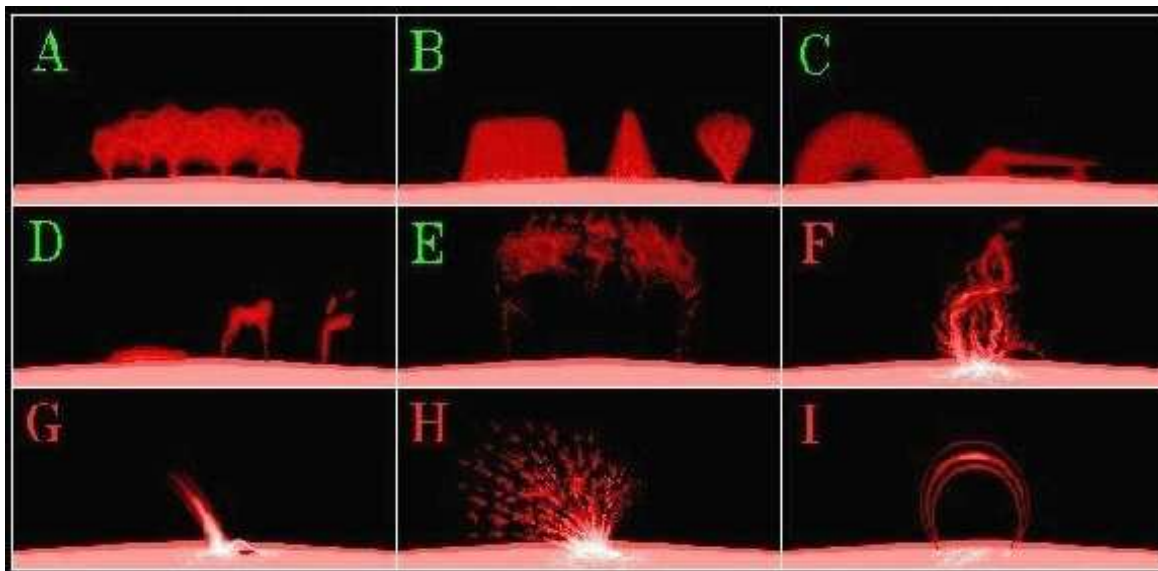
Volker roku 1969 klasifikoval protuberance podle výšky nad okrajem disku (malá A, velká B, neobvykle velká C a utržená D) a podle vzhledu (prut S, oblouk B, plocha F). Nevýhodou je nutnost použít tuto klasifikaci na jednotlivé struktury protuberancí. Při velkém počtu protuberancí může být zpracování výsledků velmi zdlouhavá činnost.



Obr. 13: Volkerova klasifikace protuberancí¹⁷

5.7.2. Kniselyho klasifikace protuberancí

Kniselyho klasifikace dělí protuberance podle průběhu na protuberance klidné a protuberance aktivní.



Obr. 14: Kniselyho klasifikace protuberancí¹⁷

- I. Klidné protuberance: A – živý plot; B – závěs, plamen, vějíř; C – oblouk, plošinový oblouk; D – čepice, nepravidelný oblouk, fragment; E - odtržená eruptivní protuberance.
- II. Aktivní protuberance: F – eruptivní protuberance; G – vzduť; H – sprej; I – eruptivní smyčka.


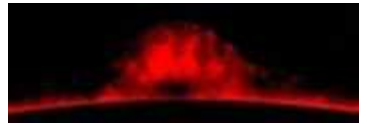













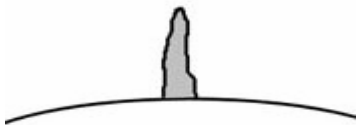



5.7.3. Cardiffská klasifikace protuberancí



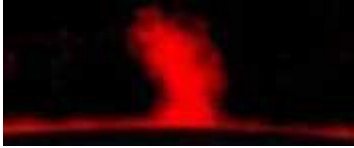


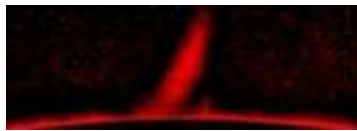











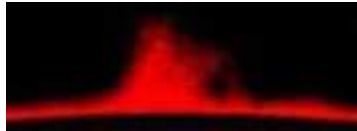
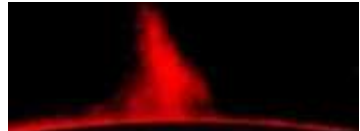
Tato klasifikace vznikla na základě pozorování chromosféry na univerzitě v Cardiffu¹⁸. Vychází z tvarů pozorovaných protuberancí. Třírozměrná protuberance se při pozorování promítá na dvourozměrnou plochu. Protuberance ovšem vidíme pouze z jedné strany. Během delšího pozorování může vlivem rotace Slunce dojít ke změně perspektivy a protuberance může změnit tvar. Většinou chromosféru pozorujeme kratší dobu (do 10 minut). Při delším pozorování je lepší vytvořit nový pozorovací protokol s novou kresbou.



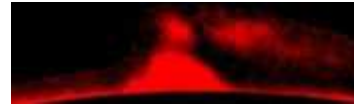
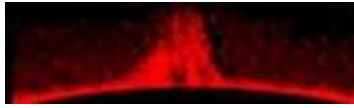
Obr. 15: Perspektiva při pozorování¹⁸

Tabulka 12: Cardiffská klasifikace protuberancí¹⁸

<p>Oblouk: jeden z nejběžnějších tvarů protuberancí, představuje nabitý sluneční materiál proudící do sluneční atmosféry a vracející se po místní magnetické indukční čáře magnetického pole.</p>		
		
<p>Dvojitý oblouk: mnohem vzácnější než jednoduchý oblouk, dva oblouky spojené mezi sebou pomocí proudícího materiálu.</p>		
		
<p>Lomený oblouk: vývojové stádium jednoduchého oblouku, lomený tvar je způsoben nízkou hustotou plazmatu nebo oblouk může být narušen prouděním slunečního větru a magnetickými turbulencemi.</p>		
		
<p>Nespojený oblouk: vývojová fáze oblouku, jeden konec oblouku nedosáhl slunečního povrchu, materiál teprve proudí po magnetické indukční čáře k povrchu Slunce.</p>		
		
<p>Sloup: materiál proudí svisle vzhůru od povrchu, poměrně častý výskyt, mohlo by jít i o oblouk viděný z boku.</p>		
		

<p>Zakřivený sloup: pilíř ohnutý magnetický polem, oblouk viděný z jiného úhlu, rané stádium oblouku.</p>		
		
<p>Nakloněný sloup: podobnost s erupcí, proudící materiál svírá ostrý úhel s povrchem.</p>		
		
<p>Kopec: častý typ protuberance, široká a nízká erupce, podobnost se sloupem, rozlišení: šířka je rovna nebo větší než výška protuberance.</p>		
		
<p>Živý plot: seskupení menších protuberancí, které pocházejí ze stejného zdroje činnosti.</p>		
		
<p>Pyramida: běžný typ, kombinace pilíře a kopce, široká základna přechází postupně v ostrý vrchol.</p>		
		

Rozbitá pyramida: pyramida, která má poškození ve formě děr v plazmatu nebo jsou odděleny celé části plazmatu evoluční fáze pyramidy.



Vidlice: dvě protuberance ve tvaru pyramidy nebo pilíře blízko sebe, mezera je menší než šířka základny protuberance.

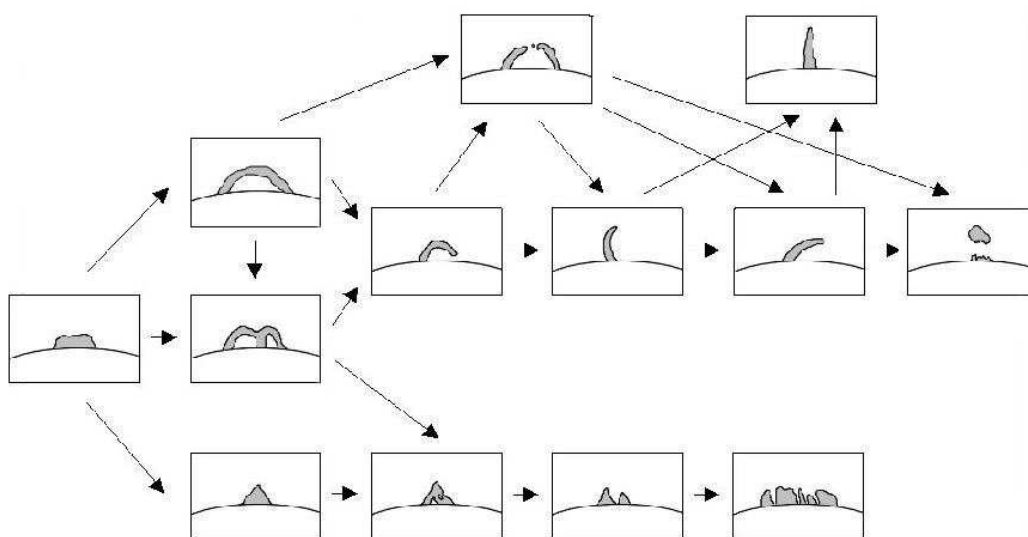


Utržená protuberance: materiál odtržený od povrchu Slunce nebo spojující část je z plazmatu o nízké hustotě a pro pozorovatele je nedetekovaný, záleží na rozlišení přístroje a podmínkách.



Nepřavidelná protuberance: poměrně časté, neuspořádaná struktura, náhodný a složitý tvar protuberance a magnetického pole.





Obr. 16: Vzájemná posloupnost jednotlivých typů protuberancí¹⁸

5.8. Výška protuberance

Základní dělení protuberancí podle výšky na okraji slunečního disku je uvedeno v klasifikaci protuberancí podle Volkera. Pokud se při pozorování provádíme zákres protuberancí, je možné přesněji určit výšku protuberance. Rozdělení protuberancí podle výšky h se určuje podle násobků průměru Slunce $R_s = 1\,391\,980$ km

- a) malá protuberance (s) $h_s \leq 1,05 \cdot R_s$ nižší než 1 461 579 km
- b) velká protuberance (l) $1,05 \cdot R_s \leq h_l \leq 1,15 \cdot R_s$ mezi 1 461 579 km
- c) neobvykle velká protuberance (xl) $h_{xl} \geq 1,15 \cdot R_s$ nad 1 600 777 km

Pokud protuberance překoná vzdálenost 50 000 km ($1,07 \cdot R_s$) za 48 hodin, jedná se o eruptivní protuberanci.

5.9. Délka filamentu

Z délky filamentu na slunečním disku lze určit, zda se jedná o filament klidný nebo aktivní. Filamenty kratší než 15° se označují jako klidné, neočekává se u nich zvýšená aktivita. Filamenty delší než 15° se označujeme jako aktivní. Dlouhý filament se může vlivem magnetického pole roztrhnout. Při zjišťování délky filamentu se musí vzít v úvahu zakreslení vzdáleností směrem k okraji slunečního disku.

6. Astrofotografie Slunce

Dostupnost astrofotografické techniky umožňuje poměrně dobře doplnit vizuální pozorování Slunce fotografickým záznamem aktuálního dění na slunečním disku.

