

Pedagogická fakulta Jihočeské univerzity

Katedra fyziky

Měřicí a výpočetní technika

Slunce
Zázračná hvězda

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

České Budějovice 2007

Anotace

Cílem této bakalářské práce je vytvořit souhrn poznatků z oblasti sluneční fyziky. Práce by měla zachycovat historii výzkumu naší nejbližší hvězdy, až po současnost. Součástí práce je též pokus o vysvětlení procesů v jádru i ve vrchních částech sluneční atmosféry, sluneční aktivita, vznik a vývoj Slunce, vnitřní stavba, pozorovatelné útvary na Slunci i pozorovatelné děje v souvislosti se Sluncem a přístroje pro pozorování Slunce.

Annotation

Aims of this bachelor work is create summary knowledge from areas of solar physicist. Works should catch history of research work naší nextdoor star, up to present day. Part of works attempt at understanding process at the core as well as in top particle solar atmospher, solar activity, rise and process Sun, upcountry structure, watcher organization in the Sun as well as watcher actions in connection with Sun and apparatuses for sightings Sun.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č.111/1998 Sb. platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

23.4.2007-05-02

David Karhan

OBSAH

1. Základní charakteristika.....	7
2. Vznik Slunce.....	9
3. Sluneční záření.....	10
5. Atmosféra Slunce.....	12
5.1. Fotosféra.....	13
5.2. Chromosféra.....	13
5.3. Koróna.....	14
6. Procesy na povrchu Slunce.....	16
6.1. Granulace.....	16
6.2. Supergranulace.....	16
6.3. Sluneční skvrny.....	17
6.4. Umbra.....	20
6.5. Penumbra.....	20
7. Nitro Slunce.....	21
7.1. Jádro.....	21
7.2. Oblast zářivé rovnováhy.....	22
7.3. Konvektivní zóna.....	22
8. Sluneční vítr.....	23
9. Křivka slunečních skvrn.....	24
10. Sluneční aktivita , aktivní oblast.....	26
10.1. Sluneční cyklus.....	26
11. Optické úkazy.....	27
11.1. Polární záře.....	27
11.2. Barva denní oblohy.....	29
11.3. Zemský stín.....	29
11.4. Duha.....	29
11.5. Halový jev.....	30
12. Slunce jako dárce života.....	31
13. Zatmění Slunce.....	32
14. Studium Slunce.....	34
14.1. Prvotní pozorování Slunce.....	35
14.2. Novodobý výzkum.....	36
14.3. Vizuální pozorování Slunce - historie a současnost.....	36
14.4. První fotoelektrický magnetograf a jeho následovníci.....	38
14.5. Princip činnosti magnetografu.....	40
14.7. Družice.....	49
14.8. Aktuální družicové snímky slunce.....	54
15. Další vývoj.....	55
17. Závěr.....	58
18. Seznam obrázků a tabulek.....	59
19. Literatura.....	60

Poděkování

Děkuji mgr.P. Jelínkovi za pomoc v průběhu zpracování bakalářské práce a za jeho trpělivost.