Pořízení fotografie Slunce patří mezi jednodušší astrofotografické praktiky z několika důvodů:

1. Slunce je velmi jasný objekt, na rozdíl od všech ostatních objektů je k jeho fotografování nutný neutrální filtr, který zeslabí jas Slunce na bezpečnou úroveň, která neohrozí záznamovou techniku, ani fotografův zrak (hustoty filtrů se pohybují v obvyklých hodnotách ND3.5 – ND5). I po ztlumení jasu stačí pro pořízení dobře prokreslených fotografií velmi krátké expozice, tím jsou dány nižší nároky na přesnost montáže.
2. Slunce je k Zemi nejbližší hvězdou, na obloze má úhlový průměr $0,5^\circ$, pro pořízení fotografie postačuje i dalekohled s relativně kratším ohniskem.
3. Slunce je pozorovatelné za dne.

První fotografii Slunce pořídili v dubnu roku 1845 Hippolyte Fizeau a Léon Foucault pomocí daguerrotypie (fotografický proces). Výsledný snímek o průměru 12 cm zobrazoval skupinu slunečních skvrn. Snímek byl exponován 1/60 sekundy.

6.1. Bezpečnost při fotografování

Při fotografování Slunce je nutné dodržovat zásady bezpečného pozorování. Slunce jako blízká hvězda vyzářuje mnoho záření v oblasti viditelného světla i infračerveného záření, které se při průchodu čočkou (objektivem) koncentruje do jednoho bodu v ohnisku. Při použití objektivů a dalekohledů hrozí zničení fotografické techniky, případně i ohrožení zraku pozorovatele. Při fotografování pomocí teleobjektivů a dalekohledů musíme před objektiv umístit speciální filtr, který zeslabí světlo ze Slunce na bezpečnou mez. Bez filtru lze pořizovat pouze širokoúhlé snímky, nebo Slunce fotografovat, když je jeho světlo zeslabeno zemskou atmosférou (mrak, východy a západy Slunce).

6.2. Širokoúhlá fotografie

Pro pořízení širokoúhlé fotografie Slunce postačuje i mobil s „lepším“ fotoaparátem. Kvalitnější snímky dostaneme při použití kompaktního fotoaparátu nebo digitální zrcadlovky. Je-

jich výhodou je možnost manuálního ostření, protože v mnoha případech automatické ostření nepostačuje.

Objektem širokouhlého fotografování Slunce jsou východy a západy Slunce, sluneční kotouč zakrytý mlhou, oparem nebo kouřem, halové jevy, polární záře a úplná fáze při úplném zatmění Slunce.

Pravidelným fotografováním Slunce z jednoho místa v průběhu roku a následným složením snímků vznikne analemma, křivka ve tvaru osmičky, která znázorňuje pohyb Slunce na obloze.

6.3. Fotografování pomocí dalekohledu

Dalekohled připojený před fotoaparátem funguje jako objektiv s dlouhým ohniskem. Změnou krátkého ohniska za dlouhé ohnisko dosáhneme většího zvětšení a větších detailů na výsledném snímku. Je několik způsobů snímání obrazu Slunce v závislosti na možnostech a vybavení pozorovatele.

6.4. Filtry na dalekohled

Světlo ze Slunce musíme před vstupem do dalekohledu a snímacího zařízení zeslabit pomocí filtrů či speciálních hranolů, jinak hrozí poškození vybavení. V amatérských podmínkách můžeme na Slunci fotografovat jevy a děje ve fotosféře (bílé světlo) nebo v chromosféře Slunce.

Astrosolar fólie je nejlevnější variantou pro fotografování fotosféry Slunce. Fólii lze vlepít do objímky vyrobené z lepenky nebo tvrdého papíru, takto vyrobený filtr se nasazuje před objektiv dalekohledu. Filtr musí na dalekohledu pevně sedět, aby nemohlo dojít k odstranění např. poryvem větru. Filtr ze sluneční fólie je vhodný pro všechny typy dalekohledů, jediným omezením je průměr daného dalekohledu. Fólie se prodává pouze ve dvou formátech, u větších dalekohledů bude část objektivu zakryta a nevyužita. Sluneční fólie propustí pouze bezpečné množství světla, pro fotografování se prodává fólie s vyšší propustností než u fólie pro vizuální pozorování.

Herschelův hranol se používá pouze pro refraktory. Jeho srdcem je speciální hranol, který přes pomocné zrcadlo odkloní 90 % světla mimo hranol. Prostřednictvím optického materiálu hranolu se pohltí 9,8 %, k dalšímu pohlcování dochází při odrazech na stěnách hranolu. Ke konečnému zeslabení světla se používá dvojice polarizačních filtrů nebo sada šedých filtrů.

Náročnými požadavky na konstrukci patří Herschelův hranol mezi dražší pomůcky k pozorování a fotografování fotosféry Slunce. Vysoká cena je vynahrazena bezkonkurenční kvalitou obrazu pro vizuální i fotografické pozorování.

Chromosférické filtry se většinou prodávají v kompletu s čočkovým dalekohledem jako chromosférický dalekohled. Filtry lze koupit i zvlášť a připojit je k vhodnému čočkovému dalekohledu. Před objektiv je umístěn energetický filtr, který do dalekohledu propouští pouze červenou oblast ze slunečního spektra. Zcela zabraňuje vniknutí infračervených paprsků, které by mohly nepřiměřeně zahřát a zničit drahé filtry uvnitř dalekohledu. Před okulárem je umístěn úzkopásmový filtr (blokační filtr), který má propustnost v okolí čáry H-alfa, tj. 656,3 nm. Technologie výroby filtrů v přesně vymezené propustnosti je náročná. Dalekohledy s H-alfa filtrem patřily pro amatérské astronomy mezi cenově nedostupné. V roce 2005 se na trhu objevily H-alfa dalekohledy s průměrem okolo 40 mm za přijatelnou cenou. Oblast pozorování chromosféry se otevřela širší skupině astronomů-amatérů. H-alfa dalekohledem lze pozorovat a fotografovat nejen děje na okraji disku (spikule, protuberance), ale i děje na disku samotném (filamenty, erupce, flokulová pole, skvrny).

6.5. Snímek x video

Snímacím zařízením můžeme pořídit jednotlivé snímky nebo natočit videosekvenci. Snímek i video mají své výhody a nevýhody.

Tabulka 13: Porovnání snímku a videa³

	Snímek	Video
snímací zařízení	digitální zrcadlovka	kompaktní fotoaparát, webkamera, CCD kamera
rozlišení senzoru	vysoké	nižší
vliv seeingu	ovlivnění snímků velké	eliminace seeingu množstvím jednotlivých snímků (řádově až tisíce)
formát dat	nejlépe RAW, JPG	formát surového videa, nutné pro zpracování
záznam	paměťová karta	nutnost záznamu na PC
objem dat	řádově desítky MB	řádově stovky až tisíce MB
objekt fotografování	sluneční aktivita, zatmění Slunce, sluneční disk	detaily slunečních skvrn, změny struktury protuberancí, detaily disku

6.6. Digitální zrcadlovka v primárním ohnisku

Digitální zrcadlovka se sejmutým objektivem se připojuje k dalekohledu pomocí redukce odpovídající okulárovému výtahu dalekohledu. Pokud má zrcadlovka funkci „živého náhledu“, je usnadněno zaostření obrazu. Výsledné snímky mají vysoké rozlišení, ostrost jednotlivých snímků je ovlivněna seeingem, pořizuje se většinou několik desítek jednotlivých snímků. Pro fotografování Slunce v této sestavě se používají expoziční časy okolo 1/1000 sekundy při citlivosti 100 ISO. S DSLR (z angl. Digital single-lens reflex camera) v primárním ohnisku se fotografuje sluneční disk, rozmístění skvrn a zatmění Slunce.

Při fotografování chromosféry pomocí DSLR v primárním ohnisku dalekohledu se expoziční časy prodlužují zhruba na 1/100 až 1/50 sekundy, doba expozice se liší podle parametrů chromosférického dalekohledu a oblasti, kterou chceme zachytit. Je nutné fotografovat do formátu RAW pro kvalitní zpracování v počítači.

6.7. Kompaktní fotoaparát v afokální sestavě

Kompaktní fotoaparáty nemají odnímatelný objektiv, k dalekohledu se připojují prostřednictvím afokálního držáku. Kompaktní fotoaparát se umístí za okulár dalekohledu. Výhodou je, pokud přístroj umožňuje vypnutí automatického ostření a snímání videa v surovém formátu. Lze snímat detaily slunečních skvrn a protuberancí.

6.8. Kamera v primárním ohnisku dalekohledu

Pro snímání v primárním ohnisku lze použít upravenou webkameru nebo CCD kameru. Kamera se k dalekohledu připojuje pomocí příslušné redukce, nutností je počítač pro záznam dat. Pomocí programů lze obraz sledovat na monitoru, přesně zaostřit a snímat video v surovém formátu. I krátké, několikaminutové video může dosahovat velikosti několika set MB, či jednotek GB. Výsledkem je několik tisíc dílčích snímků, ze kterých lze pomocí počítačových programů (např. Registaxu) vybrat, zarovnat a složit nejlepší snímky do jednoho výsledného zaostřeného snímku. Pořízením videa eliminujeme chvění zemské atmosféry. Kamery mají nižší rozlišení než DSLR, ale mají menší i menší senzory, a tudíž i menší zorná pole. Kamerou lze zachytit větší detaily skvrn nebo protuberancí, protože ze zaznamenaných dat lze vytvořit obraz, který není tolik ovlivněn seeingem, jako jediný snímek z fotoaparátu.

Většina používaných kamer je monochromatických, výsledný obraz je černobílý. V případě záznamu chromosféry lze pomocí počítače obraz dobarvit podle potřeby.

7. Vlastní pozorování fotosféry

7.1. Přístrojové vybavení a metody

Pro pozorování fotosféry jsem používal vlastní zrcadlový dalekohled Newton s průměrem objektivu 150 mm a ohniskovou vzdáleností 750 mm na paralaktické montáži EQ-3-2. Konstrukce Newtonova dalekohledu neumožňuje pozorování Slunce metodou projekce, hrozí poškození vnitřní konstrukce dalekohledu (sekundárního zrcadla a okulárového výtahu). Proto jsem použil metodu přímého pozorování fotosféry za použití filtru vyrobeného ze sluneční fólie.

Několikrát jsem k pozorování použil dalekohled Hvězdárny a planetária v Plzni a dalekohled Katedry obecné fyziky Fakulty Pedagogické Západočeské univerzity v Plzni. Oba dalekohledy byly totožné – refraktor ED-80 s průměrem objektivu 80 mm a ohniskovou vzdáleností 600 mm.



Obr. 17: Newton 150/750 a sluneční filtr³

7.2. Pozorovací protokol

Pro zakreslení fotosféry Slunce jsem použil pozorovací protokol Lumíra Honzíka z Hvězdárny a planetária v Plzni. Tento protokol je modifikován ze standardního průměru

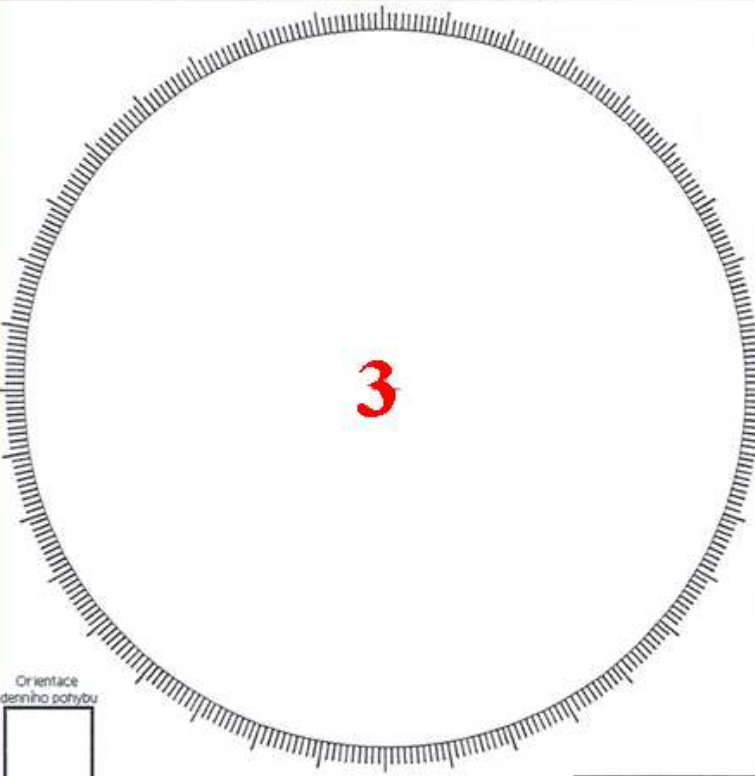
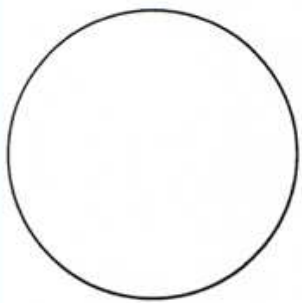
250 mm na průměr 125 mm. Při zákresu polohy skvrn přímou metodou dochází chybě při určení přesné polohy skvrny. Zmenšením průměru protokolu se tato chyba zmenšuje.

Protokol se dělí na několik částí:

1. Základní údaje: pozorovací číslo, pozorovatel, datum, čas (UT), místo
2. Přístrojová sekce: přístroj, typ, parametry objektivu, zvětšení, orientace obrazu a metoda pozorování
3. Kresba: orientace denního pohybu, samotná kresba a následné zpracování kresby
4. Podmínky pozorování. Pozorovací podmínky Oc., kvalita obrazu Obr., kvalita pozorování Q
5. Údaje pro další zpracování protokolu: číslo Carringtonovy otočky, poziční úhel P , pozorovací doba v tisícinách dne $D/100$, střední čas pozorování t_s (zakrouhleno na 10 minut), počet skupin skvrn g , počet skvrn f , relativní číslo R , centrální počet skupin skvrn g_c , centrální počet skvrn f_c , centrální relativní číslo R_c , počet fakulových polí F , Pozorovací podmínky Oc., kvalita obrazu Obr., kvalita pozorování Q a heliografické souřadnice středu slunečního disku L_0 a B_0
6. Zpracování kresby skvrn: číslo aktivní oblasti, klasifikace skvrn podle McIntoshovy klasifikace, tvaru hlavní skvrny a konfigurace skvrn ve skupině, souřadnice l a b , číslo a souřadnice fakulového pole.

Tabulka 14: Převodní tabulka pro pozorovací dobu v tisícinách dne ¹⁵

Pozorovací doba v tisícinách dne (v UT) D/100																	
$\begin{matrix} h \\ \min \end{matrix}$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0	125	167	208	250	292	333	375	417	458	500	542	583	625	667	708	750	792
10	132	174	215	257	299	340	382	424	465	507	549	590	632	674	715	757	799
20	139	181	222	264	306	347	389	431	472	514	556	597	639	681	722	764	806
30	146	188	229	271	313	354	396	438	479	521	563	604	646	688	729	771	813
40	153	194	236	278	319	361	403	444	486	528	569	611	653	694	736	778	819
50	160	201	243	285	326	368	410	451	493	535	576	618	660	701	743	785	826

Protokol o pozorování fotosféry Slunce		P. č.:						
		Pozorovatel: 1						
		Datum: 1 . 20						
		Čas [UT]: od do						
		Misto:						
		Přístrojová sekce						
		Přístroj:						
		Typ:						
		Objektiv: ϕ mm / $f =$ mm						
		Zvětšení:						
		Okuiár: mm mm mm mm						
Zvětšení: 2 x x x								
Clona:								
Obraz: * vzpřímený								
stranově převrácený								
výškově převrácený								
celkově převrácený								
Kresba: * přímá								
projekcí								
kombinovaná								
Udaje								
Carringtonova ot. č.: P = °								
D/100 = $t_1 =$								
g = 5 $g_1 =$								
f = $f_1 =$								
R = $R_1 =$								
F = Q =								
Oc. = Obr. =								
Heliografické souřadnice středu slunečního disku								
$L_2 =$ ° $B_2 =$ °								
* Nehodící se škrtněte								
Pozorovací podmínky:	Kvalita obrazu: 4	Kvalita pozorování:						
Pomocné rozdělení skupin:	Klasifikace skupin		Souřadnice	Poznámky ke skupinám	Parametry fp			
	č. AO	Znak	Klasifikace	I	b	č. f.p.	v	i
	I.	=				f.p. 1		
	II.	=				f.p. 2		
	III.	=				f.p. 3		
	IV.	=				f.p. 4		
	V.	=				f.p. 5		
	VI.	=				f.p. 6		
	VII.	=	6			f.p. 7		
	VIII.	=				f.p. 8		
	IX.	=				f.p. 9		
	X.	=				f.p. 10		
	XI.	=				f.p. 11		
	XII.	=				f.p. 12		
	XIII.	=				f.p. 13		
XIV.	=				f.p. 14			
Poznámky:								

Obr. 18: Protokol o pozorování fotosféry Slunce³

7.3. Napozorovaná data

Pozorování fotosféry Slunce jsem provedl v období leden 2008 až červen 2012. Celkem jsem uskutečnil 86 pozorování se zakreslením do protokolu.

Pro číslování protokolů o pozorování fotosféry jsem zvolil označení F_{xxx} , x označuje číslo pozorování. Do tabulky jsem zařadil i protokol z mého prvního pozorování Slunce se zákresem F001. Změna označení u protokolu F016-A, F016-B a F043-A, F043-B a F043-C byla způsobena pozdějším přidáním protokolu F016-B do již uzavřeného pořadí.

Tabulka 15: Počet pozorování fotosféry za rok³

rok	počet pozorování
2006	1
2008	10
2009	30
2010	40
2011	4
2012	1

Rozdílný počet pozorování v jednotlivých letech je způsoben nedostatkem času a možností, kdy jsem mohl Slunce pozorovat. Pro pravidelné pozorování Slunce je potřeba stálého pozorovacího místa a dostatek času, kdy lze za vhodných meteorologických podmínek pozorování uskutečnit.

U zakreslených protokolů jsem zpracovával základní údaje o pozorovací technice, pozorovacích podmínkách, číslo Carringtonovi otočky a čas v tisícinách dne. Na základě efemerid¹ Slunce pro daný den jsem dopočítával heliografické souřadnice středu slunečního disku L_0 , B_0 a poziční úhel P_0 . Ze zákresu slunečních skvrn jsem určoval relativní číslo.

Ke klasifikaci slunečních skvrn není protokol o průměru 125 mm vhodný, podrobnější typ skvrny lze určit pouze u velkých skvrn.

S blížícím se maximem sluneční aktivity se na Slunci vyskytly i skvrny, které bylo možné pozorovat pouhým okem.

¹ Efemeridy pro Slunce lze vyhledat v hvězdářské ročence nebo na stránkách Asociace pro pozorování Měsíce a planet (ALPO): <http://alpo-astronomy.org/>

Tabulka 16: Pozorování fotosféry³

Pozorování fotosféry Slunce 2008																	
P.č.	Datum	D/100	t_s	Carr.	g	f	R	F	g_s	f_s	R_s	Oc.	Obr.	Q	L_0	B_0	P_0
F001	24. 8. 2006	479	11:30	2046	1	6	16	0	0	0	0	2	3	3	20,2	7,0	18,6
F002	12. 2. 2008	597	14:20	2066	1	1	11	1	0	0	0	2	4	4	120,3	-6,7	-16,3
F003	13. 2. 2008	569	13:40	2066	1	1	11	0	0	0	0	2	3	4	107,5	-6,8	-16,7
F004	25. 2. 2008	431	10:20	2067	0	0	0	0	0	0	0	1	3	3	311,3	-7,1	-20,4
F005	11. 6. 2008	486	11:40	2071	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3	337,5	0,6	-11,1
F006	5. 7. 2008	549	13:10	2071	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3	19,1	3,4	-0,5
F007	11. 10. 2008	507	12:10	2075	1	2	12	0	0	0	0	3	2	2	164,6	6,1	26,3
F008	12. 10. 2008	438	10:30	2075	1	4	14	1	0	0	0	1	4	5	152,3	6,1	26,3
F009	13. 10. 2008	569	13:40	2075	1	4	14	1	1	4	14	1	4	5	137,4	5,9	26,2
F010	31. 10. 2008	507	12:10	2076	1	4	14	0	0	0	0	2	3	3	260,8	4,4	24,5
F011	1. 11. 2008	521	12:30	2076	0	0	0	0	0	0	0	3	2	2	247,4	4,3	24,3

Pozorování fotosféry Slunce 2009																	
P.č.	datum	D/100	t_s	Carr.	g	f	R	F	g_s	f_s	R_s	Oc.	Obr.	Q	L_0	B_0	P_0
F012	10. 1. 2009	653	15:40	2078	1	6	16	0	0	0	0	2	3	4	43,3	-4,1	-2,7
F013	22. 4. 2009	417	10:00	2082	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4	142,2	-5,0	-25,4
F014	30. 4. 2009	681	16:20	2082	1	1	11	1	0	0	0	3	3	3	33,0	-4,2	-24,2
F015	1. 5. 2009	431	10:20	2082	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3	23,1	-4,2	-24,0
F016-A	9. 5. 2009	458	11:00	2083	0	0	0	1	0	0	0	2	3	3	277,0	-3,3	-22,4
F016-B	10. 5. 2009	410	9:50	2083	0	0	0	1	0	0	0	2	3	3	264,4	-3,2	-22,1
F017	16. 5. 2009	507	12:10	2083	0	0	0	1	0	0	0	2	3	3	183,7	-2,4	-20,5
F018	23. 5. 2009	417	10:00	2083	1	1	11	0	0	0	0	1	3	4	92,4	-1,7	-18,4
F019	1. 6. 2009	354	8:30	2084	1	6	16	0	0	0	0	1	3	3	334,1	-0,6	-15,3
F020	1. 6. 2009	472	11:20	2084	1	7	17	0	0	0	0	2	3	3	332,5	-0,6	-15,2
F021	1. 6. 2009	653	15:40	2084	1	8	18	0	0	0	0	2	3	3	330,1	-0,6	-15,1
F022	2. 6. 2009	396	9:30	2084	1	7	17	0	0	0	0	1	4	4	320,3	-0,5	-14,8
F023	2. 6. 2009	618	14:50	2084	1	8	18	0	0	0	0	1	4	4	317,3	-0,4	-14,8
F024	2. 6. 2009	660	15:50	2084	1	5	15	0	0	0	0	2	3	4	316,8	-0,4	-14,7
F025	3. 6. 2009	299	7:10	2084	1	11	21	0	0	0	0	1	4	5	308,4	-0,4	-14,5
F026	4. 6. 2009	722	17:20	2084	1	2	12	0	0	0	0	2	3	3	289,5	-0,2	-14,0
F027	17. 6. 2009	326	7:50	2084	0	0	0	2	0	0	0	1	3	4	122,7	1,3	-8,8
F028	4. 7. 2009	354	8:30	2085	1	12	22	0	0	0	0	1	4	4	257,3	3,2	-1,1
F029	4. 7. 2009	618	14:50	2085	1	15	25	0	0	0	0	1	4	5	253,8	3,3	-1,0
F030	5. 7. 2009	382	9:10	2085	1	13	23	0	1	6	16	1	4	5	243,7	3,3	-0,6
F031	6. 7. 2009	701	16:50	2085	1	9	19	0	0	0	0	1	4	5	226,2	3,5	0,0
F032	8. 7. 2009	326	7:50	2085	1	10	20	0	0	0	0	1	3	4	204,7	3,6	0,7
F033	9. 7. 2009	514	12:20	2085	1	4	14	2	0	0	0	2	3	4	189,0	3,8	1,2
F034	19. 9. 2009	465	11:10	2088	1	5	15	0	0	0	0	2	3	3	318,0	7,1	24,7
F035	23. 9. 2009	368	8:50	2088	2	9	29	1	1	3	13	1	4	4	266,4	7,0	25,2
F037	26. 9. 2009	590	14:10	2088	1	2	12	0	0	0	0	3	3	3	223,9	6,9	25,7
F038	24. 10. 2009	431	10:20	2089	1	7	17	0	1	7	17	3	3	3	216,6	5,1	25,6
F039	29. 10. 2009	479	11:38	2089	1	11	21	0	0	0	0	2	3	3	185,8	6,8	25,8
F040	20. 12. 2009	500	12:00	2091	2	6	26	1	0	0	0	2	3	3	184,4	-1,6	7,7
F041	26. 12. 2009	556	13:20	2091	1	3	13	0	0	0	0	1	4	5	104,6	-2,4	4,7