1. Základní charakteristika

Slunce je sice obyčejná hvězda, podobná těm, které vidíme na noční obloze, ale pro nás je velmi důležitá. Bez ní by naše Země byla tmavá a studená a žádný život by na ní nemohl existovat. Slunce je velká rotující koule žhavých plynů, především vodíku. Nechoří však jako obyčejný oheň. Uprostřed Slunce je teplota tak vysoká a tak velký tlak, že atomy plynného vodíku se slučují a vzniká plyn hélium. Podobný děj probíhá ve vodíkové bombě a vzniká při něm velké množství energie. Při tomto procesu ztrácí Slunce každou vteřinu $4 \cdot 10^9$ kg hmoty. Ale Slunce je tak obrovské, že i při tomto úbytku trvalo $4,5 \cdot 10^9$ let, než spotřebovalo polovinu své vodíkové zásoby. Zbývá mu ještě dost vodíku na to, aby zářilo beze změny dalších $5 \cdot 10^9$ let. Slunce vyzařuje svou energii v podobě tepla a světla všemi směry. Každý čtverečný metr na Zemi ozářený Sluncem tak získá více než jeden kilowatt energie. Slunce je nejbližší hvězda Zemi a je zatím jediná, jejíž povrch můžeme detailněji sledovat (povrchem máme na mysli nejspodnější vrstvu, kterou jsme schopni vidět). Jsme na jeho povrchu schopni pozorovat útvary o velikosti desítek a stovek kilometrů. Avšak nitro Slunce můžeme popisovat pouze modely, jež se shodují s pozorováním vnějších projevů Slunce. Slunce je centrální těleso naší sluneční soustavy. Obsahuje zhruba 99,8 % hmotnosti celé sluneční soustavy. Je mohutným zdrojem energie, kterou vyzařuje ve všech oblastech elektromagnetického záření, čímž ovlivňuje všechna tělesa sluneční soustavy. Je to obrovská žhavá plazmová koule. Slunce je hvězda střední velikosti spektrálního typu G, třídy svítivosti V. Díky své průměrné velikosti má stabilní tok zářivé energie, což je důležité pro možný vznik života na Zemi (ve velkých hvězdách probíhají silnější reakce a život hvězdy se tak zkracuje). Energie ve Slunci se získává jadernou syntézou (termonukleární reakce), při které se za obrovských teplot a tlaku přeměňuje vodík v helium. Tok záření nepatrně kolísá v závislosti na úrovni sluneční aktivity. Ve vzdálenosti 1AU činní jeho hodnota $1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Tabulka základních údajů o Slunci

Siderická doba rotace	25 - 36 dnů (doba se zmenšuje od rovníku k pólům)
Synodická rotace vůči Zemi (průměr)	27, 275 dnů
Vzdálenost od Země-střední	přibližně 149 500 000 km (= 1 AU)
Rovníkový poloměr	695 000 km
Hmotnost	$1,989 \cdot 10^{30}$ kg
Úniková rychlost	$618,02 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$
Zdánlivá magnituda	-26,8 mag
Zářivý výkon	$3,7 \cdot 10^{26} \text{ W}\cdot\text{s}^{-1}$
Střední hustota	$1,410 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Stáří	$4,5 \cdot 10^9$ let
Teplota - v jádře	15 000 000 °C
- na povrchu	5500 °C
- ve skvrnách	4000 °C
- ve fakulích	7000 °C
Složení	92,1% vodíku
	7,8% helia
	0,061% kyslíku
	0,03% uhlíku
	+ ostatní chemické prvky

2. Vznik Slunce

Před pěti miliardami let nebyla ani Země ani Slunce. Místo nich byl rozsáhlý oblak velmi studeného a velmi řídkého plynu. Světlo by muselo letět půl roku aby takovým oblakem proletělo. Tomuto obrovskému oblaku prachu a plynů říkáme mateřská mlhovina nebo sluneční mlhovina.

Prachoplynný oblak v mezihvězdném prostoru měl zpočátku hustotu a teplotu ve všech místech stejnou. V té době se mateřská mlhovina začala svou vlastní gravitací pozvolna smršťovat. Prachová zrníčka i molekuly plynů se navzájem přitahovaly gravitační silou při teplotě zhruba 5 K. Při smršťování se mlhovina zahřívala podobně jako vzduch v hustilce při stlačení. Zvláště ve středu mateřské mlhoviny vzrůstala hustota a teplota. Po uplynutí 390 000 let se vlastní gravitací zahustily středové části asi stonásobně. Z okrajových částí padal materiál volným pádem do středu. Po zhruba 423 000 letech se uprostřed centrální zhuštění postupně tvořilo ještě hustší jádro, volný pád plynu a prachu, gravitace i smršťování se zpomalily. Tam vzniklo Slunce, které pozvolna začínalo zářit. Nejdříve bylo tmavě červené jako rozpálená kamna. Když teplota dosáhla 15 000 000 K stalo se Slunce „dospělým“ Sluncem.