Pozorování fotosféry Slunce 2010																	
P.č.	datum	D/100	t_s	Carr.	g	f	R	F	g_s	f_s	R_s	Oc.	Obr.	Q	L_0	B_0	P_0
F042	21. 1. 2010	451	10:50	2092	1	1	11	0	1	1	11	1	3	4	123,5	-5,1	-7,6
F043-A	21. 2. 2010	465	11:10	2093	1	6	16	2	0	0	0	1	3	4	75,2	-7,0	-19,4
F043-B	25. 2. 2010	500	12:00	2093	2	2	22	0	0	0	0	1	3	4	76,8	-5,5	-9,2
F043-C	27. 2. 2010	528	12:40	2093	3	6	36	0	0	0	0	1	2	4	43,5	-5,7	-10,4
F044	3. 3. 2010	611	14:40	2094	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3	301,5	-7,2	-22,1
F045	7. 3. 2010	472	11:20	2094	1	1	11	1	0	0	0	1	4	5	250,7	-7,2	-23,0
F046	8. 3. 2010	396	9:30	2094	1	4	14	0	0	0	0	1	3	4	238,5	-7,2	-23,2
F047	18. 3. 2010	465	11:10	2094	2	7	27	0	0	0	0	1	4	5	105,9	-7,1	-24,9
F048	24. 3. 2010	396	9:30	2094	0	0	0	1	0	0	0	1	3	4	27,7	-6,9	-25,6
F049	25. 3. 2010	354	8:30	2094	1	3	13	1	0	0	0	1	3	4	15,0	-6,9	-25,7
F050	27. 3. 2010	389	9:20	2095	2	7	27	0	0	0	0	1	4	5	348,2	-6,8	-25,8
F051	28. 3. 2010	500	12:00	2095	2	6	26	0	0	0	0	1	4	5	333,5	-6,8	-26,0
F052	3. 4. 2010	375	9:00	2095	2	4	24	1	1	2	12	1	4	4	256,1	-6,4	-26,2
F053	7. 4. 2010	625	15:00	2095	2	5	25	1	0	0	0	1	4	5	200,0	-6,1	-26,3
F054	8. 4. 2010	632	15:10	2095	1	1	11	0	0	0	0	3	2	2	186,7	-6,1	-26,3
F055	22. 5. 2010	569	13:40	2097	1	7	17	0	1	7	17	2	3	3	326,0	-1,8	-18,7
F056	23. 5. 2010	375	9:00	2097	1	6	16	0	1	6	16	1	4	4	315,4	-1,7	-18,5
F057	24. 5. 2010	361	8:40	2097	1	7	17	1	1	7	17	1	4	5	302,3	-1,6	5,2
F058	25. 5. 2010	299	7:10	2097	1	2	12	1	0	0	0	1	4	4	289,9	-1,5	-17,9
F059	30. 5. 2010	431	10:20	2097	1	7	17	0	0	0	0	1	3	4	219,2	-0,9	-16,1
F060	4. 6. 2010	361	8:40	2097	0	0	0	2	0	0	0	1	3	4	156,7	-0,3	-14,2
F061	11. 6. 2010	681	16:20	2097	2	8	28	1	0	0	0	1	4	4	59,8	0,6	-11,2
F062	12. 6. 2010	438	10:30	2097	2	13	33	0	0	0	0	1	4	4	49,8	0,7	-10,9
F063	24. 6. 2010	708	17:00	2098	1	4	14	1	0	0	0	1	4	5	221,2	2,2	-5,6
F064	30. 6. 2010	521	12:30	2098	1	1	11	0	0	0	0	2	4	4	170,5	2,8	-3,0
F065	3. 7. 2010	396	9:30	2098	1	1	11	0	0	0	0	2	3	4	132,4	3,1	-1,7
F066	4. 7. 2010	701	16:50	2097	1	1	11	0	0	0	0	3	3	3	115,1	3,3	-1,0
F067	21. 7. 2010	424	10:10	2099	1	12	22	0	0	0	0	1	4	5	267,1	4,8	5,8
F068	22. 7. 2010	590	14:10	2099	1	17	27	0	0	0	0	1	4	5	239,0	5,0	6,9
F069	31. 7. 2010	500	12:00	2099	1	2	12	0	0	0	0	2	3	3	127,1	5,7	10,3
F070	3. 8. 2010	500	12:00	2099	2	6	26	1	1	4	14	1	4	5	87,4	5,9	11,5
F071	5. 8. 2010	535	13:50	2099	3	7	37	1	1	1	11	1	4	5	53,9	6,1	12,5
F072	8. 8. 2010	313	7:30	2099	3	6	36	0	2	4	24	1	5	5	30,4	6,2	13,2
F073	9. 8. 2010	313	7:30	2099	3	11	41	1	3	10	40	1	5	5	17,2	6,3	13,6
F074	10. 8. 2010	319	7:40	2100	4	21	61	2	3	19	49	1	5	5	118,7	6,3	13,9
F075	1. 9. 2010	500	12:00	2100	2	15	35	1	1	12	22	2	4	4	64,1	7,2	21,0
F076	23. 9. 2010	507	12:10	2101	2	13	33	1	0	0	0	2	4	5	133,7	7,0	25,2
F077	27. 10. 2010	347	9:20	2102	1	11	21	0	1	11	21	2	4	5	53,8	4,9	25,3
F078	29. 10. 2010	500	12:00	2102	1	8	18	0	0	0	0	2	3	4	18,8	4,7	25,0
F079	30. 10. 2010	500	12:00	2102	1	3	13	0	0	0	0	3	3	3	5,6	4,6	24,8

Pozorování fotosféry Slunce 2011, 2012																	
P.č.	datum	D/100	t_s	Carr.	g	f	R	F	g_s	f_s	R_s	Oc.	Obr.	Q	L_0	B_0	P_0
F080	17. 1. 2011	500	12:00	2105	1	5	15	0	0	0	0	2	3	4	44,6	-4,7	-5,4
F081	15. 2. 2011	549	13:10	2106	3	16	46	0	1	9	19	1	4	5	15,5	-6,8	-17,5
F082	27. 2. 2011	472	11:20	2107	2	6	26	1	0	0	0	2	3	4	231,7	-7,2	-20,8
F083	8. 3. 2011	660	15:50	2107	3	46	76	1	1	24	34	1	5	5	97,4	-7,2	-23,2
F084	6. 6. 2012	146	3:30	2124	3	11	41	0	3	11	41	2	3	4	218,0	-0,1	-13,7

8. Vlastní pozorování chromosféry

8.1. Přístrojové vybavení a metody

Pro první pozorování chromosféry jsem využil chromosférický dalekohled Hvězdárny a planetária v Plzni o průměru objektivu 100 mm a ohniskové délce 2 800 mm.

K dalším pozorováním jsem si pořídil chromosférický dalekohled Lunt LS35H o průměru 35 mm a ohniskové vzdálenosti 400 mm. Chromosféru Slunce lze pouze pozorovat přímou metodou. Dalekohled Lunt je vybaven energetickým filtrem před objektivem. Změnou propustnosti filtru lze pozorovat různé vrstvy a útvary v chromosféry.



Obr. 19: Dalekohled Lunt LS35H¹⁹

8.2. Pozorovací protokol

Systematické pozorování chromosféry Slunce je teprve v počátku, nenašel jsem vhodný protokol pro zakreslování pozorování. Při tvorbě vlastního protokolu jsem vycházel z protokolu pro pozorování Slunce. Při použití stejného průměru protokolu, lze po pozorování porovnat, jak se jevy ve fotosféře a chromosféře vzájemně ovlivňují.

Protokol o pozorování chromosféry je jednodušší než protokol pro pozorování chromosféry.

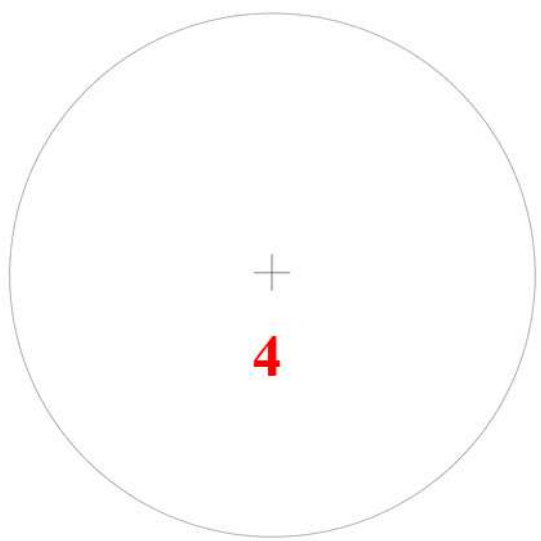
Protokol se dělí na několik částí:

1. Základní údaje: jméno pozorovatele, datum, čas a místo pozorování
2. Použitý dalekohled a zvětšení dané okulárem

3. Údaje: Kvalita Q a kontrast W obrazu, počet protuberancí e , počet skupin protuberancí H , relativní protuberanční číslo R_p a souřadnice středu slunečního kotouče L_0 , B_0 , P , Carringtonova otočka a číslo pozorování
4. Část pro zakres pozorovaných jevů

Protokol o pozorování chromosféry Slunce					
Pozorovatel:	Přístroj:	Kvalita obrazu:	Kontrast obrazu:	P.č.:	
Datum:	Okulár:	$e =$	$R_p =$	$L_0 =$	$B_0 =$
Čas [UT]:	Zvětšení:	$H =$	$P =$	Carringtonova ot. č.	
Místo:					

+



Obr. 20: Protokol o pozorování chromosféry Slunce³

8.3. Napozorovaná data

Pozorování chromosféry Slunce jsem provedl v období duben 2009 až červen 2012. Uskutečnil jsem celkově 75 pozorování se zakreslením do protokolu.

Tabulka 17: Počet pozorování chromosféry za rok³

rok	počet pozorování
2009	24
2010	48
2011	1
2012	1

Pro číslování protokolů o pozorování chromosféry jsem zvolil označení CH xxx , x označuje číslo pozorování. V prvním sloupci jsou uvedeny čísla pozorování protokolů pro fotosféru, při kterých jsem pozoroval i chromosféru. Protokoly CH027-B, CH042-B, CH059-B byly do seznamu zařazeny dodatečně.

Tabulka 18: Pozorování chromosféry³

Pozorování chromosféry Slunce 2009												
F xxx	P.č.	datum	t	Carr.	H	e	R_p	Q	W	L_0	B_0	P_0
	CH001	13. 4. 2009	13:58	2082	5	8	58	4	2	258,8	-5,7	-26,1
	CH002	14. 4. 2009	9:00	2082	10	12	112	4	2	248,4	-5,7	-26,1
	CH003	9. 8. 2009	10:00	2086	2	2	22	3	3	140,2	6,3	14,1
	CH004	19. 8. 2009	11:25	2086	3	6	36	3	3	7,2	6,8	17,5
	CH005	23. 8. 2009	15:20	2087	3	5	35	4	2	312,2	7,0	18,8
	CH006	24. 8. 2009	9:31	2087	3	4	34	4	2	302,2	7,0	19,0
	CH007	24. 8. 2009	11:33	2087	5	5	55	4	2	301,0	7,0	19,0
	CH008	25. 8. 2009	7:19	2087	7	9	79	5	2	290,2	7,0	19,3
	CH009	27. 8. 2009	9:03	2087	3	8	38	4	2	262,8	7,1	19,8
	CH010	29. 8. 2009	12:11	2087	6	9	69	4	2	234,7	7,1	20,5
	CH011	30. 8. 2009	10:18	2087	7	7	77	5	2	222,5	7,2	20,6
	CH012	1. 9. 2009	15:19	2087	4	4	44	5	2	193,3	7,2	21,2
	CH013	6. 9. 2009	10:37	2087	3	3	33	4	2	129,9	7,2	22,4
	CH014	9. 9. 2009	9:09	2087	8	12	92	5	2	91,1	7,2	23,0
	CH015	13. 9. 2009	9:44	2087	3	6	36	3	2	37,9	7,2	23,8
F035	CH016	23. 9. 2009	8:53	2088	5	8	58	4	2	266,4	7,0	25,2
F037	CH017	26. 9. 2009	13:56	2088	4	7	47	5	2	224,0	6,9	25,7
	CH018	19. 11. 2009	9:38	2090	5	7	57	5	2	234,2	2,3	20,1
	CH019	23. 11. 2009	10:02	2090	4	5	45	3	2	181,2	1,9	18,9
	CH020	26. 11. 2009	7:35	2090	6	9	69	4	2	143,0	1,5	17,8

Pozorování chromosféry Slunce 2009												
Fxxx	P.č.	datum	<i>t</i>	Carr.	<i>H</i>	<i>e</i>	<i>R_p</i>	Q	W	<i>L₀</i>	<i>B₀</i>	<i>P₀</i>
	CH021	26. 11. 2009	12:53	2090	7	8	78	4	2	140,1	1,4	17,7
	CH022	29. 11. 2009	11:27	2090	4	4	44	4	2	101,4	1,1	16,6
F040	CH023	20. 12. 2009	12:00	2091	2	3	23	4	2	184,4	-1,6	7,7
F041	CH024	26. 12. 2009	13:21	2091	3	3	33	5	2	104,6	-2,4	4,7

Pozorování chromosféry Slunce 2010												
Fxxx	P.č.	datum	<i>t</i>	Carr.	<i>H</i>	<i>e</i>	<i>R_p</i>	Q	W	<i>L₀</i>	<i>B₀</i>	<i>P₀</i>
	CH025	27. 1. 2010	10:58	2092	2	2	22	5	2	44,5	-5,6	-10,0
	CH026	3. 2. 2010	9:20	2093	4	4	44	4	2	313,2	-6,2	-13,1
F043	CH027-A	21. 2. 2010	10:27	2093	4	6	46	4	2	75,6	-7,0	-19,4
F043-C	CH027-B	27. 2. 2010	12:38	2093	4	3	43	4	2	43,6	-5,7	-10,4
F045	CH028	7. 3. 2010	9:08	2094	7	8	78	5	2	251,9	-7,2	-23,0
F045	CH029	7. 3. 2010	12:51	2094	5	8	58	5	2	249,8	-7,2	-23,0
F047	CH030	18. 3. 2010	6:46	2094	4	6	46	5	2	108,3	-7,1	-24,9
F047	CH031	18. 3. 2010	11:03	2094	6	7	67	5	2	105,9	-7,1	-24,9
F047	CH032	18. 3. 2010	14:15	2094	3	3	33	5	2	104,2	-7,1	-25,0
F047	CH033	23. 3. 2010	10:07	2094	6	6	66	4	2	106,4	-7,1	-24,9
F048	CH034	24. 3. 2010	16:00	2094	4	5	45	4	2	24,1	-6,9	-25,7
F049	CH035	25. 3. 2010	8:36	2094	4	5	45	4	2	15,0	-6,9	-25,7
F051	CH036	28. 3. 2010	11:40	2095	1	2	12	4	2	333,7	-6,8	-25,9
F052	CH037	3. 4. 2010	8:45	2095	4	4	44	4	2	256,2	-6,4	-26,2
F053	CH038	7. 4. 2010	14:56	2095	7	10	80	5	2	200,0	-6,1	-26,3
F054	CH039	8. 4. 2010	15:03	2095	9	12	102	5	2	186,7	-6,1	-26,3
	CH040	15. 4. 2010	12:00	2095	4	4	44	5	2	100,5	-5,6	-26,0
	CH041	16. 4. 2010	12:00	2095	2	3	23	4	2	82,8	-5,5	-26,0
	CH042-A	17. 4. 2010	9:21	2095	4	6	46	4	2	71,1	-5,5	-25,9
	CH042-B	19. 4. 2010	7:38	2095	3	6	36	5	2	45,6	-5,3	-25,7
	CH043	25. 4. 2010	11:03	2096	6	8	68	5	2	324,4	-4,8	-25,0
	CH044	25. 4. 2010	13:21	2096	5	10	60	5	2	323,2	-4,7	-25,0
	CH045	8. 5. 2010	8:17	2096	4	4	44	5	2	154,1	-3,5	-22,7
	CH046	9. 5. 2010	12:00	2096	5	5	55	5	2	138,9	-3,3	-22,4
F055	CH047	22. 5. 2010	13:30	2097	3	3	33	5	2	326,1	-1,8	-18,7
F056	CH048	23. 5. 2010	9:00	2097	6	8	68	5	2	315,4	-1,7	-18,5
F057	CH049	24. 5. 2010	9:00	2097	5	7	57	5	2	302,1	-1,6	4,7
F058	CH050	25. 5. 2010	6:54	2097	4	6	46	5	2	290,0	-1,5	-17,9
F059	CH051	30. 5. 2010	10:20	2097	4	5	45	5	2	219,2	-0,9	-16,1
	CH052	3. 6. 2010	12:00	2097	8	9	89	5	2	168,1	-0,4	-14,5
F060	CH053	4. 6. 2010	8:50	2097	2	3	23	5	2	156,6	-0,3	-14,2
F061	CH054	11. 6. 2010	16:39	2097	6	9	69	5	2	59,7	0,6	-11,2

Pozorování chromosféry Slunce 2010												
Fxxx	P.č.	datum	t	Carr.	H	e	R_p	Q	W	L_0	B_0	P_0
F062	CH055	12. 6. 2010	10:20	2097	2	6	26	4	2	49,9	0,7	-10,9
F063	CH056	24. 6. 2010	17:10	2098	4	4	44	4	2	220,8	2,2	-5,6
F064	CH057	30. 6. 2010	14:00	2098	7	12	82	5	2	169,6	2,8	-3,0
F065	CH058	3. 7. 2010	9:37	2098	4	4	44	4	2	132,4	3,1	-1,7
F066	CH059-A	4. 7. 2010	17:12	2098	3	3	33	3	3	114,9	3,3	-1,0
F067	CH059-B	21. 7. 2010	10:17	2099	5	6	56	4	2	267,0	4,8	5,8
F068	CH060	22. 7. 2010	14:00	2099	5	8	58	5	2	239,1	5,0	6,9
	CH061	25. 7. 2010	10:33	2099	4	8	48	5	2	213,9	5,2	8,1
F069	CH062	31. 7. 2010	12:42	2099	3	8	38	5	2	127,1	5,7	10,3
F070	CH063	3. 8. 2010	15:34	2099	3	6	36	5	2	87,4	5,9	11,5
F073	CH064	9. 8. 2010	8:00	2099	7	16	86	5	2	16,9	6,3	13,6
F074	CH065	10. 8. 2010	7:35	2100	4	8	48	4	2	117,7	6,3	13,9
	CH066	22. 8. 2010	10:11	2100	6	6	66	4	2	203,9	6,9	18,0
F075	CH067	1. 9. 2010	11:00	2100	5	5	55	5	2	64,1	7,2	21,0
F076	CH068	23. 9. 2010	12:20	2101	4	4	44	4	2	133,7	7,0	25,2
F077	CH069	27. 10. 2010	9:20	2102	3	3	33	5	2	53,2	4,9	25,3

Pozorování chromosféry Slunce 2011, 2012												
Fxxx	P.č.	datum	t	Carr.	H	e	R_p	Q	W	L_0	B_0	P_0
F080	CH070	17. 1. 2011	12:00	2105	2	2	22	4	2	44,6	-4,7	-5,4
F084	CH071	6. 6. 2012	3:30	2124	0	0	0	3	2	218,0	-0,1	-13,7

9. Snímky na internetu

Moderní svět bychom si těžko představili bez internetu jako zprostředkovatele informací. Otevřením internetového prohlížeče se můžeme snadno dostat ke snímkům Slunce, nemusíme ani vlastnit dalekohled pro pozorování Slunce. Většina observatoří, odborných pracovišť, sond a astronomů-amatérů má vlastní webové stránky, kde sdílejí napozorovaná data.

Amatérský pozorovatel Slunce je omezen několika faktory:

1. Rotací Země okolo své osy: střídání dne a noci znemožňuje nepřetržité pozorování Slunce
2. Geografickou polohou pozorovacího stanoviště: kvalita pozorování závisí na nadmořské výšce a dané klimatické situaci v místě pozorování. Velké sluneční dalekohledy bývají proto postaveny v místech s velkou nadmořskou výškou a s velmi suchým klimatem (Kanárské ostrovy, Havajské ostrovy, ...)
3. Dostupnou pozorovací technikou: pro velmi detailní pozorování je potřeba technika, která je obvykle mimo finanční možnosti amatérského pozorovatele.
4. Časovými možnostmi pozorovatele se věnovat pozorování.

Prostřednictvím internetu lze tyto faktory eliminovat. Pozemské observatoře a amatérští astronomové pozorují Slunce z různých zeměpisných šířek. V případě nepříznivého počasí lze získat data z vysokohorských observatoří. Pokud by ani toto nestačilo, několik kosmických sond nepřetržitě Slunce sleduje. Nejaktuálnější snímky podává sonda SDO.