Za teploty 15 000 000 K a hustot 100x větších než hustota vody a 10^7 x vyšší než původní, vzrostl tlak v nitru natolik že zastavil další smršťování. V tak žhavém a hustém plasmatu se vodík začal měnit na helium. To způsobilo podstatnou změnu ve vývoji Slunce. Tehdy přestalo smršťování v důsledku vlastní gravitace a Slunce začalo uvolňovat svou energii jadernými reakcemi. Už nepotřebovalo vlastní gravitaci, která jeho nitro předtím zahřála z obrovského mrazu až na teplotu 15 000 000 K. Ze zbytků mlhoviny se vytvořily planety.

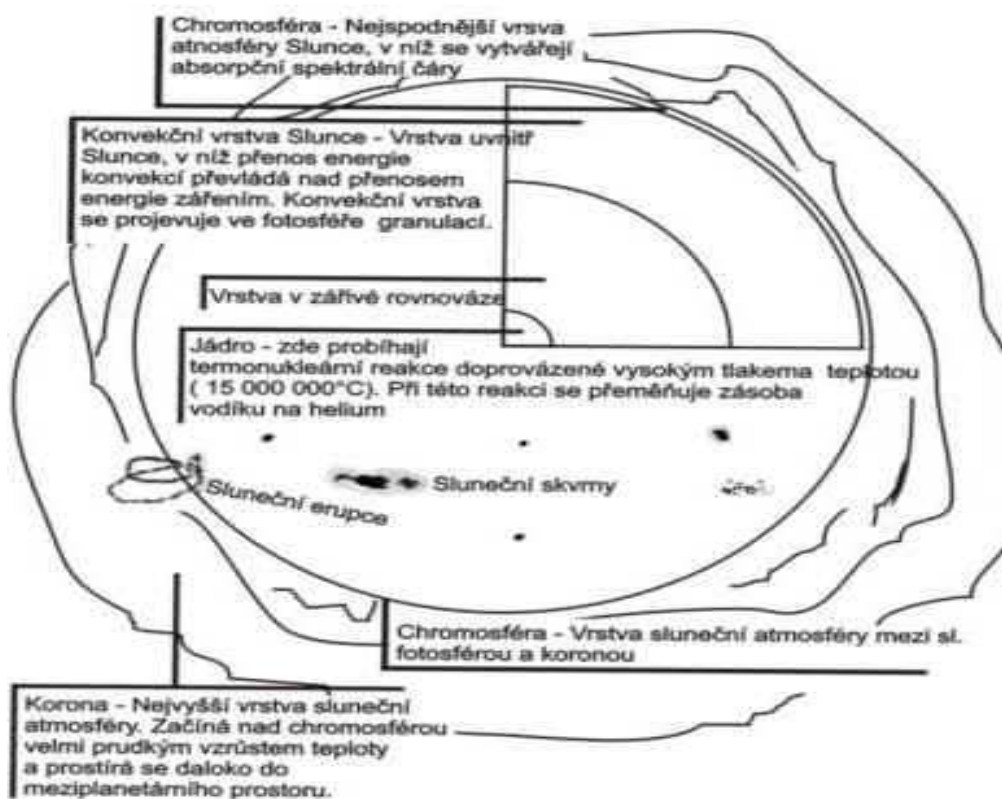
Astronomové zjistili, že energie Slunce se uvolňuje z jeho jádra. Energie proudí ven velmi pomalu, milióny let trvá, než dosáhne povrchu Slunce. V poslední části své cesty je energie vynášena horkými plyny na povrch, který se nazývá fotosféra. Podmínky ve slunečním jádru (přibližně vnitřních 25% jeho poloměru) jsou extrémní. Teplota dosahuje 15, 6 miliónů Kelvinů a tlak je 250 miliard atmosfér. Plyny v jádru jsou stlačeny tak, že mají 150x větší hustotu než voda.