9.1. Informace pro začátek

9.1.1. Astronomia.zcu.cz

Astronomický server Fakulty pedagogické ZČU v Plzni zprostředkovává základní teoretické znalosti o astronomii včetně teorie o Slunci.

Odkaz: <http://astronomia.zcu.cz>

9.1.2. Astro.cz

Server České astronomické společnosti poskytuje informace a novinky z astronomie. Na serveru se objevují i články týkající se aktivity Slunce, slunečních sond a nových objevů. Lze zde najít aktuální snímky Slunce z družice SOHO.

Odkaz: <http://astro.cz>

Odkaz: <http://www.astro.cz/obloha/slunce/>

9.2. Pozemní observatoře

9.2.1. CESAR

Zkratka CESAR označuje Centrální Evropský Sluneční Archiv, tento archiv provozuje observatoř Kanzelhöhe v Rakousku. Na hlavní straně jsou k dispozici aktuální kresby slunečních skvrn, snímky fotosféry a chromosféry. Na stránkách je přístupný kompletní archiv pozorování.

Odkaz: <http://cesar.kso.ac.at/>

9.2.2. Observatoř Mt. Wilson

Observatoř Mt. Wilson se nachází v USA a je známá velkou sluneční věží o průměru 4,6 m (150 stop). Na stránkách observatoře je k dispozici archiv pozorování až do roku 1917. Data z pozorování po dobu 93 let dávají dostatečné množství informací o průběhu jednotlivých slunečních cyklů.

Odkaz: <http://www.mtwilson.edu/>

Odkaz: http://www.astro.ucla.edu/~obs/intro.html#other_pages

9.2.3. Observatoř Big Bear

Sluneční observatoř Big Bear se nachází na ostrůvku na Velkém medvědím jezeře v USA. Pozorovací podmínky jsou díky vodní hladině dokonalé. Chloubou observatoře je zrcadlový dalekohled NST (New Solar Telescope) o průměru 1,6 m umožňující detailní pozorování sluneční fotosféry.

Odkaz: <http://www.bbso.njit.edu/>

9.2.4. Observatoř Teide na Tenerife

Na této observatoři byl tento rok dokončen velký zrcadlový dalekohled GREGOR o průměru 1,5 m určený k pozorování fotosféry Slunce. Rozlišení dalekohledu je 70 km. V současné době probíhá zkušební provoz. Zajímavostí je, že na výstavbě spolupracoval Astronomický ústav v Ondřejově.

Odkaz: <http://www.kis.uni-freiburg.de>

9.3. Kosmické sondy

Nejvýhodnější metodou, jak neustále pozorovat Slunce bez rušivých atmosférických jevů, je vyslání kosmické družice na oběžnou dráhu Země. Mezi nejznámější patří družice SOHO a SDO.

9.3.1. SOHO

2. prosince 1995 byla vypuštěna sonda SOHO. Sonda je umístěna v Lagrangeově bodě L1 soustavy Slunce–Země, tato poloha umožňuje neustálé pozorování Slunce v různých oborech spektra. Snímky družicí SOHO jsou pořizovány každých 12 minut, na webovém archivu sondy se zveřejňují snímky 3–4krát za den. Družice snímkuje chromosféru na 4 vlnových délkách: 171, 195, 284 a 304 nm. Ve falešných barvách je Slunce modré, zelené, žluté a oranžové. SOHO snímá Slunce ve viditelném oboru a sleduje změny magnetického pole. Přístroji LASCO C2 a C3 snímá korónu.

Aktuální snímky Slunce: <http://sohowww.nascom.nasa.gov/data/realtime-images.html>

Archiv dat: http://sohodata.nascom.nasa.gov/cgi-bin/data_query

9.3.2. SDO

Sonda SDO byla vypuštěna v lednu 2010. Hlavním cílem je porozumět sluneční dynamice. Od 20. května 2010 přináší družice snímky ve velmi vysokém rozlišení 4096 x 4096. Družice je schopna snímat Slunce v intervalu 10 sekund v 10 různých vlnových délkách. Na webovém archivu jsou snímky zveřejňovány se zpožděním 90 minut v časovém intervalu 20 minut. Tím se sonda SDO stává nejlepším kandidátem na internetové pozorování Slunce.

Aktuální snímky a archiv dat: <http://sdo.gsfc.nasa.gov/data/>

9.4. Amatérská pozorování

Amatérská pozorování měla a mají v pozorování Slunce velkou roli. Amatérští astronomové navazují svými menšími přístroji na dlouhodobé řady pozorování a prodlužují je. Získávají tak kvalitní data pro předpovědi slunečních cyklů.

9.4.1. Spaceweather.com

Server Spaceweather.com se zabývá soustavou Slunce–Země a jevy, které se v této oblasti projevují. Astrofotografové zde publikují své fotografie slunečních skvrn, protuberancí, polárních září, halových jevů.

Odkaz: <http://www.spaceweather.com/>

9.4.2. The Sun Today

Pro aktivního pozorovatel Slunce je tento server zajímavým přínosem informací. Jsou zde publikovány kresby fotosféry a chromosféry, přehledy relativních čísel, efemeridy Slunce, rádiová pozorování a snímky Slunce.

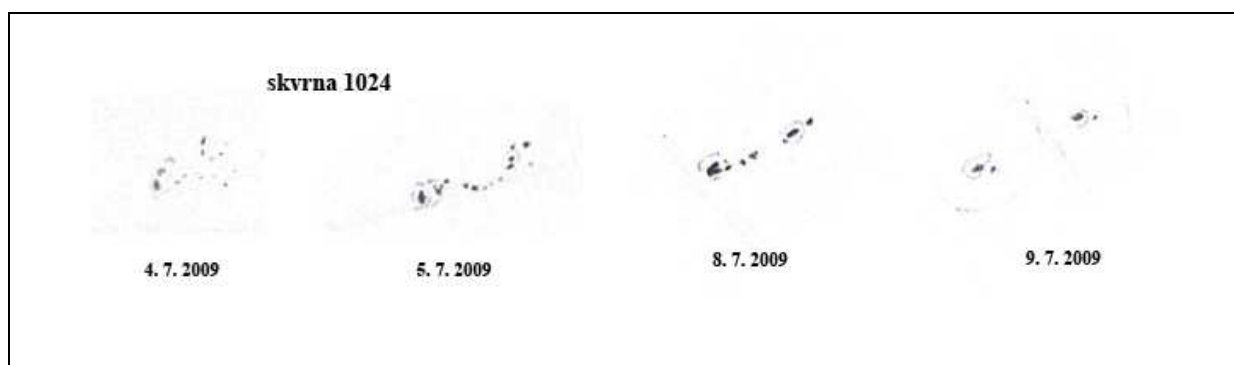
Odkaz: <http://astrosurf.com/obsolar/sun.html>

10. Porovnání výsledků

Svá pozorování sluneční fotosféry a chromosféry jsem zaznamenal do 161 protokolů. První pozorování Slunce jsem uskutečňoval v období minima sluneční aktivity. Během srpna roku 2010 bylo relativní číslo na nulové hodnotě. Během následujících čtyř let se sluneční aktivita postupně zvyšovala do takové míry, že bylo možné, pozorovat skvrny i pouhým okem.

V této části budu uvádět své kresby a fotografie, doplněné o snímky z družice SOHO nebo SDO a dalších zdrojů.

10.1. Denní změna struktury sluneční skvrny NOAA 1024



Sluneční skvrna NOAA 1024 se na Slunci objevila na začátku května 2009, upoutala na sebe pozornost 4. května, kdy z její aktivní oblasti vyšla erupce. Já jsem zachytil tuto skvrnu v průběhu několika dní, kdy měnila svoji strukturu.

Datum	$R_{\text{Jakub Toman}}$	R_{SOHO}
4. 7.	25	24
5. 7.	23	26
8. 7.	20	18
9. 7.	10	15

Skvrna NOAA 1024 se skládala z malých skvrn, které vznikaly a zanikaly. Proto došlo k nepatrnému rozdílu relativních čísel.

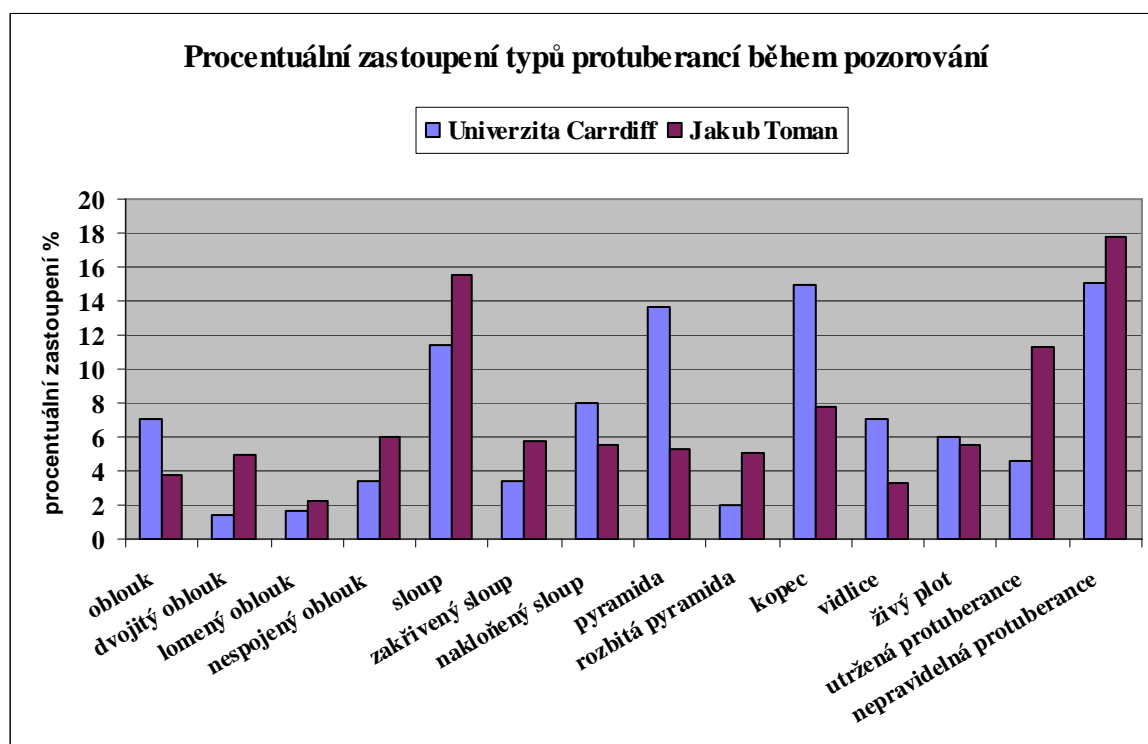
Byly použity protokoly F029, F030, F032 a F033.

10.2. Procentuální zastoupení jednotlivých tvarů protuberancí

Na univerzitě v Cardiffu¹⁸ pozorovali chromosféru a určovali četnost jednotlivých druhů protuberancí. Podle jejich klasifikace jsem určil četnost protuberancí mnou napozorovaných.