3. Sluneční záření

Sluneční světlo je bílé. Ve skutečnosti se ale skládá z mnoha rozdílných barev. Soubor jednotlivých barev - spektrum - lze pozorovat například jako duhu při dešti. Pozorujeme-li podrobně sluneční spektrum speciálními přístroji, objevíme množství uzoučkových čar. Tyto čáry přísluší jednotlivým chemickým prvkům, ze kterých se Slunce skládá. Viditelné světlo je pouze jednou oblastí elektromagnetického záření. Záření, která mají kratší vlnovou délku než fialové světlo, naše oko nevnímá. Nazýváme jej ultrafialové. To nám umožňuje se v létě opalovat. Na opačném konci viditelného světla se nachází záření s vlnovou délkou větší, než je vlnová délka viditelného červeného světla. Nazýváme jej infračervené a známe ho jako tepelné záření. V této oblasti září například rozžhavená plotýnka elektrického sporáku. I když máme dojem, že Slunce k nám vysílá jen viditelné světlo, přesto vyzařuje elektromagnetické záření všech vlnových délek. Vzhled Slunce v jiných částech spektra než ve viditelném světle je velmi odlišný od pohledu na Slunce pouhým okem. Například v rentgenovém nebo rádiovém oboru spektra se Slunce nejeví jako jednolitý kotouč, ale jsou zde oblasti, které září intenzivněji než jiné části povrchu.

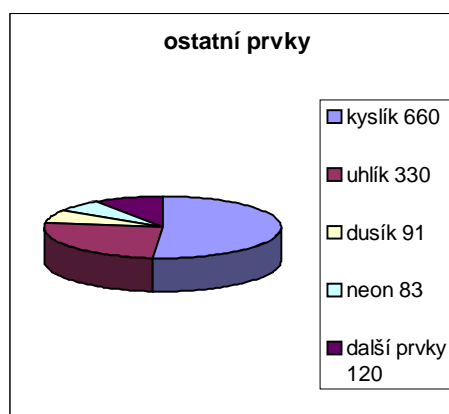
4. Stavba slunce

Schéma Slunce



Obrázek 1: stavba Slunce

Poměr prvků ve složení Slunce



5. Atmosféra Slunce

Sluneční atmosféra je vnější viditelná část Slunce, obklopující nitro. Díky tomu, že je atmosféra Slunce řidší než vzduch, může z ní uniknout záření do okolního prostoru. Navzdory tomu, že je sluneční atmosféra mnohem větší než nitro, tvoří pouze jednu desetimiliardtinu sluneční hmotnosti. Nejnižší vrstva atmosféry je sluneční fotosféra. Nad fotosférou leží chromosféra. Nejvyšší vrstvu Slunce tvoří koróna. Je to velmi horká a řídká oblast. Z koróny neustále unikají ionty a elektrony, jenž tvoří sluneční vítr. Občasné prudké zesílení slunečního větru se nazývá koronální výron. Sluneční vítr zasahuje daleko do sluneční soustavy až k Ortovu oblaku. Oblast kolem Slunce zaplněná slunečním větrem se nazývá heliosféra.

Souhrnné údaje o sluneční atmosféře
tlak na povrchu fotosféry: 0, 868 Pa
teplota na dně fotosféry: 6600 K
efektivní teplota: 5778 K
teplota na povrchu fotosféry: 4400 K
tloušťka fotosféry: 300 km
teplota vrchní chromosféry: 30 000 K
tloušťka chromosféry: 8000 km

Tabulka 1 : údaje o sluneční atmosféře

Sluneční atmosféru můžeme podle fyzikálních vlastností rozdělit na tři vrstvy:

1. Fotosféra
2. Chromosféra
3. Koróna

5.1. Fotosféra

Fotosféra je vnější vrstva slunečního povrchu, ze které přichází viditelné záření. Její tloušťka je asi 300 km.

Z jejího pozorování jsou odvozené fyzikální vlastnosti Slunce. Nachází se bezprostředně nad konvektivní zónou. Na dně fotosféry přestává působit vztlaková síla, která způsobuje konvekci a my její jevy pozorujeme jako granulaci, supergranulaci a oscilaci v případě klidného Slunce a jako skvrny v případě aktivního Slunce.