Tabulka 19: Četnost jednotlivých tvarů protuberancí³.

pozorovaný typ	Univerzita Cardiff		Jakub Toman	
	počet	celkem %	počet	celkem %
oblouk	25	7,1	17	3,8
dvojitý oblouk	5	1,4	22	4,9
lomený oblouk	6	1,7	10	2,2
nespojený oblouk	12	3,4	27	6,0
sloup	40	11,4	70	15,6
zakřivený sloup	12	3,4	26	5,8
nakloněný sloup	28	8	25	5,6
pyramida	48	13,7	24	5,3
rozbitá pyramida	7	2	23	5,1
kopec	52	14,9	35	7,8
vidlice	25	7,1	15	3,3
živý plot	21	6	25	5,6
utržená protuberance	16	4,6	51	11,3
nepravidelná protuberance	53	15,1	80	17,8
Celkem	350	100	450	100



Obr. 21: Graf zastoupení jednotlivých tvarů protuberancí³

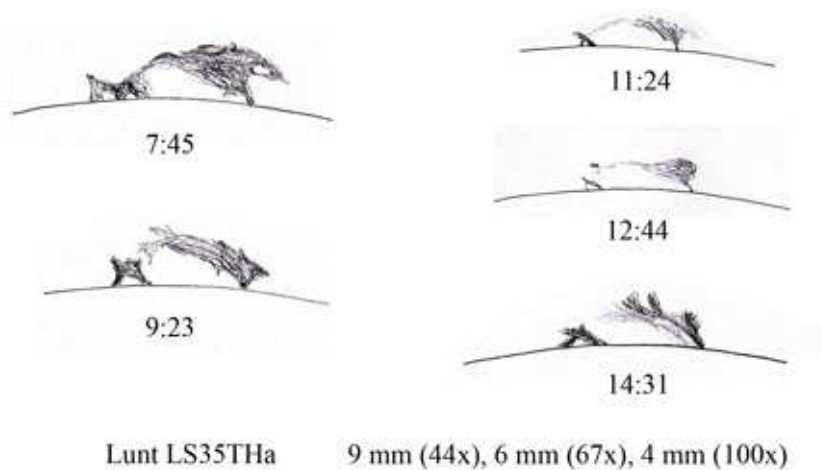
10.3. Vlastní fotografie a snímek družice SOHO skvrny NOAA 1084



Snímek jsem pořídil 30. 6. 2010 14:06 UT digitální zrcadlovkou Canon 350D přes Newton 150/750. Při fotografování byly stabilní atmosférické podmínky, které umožnily dobře zaostřit. V plném náhledu se poloha skvrny shoduje se snímkem z družice SOHO a jsou shodné i polohy fakulových polí.

10.4. Kresba pohybu protuberance 18. 3. 2010

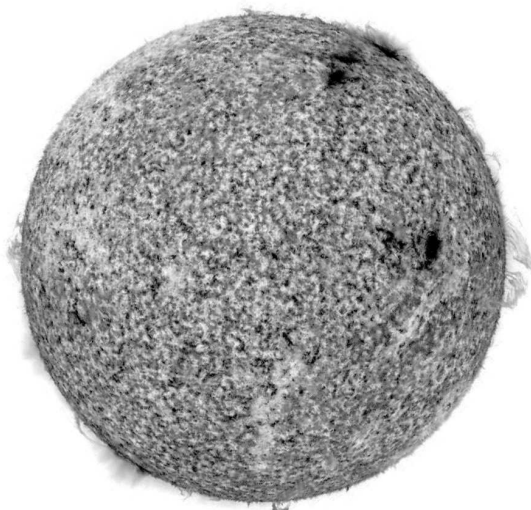
Protuberance 18. 3. 2010



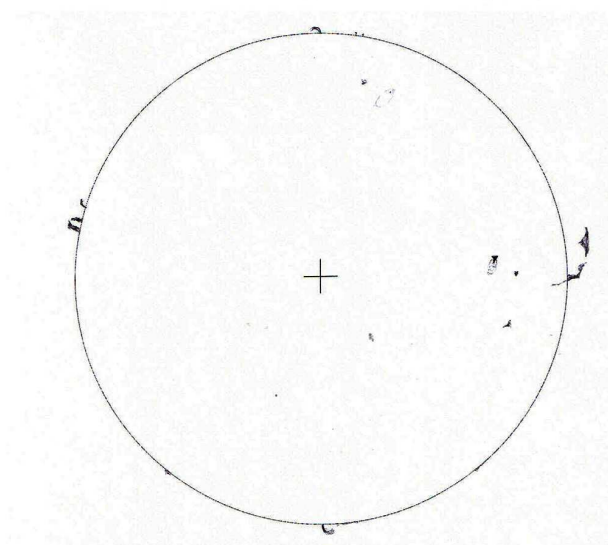
Průběh pohybu protuberance jsem zakreslil v protokolech CH030, CH031 a CH032. Protuberance se měnila v průběhu několika hodin. V počáteční fázi tvořila oblouk, který se postupně roztrhl.

10.5. Porovnání snímku z družice SDO a nákresu v protokolu

Jedná se o protokol CH054 a snímek z 16:29:39 o vlnové délce 304 nm



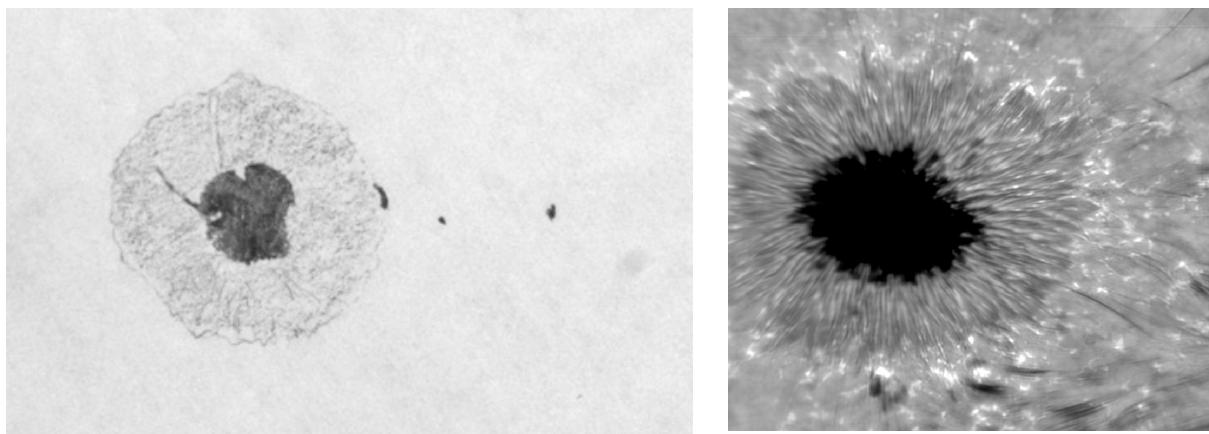
16:29:39



Při porovnání snímků zjistíme, že dalekohled Lunt má omezené možnosti v rozlišení jemnějších struktur hmoty protuberance. Ale hlavní rysy aktivity chromosféry jsou zachovány.

10.6. Detail skvrny NOAA 101092

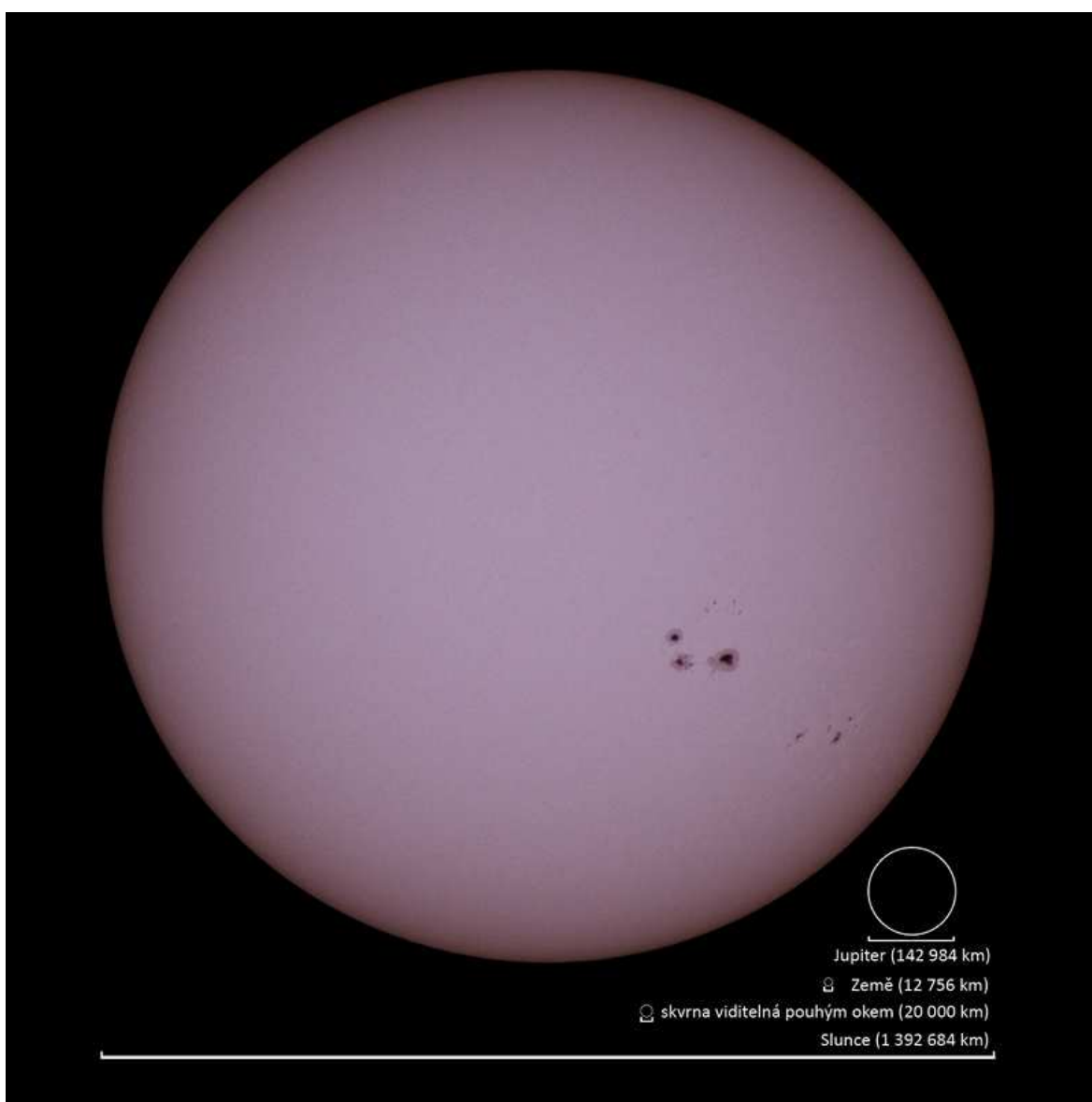
5. srpna 2010 byly na Slunci dvě poměrně velké sluneční skvrny. Za použití dalekohledu ED 120/900 mm, barlow násobiče 2,5x, okuláru Hyperion 3,5 mm (zvětšení 643x) a Herschelova hranolu jsem nakreslil detailní kresbu sluneční skvrny NOAA 101092. Kresbu porovnávám se snímkem z observatoře Big Bear.



Kresba a fotografie byly pořízeny ve stejný den, ale v jiný čas. Na obrázcích je vidět změna ve struktuře umbry a penumbry. Podařilo se mi zachytit i náznak světelného mostu (teplejší hmota z penumbry, která proniká do umbry). Odpozorování toho jevu bylo možné díky kvalitním pozorovacím podmínkám.