Tato vrstva má na své spodní hranici teplotu přibližně 6000 K a na horní hranici 4300 K – což je teplotní minimum. S výškou klesá hustota a tlak plynu, ale vzrůstá neprůzračnost, proto vzrůstá pohlcování záření. Většina slunečního záření se vyzařuje z fotosféry, přičemž maximum záření připadá na viditelnou část spektra. Ve fotosféře zároveň můžeme též pozorovat tzv. Fraunhoferovy absorpční spektrální čáry. Tyto spektrální čáry jsou nazvané podle J. Fraunhofera, který je podrobně popsal a katalogizoval roku 1815. Nejvýraznější Fraunhoferovy čáry byly označeny písmeny A až K ve směru od dlouhovlnného červeného konce až po krátkovlnný modrý konec viditelné oblasti spektra.

5.2. Chromosféra

Chromosféra je střední oblast sluneční atmosféry. Její tloušťka je přibližně 10000 – 16000 km. V ní se v rozmezí několika tisíc kilometrů teplota zvyšuje ze 4300 K na milión kelvinů. Spodní část chromosféry je poměrně rovná. Ve střední části vznikají tzv. spikule. Hranice mezi korónou a chromosférou není ostře ohraničená a v oblasti bez spikulí splývá s horní hranicí střední chromosféry. Chromosféru můžeme pozorovat buď při zatmění Slunce (tehdy můžeme pozorovat i bleskové spektrum) nebo pomocí spektroheliroskopu nebo pomocí monochromatických filtrů v čarách vodíku či vápníku. Ve světle vodíkové čáry H nebo čáry K ionizovaného vápníku můžeme pozorovat chromosférickou síť. Vytvářejí jí hranice supergranulí, na kterých je zesílené magnetické pole. Nad aktivními oblastmi se v chromosféře pozorují sluneční erupce trvající několik minut.

5. 3. Koróna

Vznik jednotlivých složek záření koróny:

1. Koróna *K*: (kontinuální, spojitá) elektronová koróna neboli koróna spojitého spektra vzniká rozptylem fotosférického světla na volných elektronech koróny
2. Koróna *F*: Fraunhoferova, neboli prachová koróna vzniká rozptylem záření na relativně těžších částicích meziplanetárního prachu a ve spektru se vyskytují Fraunhoferovy čáry.
3. Koróna *E*: emisní koróna vzniká emisí (vyzařováním) iontů koronálního plynu. Nejvýraznější spektrální čáry, ve kterých se pozoruje koróna, jsou:

Červená čára (637, 4 nm, iont Fe X) – je charakteristická pro klidné oblasti Slunce a minimum 11-letého slunečního cyklu.

Zelená čára (530, 3 nm, iont Fe XIV) – pozorujeme ji v aktivních oblastech

Žlutá čára (569, 4 nm, iont Ca XV), která se vyzařuje v oblastech blízko erupcí a nad obrovskými skvrnami

Vzhledem k vysoké teplotě a jejímu malému výškovému poklesu (gradientu teploty) se koróna neustále rozpíná všemi směry do meziplanetárního prostoru a tak vzniká sluneční vítr. Sluneční vítr je tedy tok elementárních částic koronálního plazmatu. V okolí Země dosahuje nadzvukové rychlosti okolo $400 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. Jeho hustota je v závislosti na aktivitě Slunce 10 - 100 částic na cm^3 .

Rozpínající se plazma vynáší siločáry slunečního magnetického pole, čímž se tvoří meziplanetární magnetické pole.

Chromosféra a koróna pohlcují jen nepatrné množství zářivé energie vyzařované z fotosféry. Tyto vrstvy jsou pro záření značně průhledné, proto bychom očekávali

spíše pokles teploty se vzrůstající výškou. Ve skutečnosti je to ale právě naopak. Tento jev označujeme jako problém zahřívání koróny. Částečně tento problém vysvětlujeme zvukovými vlnami a oscilacemi, které přenášejí energii do vyšších vrstev. Mechanická energie granulací se na horní vrstvě konvektivní zóny mění na zvukové vlny.

6. Procesy na povrchu Slunce

6. 1. Granulace

Granulace na povrchu Slunce má buněčnou strukturu, která je tvořena jasnými granulemi a tmavým mezigranulovým prostorem. Granule mají nepravidelný, často mnohoúhelníkový tvar o průměru 1 - 2". Jednotlivé granule od sebe navzájem oddělují tmavé mezigranulové pruhy o průměrné šířce 0,4".

Granulace je způsobena konvekcí sluneční hmoty, o čemž svědčí vertikální výstupní proudění o velikosti $0,4 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ uprostřed jednotlivých granulí, jakož i horizontální proudění roztékajícího se plazmatu rychlostí $0,25 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. Rychlost samozřejmě fluktuuje a její fluktuace se zmenšují s rostoucí výškou ve fotosféře. Střední kvadratická fluktuace rychlosti je $0,8 \pm 0,2 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$.

Průměrná životnost jednotlivých granulí se pohybuje kolem 8 minut, v ojedinělých případech může jednotlivá granule vydržet až 15 minut. Během svého vývoje mění granule svůj jas a to v závislosti na výšce v atmosféře. Střední hodnota fluktuace granulí je 0,09 - 0,13 průměrného jasů spojitěho záření.

Mnoho granulí vybuchuje. Tento jev je charakterizován zvyšováním jasů granule a rozpínáním rychlostí $1,5 - 2,0 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. Vybuchující granule vytvářejí prstenec, který se rozpadne na několik částí. Doba tohoto často pozorovatelného jevu je asi 10 minut.

6. 2. Supergranulace

Supergranulace je systém velkorozměrných buněk (řádově 30 000 km) se stejnou rychlostí, které můžeme pozorovat ve fotosféře dále od centra slunečního disku jako obraz horizontálních pohybů. Tento obraz zůstává podobný po celou fázi slunečního cyklu v klidných oblastech. V aktivních oblastech buňky zvětšují svůj rozměr až o 10 %.

Horizontální pohyby v oblastech magnetického pole na hranicích supergranulačních buněk mají charakteristickou rychlost $0,3 - 0,4 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ a klesající vertikální pohyby přibližně $0,1 - 0,2 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. Stoupavé proudy v centrech buněk

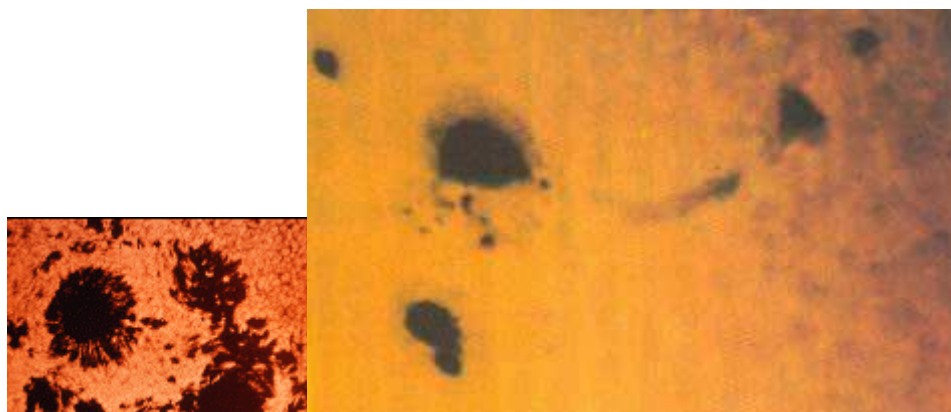
klesají s výškou a mají ještě menší hodnotu. Doba života jednotlivých buněk je pravděpodobně 1 - 2 dny.

Původ těchto buněk je pravděpodobně konvektivní a shodují se s buňkami konvektivní zóny velkých rozměrů. Supergranulace není viditelná v optickém spektru a jen velmi málo v infračerveném. Pozorovatelná je díky doplerometrům.

6. 3. Sluneční skvrny

Prvním, kdo dalekohledem na Slunci spatřil sluneční skvrny a tento svůj objev též publikoval, byl Johannes Fabricius. Skvrnu spatřil 9. března 1611 spolu se svým otcem a tento objev zveřejnil téhož roku. Sluneční skvrny pozoroval dalekohledem již 8. prosince 1610 anglický matematik a filozof Thomas Harriot, avšak ten svůj objev nepublikoval.