10.7. Porovnání velikostí skvrn

Rozměry Slunce a skvrn jsou pro člověka mnohdy nepředstavitelné. Některé snímky Slunce, slunečních skvrn a protuberancí obsahují pro srovnání velikostí měřítko s Zemí nebo planetou Jupiter. Pokud má skvrna větší průměr než 20 000 km je viditelná i pouhým okem. Jedna z posledních skvrn, které byly pozorovatelné pouhým okem, se na Slunci objevila v polovině června. Skvrna byla velikostí na hranici rozlišení lidského oka. Při pozorování jsem „tušil“ náznak této skvrny. Pro ilustraci snímek z 16. června 2010 (složen z 60 dílčích snímků, Canon 1000D v primárním ohnisku dalekohledu Bresner 70/700 mm).



11. Závěr

Cílem bakalářské práce pozorovat chromosféru a fotosféru Slunce a porovnat vlastní pozorování se snímky na internetu. Tento cíl jsem splnil, když zákonem schválnosti se mi povedlo vybrat si téma pozorování Slunce v době, kdy se sluneční aktivita nacházela nečekaně v prodlouženém minimu. I přes tuto nepřízeň osudu jsem odpozoroval několik menších skvrn. Zaměřil jsem se proto na pozorování chromosféry, kterému jsem se předtím nevěnoval. Pozorovací program pro jevy v chromosféře je teprve v plenkách. V českém jazyce je velmi málo materiálů týkajících se praktického pozorování chromosféry. Pro pozorovatelské potřeby jsem přeložil návod z anglického jazyka. Pozorovací protokol pro chromosféru jsem přizpůsobil běžně používanému protokolu pro fotosféru. Stejný průměr protokolů umožní pozorovatelům Slunce v dalším zpracování překrytí obrazu fotosféry a chromosféry a odhalí tak společné znaky obou vrstev.

Prodloužením studia jsem mohl pokračovat v dalším pozorování fotosféry a chromosféry Slunce. I když poslední roky 2011 a 2012 jsem z technických důvodů nemohl v pozorování pokračovat podle mých představ.

Tuto práci postupně převádím do podoby webových stránek <http://slunce.astronomie.cz/> (hostováno na serveru www.astronomie.cz), kde postupně doplňuji další informace k problematice pozorování Slunce.

Vlastním pozorováním jsem zachytil začátek 24. slunečního cyklu a mám tak příležitost od začátku sledovat, jak se bude tento cyklus nadále vyvíjet. Doufám, že si v konkurenci družic, velkých dalekohledů zaměřených na pozorování Slunce a dat dostupných na internetu, najdu prostor na amatérskou odbornou činnost v podobě pozorování Slunce malým dalekohledem.

12. Použité internetové zdroje a literatura

Většina informací pochází z vlastních znalostí a poznámek získaných během studia z předmětů Astronomie, Astronomická pozorování, Teorie astronomických pozorování, Stavba a vývoj hvězd a Sluneční soustava. Komplexní znalosti jsem získal i z četby knih zabývajících se fyzikou a pozorováním Slunce:

KIPPENHAHN, Rudolf: Odhalená tajemství Slunce, Praha: Kolumbus, 1999 280 s ISBN: 80-204-0805-3

KLECZEK, Josip: Život se Sluncem a ve vesmíru: nová věda - bioastronomie, Paseka, Praha a Litomyšl, 2011, 289 s. ISBN: 978-80-7432-075-0

LANG, Kenneth R: Sun from the Space, Springer, 2009 558 s ISBN: 978-3-540-76952-1

STIX, Michael, Sun, Springer, 2002 470 s ISBN: 3-540-20741-4

Ostatní zdroje použité v bakalářské práci odkazují zde:

1. KOF ZČU. Hvězdy : Charakteristika [online] . 2010 [cit. 2010-03-21] . Dostupný z WWW: <<http://astronomia.zcu.cz/hvezdy/slunce/729-charakteristika>>.
2. ŠOLC, Martin, ŠVESTKA, Jiří, VANÝSEK, Vladimír. Fyzika hvězd a vesmíru. 1. vyd. Praha : SPN, 1983. 280 s.
3. Autor bakalářské práce - TOMAN, Jakub
4. LENŽA, Libor: Astronomie pro každého. 1. vyd. Olomouc : Rubico, 2002 352 s ISBN:80-85939-84-9
5. ŠVESTKA, Zdeněk, LINK, František: Slunce a jeho vlivy na Zemi. 1. vyd. Praha : NČAV, 1953. 166 s.
6. PROSECKÝ, Tomáš: Státnice z astronomie a astrofyziky v kostce [online]. 2007 [cit. 2007-05-07] . Dostupný z WWW: <<http://www.asu.cas.cz/~prosecky/data/statnicev12.pdf>>.
7. WESLEY, Addison, Solarcycle. [online] . 2010 Dostupný z WWW: <<http://ircamera.as.arizona.edu/NatSci102/images/solarcycle.jpg>>, upraveno - české popisky TOMAN, Jakub
8. MARTÍNEK, František: Slunce stále beze skvrn [online]. 2009 [cit. 2009-04-29] . Dostupný z WWW: <<http://www.astro.cz/clanek/3742>>
9. ŠVANDA, Michal: Hvězdná aktivita. Astropis, 2005. Speciál. s. 36-40
10. ŠOLC, Martin: Od slunečních skvrn k astrofyzice aneb Milníky historie pozorování a výzkumu Slunce [online]. 2007 [cit. 2009-03-15] <<http://www.astropis.cz/Denik/2007/solc.pdf>>
11. The Galileo Projects. Science. Sunspot Drawings [online] . 2003 [cit. 2009-04-01] . Dostupný z WWW: <http://galileo.rice.edu/sci/observations/sunspot_drawings.html>.

12. ŠVANDA, Michal.: Slunci vstříc (aneb Jak Slunce správně pozorovati a neublížití přítom ani jemu ani sobě), Praha 2001, elektronická podoba:
http://svanda.astronomie.cz/prace/slunci_vstric.zip
13. Hvězdárna Valašské Meziříčí. Vizualní pozorování [online] . [cit. 2010-07-01] .
 Dostupný z WWW: <<http://www.astrovm.cz/cz/odborna-cinnost/pozorovani-slunce/vizualni-pozorovani.html>>
14. ZAJONC, Ivo: Teleskopie - díl jedenáctý (Pomůcky pro přímé pozorování Slunce). [online] . 2009 [cit. 2009-07-01] . Dostupný z WWW:
 <<http://www.astro.cz/article/3554>>
15. HALÍŘ, Karel: Pozorování Slunce. 2006. prezentace
16. Česká astronomická společnost: Sluneční sekce [online] . [cit. 2010-07-01] . Dostupný z WWW: <<http://slunce.astro.cz/osekci.htm>>
17. H-alpha observation program [online] .2005 [cit. 2009-04-12] Dostupný z WWW
 <<http://users.telenet.be/j.janssens/Halpha/Halfaeng.html>>
18. Observed Prominence Types [online] . [cit. 2009-03-30] Dostupný z WWW:
 <<http://www.astro.cf.ac.uk/observatory/solarobservatory/solarprominences/?page=types>>
19. Lunt Solar Systéme: solární dalekohledy [online] .[cit. 2010-07-02] Dostupný z WWW: <<http://www.atc-astro.eu/Luntsolar/>>
20. KIPPENHAHN, Rudolf: Odhalená tajemství Slunce.: Deutche Verlags-Anstalt GmbH, Stuttgart, 1999, překlad Martin Šolce 1999, 279 s.

13. Seznam obrázků

Obr. 1: Vnitřní stavba Slunce ³	6
Obr. 2: Klasifikace slunečních protuberancí ³	12
Obr. 3: Navíjení indukčních čar magnetického pole ⁷	13
Obr. 4 Dopplerovská tomografie ⁹	15
Obr. 5: Kresby slunečních skvrn ¹¹	17
Obr. 6: Protokol pro pozorování Slunce pouhým okem ¹³	20
Obr. 7: Schéma stavby Herschelova hranolu ¹⁴	21
Obr. 8: McIntoshova klasifikace slunečních skvrn ¹²	27
Obr. 9: Klasifikace hlavní skvrny a rozložení skvrn ve skupině ¹²	28
Obr. 10: Vyplněný protokol o průměru 250 mm ¹²	29
Obr. 11: Synoptická mapa ¹⁶	30
Obr. 12: Kontrast obrazu při pohledu do dalekohledu ¹⁷	34
Obr. 13: Volkerova klasifikace protuberancí ¹⁷	36
Obr. 14: Kniselyho klasifikace protuberancí ¹⁷	37
Obr. 15: Perspektiva při pozorování ¹⁸	37
Obr. 16: Vzájemná posloupnost jednotlivých typů protuberancí ¹⁸	41
Obr. 17: Newton 150/750 a sluneční filtr ³	46
Obr. 18: Protokol o pozorování fotosféry Slunce ³	48
Obr. 19: Dalekohled Lunt LS35H ¹⁹	52
Obr. 20: Protokol o pozorování chromosféry Slunce ³	53
Obr. 21: Graf zastoupení jednotlivých tvarů protuberancí ³	62

14. Seznam tabulek

Tabulka 1: Vybrané charakteristiky Slunce ¹	5
Tabulka 2: Závislost optické hloubky na intenzitě záření ⁵	7
Tabulka 3: Znaký a porovnání klidné a erupční protuberance ⁵	11
Tabulka 4: Intenzita viditelnosti skvrn ¹²	20
Tabulka 5: Výhody a nevýhody projekční metody ¹²	22
Tabulka 6: Stupnice pro určení podmínek a kvality pozorování ¹⁵	24
Tabulka 7: McIntoshova klasifikace slunečních skvrn ¹²	26
Tabulka 8: Určení největší skvrny ve skupině – tvar: ¹²	28
Tabulka 9: Určení rozložení skvrn ve skupině – konfigurace ¹²	28
Tabulka 10: Stupnice kvality obrazu ¹⁷	33
Tabulka 11: Stupnice kontrastu obrazu ¹⁷	33
Tabulka 12: Cardiffská klasifikace protuberancí ¹⁸	38
Tabulka 13: Porovnání snímku a videa ³	44
Tabulka 14: Převodní tabulka pro pozorovací dobu v tisícinách dne ¹⁵	47
Tabulka 15: Počet pozorování fotosféry za rok ³	49
Tabulka 16: Pozorování fotosféry ³	50
Tabulka 17: Počet pozorování chromosféry za rok ³	54
Tabulka 18: Pozorování chromosféry ³	54
Tabulka 19: Četnost jednotlivých tvarů protuberancí ³	62

15. Přílohy

Na přiloženém disku CD-ROM se nachází tato bakalářská práce v elektronické podobě, dále jsou přidány naskenované protokoly z pozorování fotosféry a chromosféry Slunce a další obrazové materiály.



16. Resume

The Sun is our nearest star. Inside the sun there are reactions where there is energy important for our lives. The sun has an atmosphere composed of a chromosphere, photosphere and corona. All three layers can be observed. In the photosphere are sunspots. The chromosphere phenomena are called prominences. Observation and survey data anticipate the evolution of the solar cycle.

I watched the sun spots and prominences, and compare them with pictures on the internet. Observation chromosphere I translated the manual data processing.

In observation of the sun I will continue and will monitor developments in the solar cycle.