Sluneční skvrny samozřejmě byly pozorovány již dříve, o čemž svědčí záznamy z čínských letopisů, kde je zhruba 45 zpráv o slunečních skvrnách, a to již v době 301 př. n. l. až 1205 n. l. Z evropských záznamů je to například zpráva Einharda, životopisce Karla Velikého, který v roce 807 n. l. psal o přechodu planety Merkur přes sluneční disk, který trval 8 dní. Zde muselo jít zřejmě o velikou sluneční skvrnu nebo skupinu skvrn, neboť Merkur přes sluneční disk přejde zhruba za 0,5 dne. Sluneční skvrnu spatřil i Johannes Kepler, a to 28. května 1607, obdobou dírkové komory společně se svým přítelem Martinem Bacháčkem. O tomto svém objevu později též informoval Davida Fabricia J.




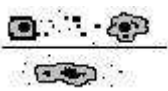












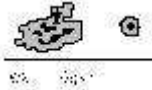
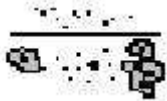
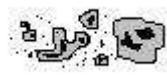
Obrázek 2 :sluneční skvrny

Sluneční skvrny jsou oblasti fotosféry se sníženou teplotou, zářením a tlakem plynu. Obsahují koncentrovaný magnetický tok intenzity 0, 2 - 0, 4 T. Většinou se skládají z jádra - tmavé umbry a obálky - o něco světlejší penumbry. Velikost slunečních skvrn je od 1" do 1'. Skvrna narůstá rychlostí do 100 milióntin plochy

slunečního disku za den. Dlouhotrvající skvrny se rozpadají rychlostí téměř konstantní a hodnota činí 6 milióntin plochy slunečního disku za den.

Sluneční skvrny často vytvářejí skupiny, ve kterých se může vyskytovat až několik desítek skvrn jak s bipolárním, tak i s unipolárním uspořádáním. Magnetický tok velké skvrny je přibližně 10^{13} Wb. Magnetický tok velké skupiny skvrn činí až 10^{14} Wb.

McIntoshova klasifikace		
1) Vývojový typ skupin slunečních skvrn		
Typ	Popis	Ukázka
A	Malá skvrna bez penumbry (krátká doba existence – zánik nebo rozvoj)	
B	Bipolární skupina skvrn bez penumbry	
C	Bipolární skupina skvrn. Ve skupině je jedna skvrna obklopena penumbrou (obvykle na jednom konci skupiny)	
D	Bipolární skupina skvrn s penumbrami. Délka však nepřesahuje 10° heliografické délky. Do této třídy mohou patřit také třídy C a H, ale to v případě, že vedoucí skvrna přesáhne 5° v délce.	
E	Bipolární skupina skvrn s penumbrami. Skupina je složitější a větší než 10° , ale nepřesahuje 15° délky.	
F	Velká a složitá skupina skvrn s mohutnými penumbrami. Skupina přesahuje 15° v heliografické délce.	
H	Skupina skvrn s jednou penumbrou. Ostatní skvrny penumbru nemají a jsou vzdálené nejvíce $3''$.	
2) Rozdělení podle tvaru penumbry největší skupiny ve skvrně		
Typ	Popis	Ukázka
x	Jedna skvrna bez penumbry	

r	Penumbra je v zárodku (penumbra má obvykle šířku 3“)	
s	Symetrická, téměř kruhová penumbra. Umbry vytvářejí kompaktní shluk v centru skvrny. Průměr skvrny nepřesahuje 2,5°.	
a	Asymetrická nebo nekomplexní skvrna. Velikost nepřesahuje 2,5°. Tvar je protáhlý a není kruhový. Ve skvrně jsou dvě umbry nebo více, které obklopuje penumbra.	
h	Velká symetrická skvrna přesahující 2,5°. Kromě velikosti je vše podobné jako u typu „s“.	
k	Velká asymetrická skvrna větší než 2,5°. Kromě velikosti je vše podobné jako u typu „a“.	
3) Konfigurace slunečních skvrn ve skupinách		
x	Jednoduchá skvrna	
o	Otevřená skupina skvrn. Oblast mezi vedoucí a koncovou skvrnou je bez skvrn. Zdá se, že je skupina rozdělená na dvě oblasti.	
i	Přechodná konfigurace skvrn. Skvrny mezi vedoucí a koncovou skvrnou nemají významnou penumbru.	
c	Kompaktní konfigurace skvrn. Mezi vedoucí a koncovou skvrnou leží skvrny s penumbry.	

Tabulka 2: sluneční skvrny

6. 4. Umbra

Umbra je tmavé jádro sluneční skvrny a představuje průměrně 17 % celkové plochy skvrny. Jas umbry je zhruba 5 - 15 % jasu fotosféry ve viditelném světle. Její jas roste od fialové do červené části spektra, avšak nezávisí na velikosti umbry. Teplota umbry je 3 700 K.

Uvnitř umbry byly zjištěny různé jevy: jemná struktura, pohyby, body, umbrové oscilace, umbrové výbuchy.

6. 5. Penumbra

Penumbra je vnější částí sluneční skvrny (polostín). Při vyšším rozlišení je patrné, že se skládá z jasných protáhlých zrn, které vytvářejí úzká jasná vlákna na tmavém pozadí. Délka těchto zrn je 0,5 - 2,0 " a šířka je menší než 0,5 ". Vzdálenost mezi jednotlivými vlákny je 0,5 - 1,0 " a u skvrn s pravidelným tvarem mají radiální charakter.

Zrna se vytvářejí po celé penumbře a pohybují se směrem k umbře horizontální rychlostí, která je maximální na hranici umbry, kde její hodnota činí asi $0,5 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. Životnost zrn se odhaduje na 40 minut až 3 hodiny a závisí na místě jejich vzniku. Průměrný jas zrn na vlnové délce 528 nm je 95 % jasu fotosféry, jas tmavého pozadí je 60 % jasu fotosféry. Teplota ve vnějších částech penumbry je 6 310 K a 5 715 K.

Zrna pokrývají 43 % plochy penumbry. Střední hodnota jasu penumbry se pohybuje od 64 % jasu fotosféry pro vlnovou délku 387 nm do 72,5 % jasu fotosféry pro vlnovou délku 510 nm a dále roste až na 93,6 % jasu fotosféry pro vlnovou délku 3 800 nm.

7. Nitro Slunce

V současném standardním modelu Slunce předpokládáme, že jeho nitro se podle fyzikálních podmínek dělí na tři vrstvy:

1. centrální oblast – jádro
2. oblast zářivé rovnováhy
3. konvektivní zóna

7. 1. Jádro

V něm probíhají za vysokých teplot (zhruba 15 miliónů kelvinů) hlavně protonovo-protonové jaderné reakce, tzv. p-p cyklus. Tento cyklus se skládá ze tří fází, během kterých dojde k přeměně vodíku na hélium.

1. reakce: ${}^1\text{H} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^2\text{D} + e^+ + \nu (+ 1,44 \text{ MeV})$

Zde při srážce dvou jader vodíku vzniká deutérium, pozitron a neutrino.

2. reakce: ${}^2\text{D} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^3\text{H} + \gamma (+ 5,49 \text{ MeV})$

Při této reakce se deutérium po srážce s vodíkem mění na hélium a vzniká záření γ

3. reakce: ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2 {}^1\text{H} (+ 12,85 \text{ MeV})$

Zde dvě jádra hélia umožňují vznik jednoho jádra hélia a dvou protonů.

K uskutečnění 3. reakce se musí 1. a 2. reakce uskutečnit dvakrát. Výsledná uvolněná vazebná energie je tedy:

$$2 \cdot 1,44 \text{ (1.reakce)} + 2 \cdot 5,49 \text{ (2.reakce)} + 12,85 \text{ (3.reakce)} - 2 \cdot 0,26 \text{ (neutrino)} - 26,19 \text{ MeV}$$

což je $4,2 \cdot 10^{-12} \text{ J}$.

Při teplotách vyšších než 17 miliónů kelvinů mohou nastat úplně odlišné reakce, pomocí kterých dochází k přeměně vodíku na hélium. Při těchto reakcích je však jako katalyzátor použitý uhlík, dusík a kyslík, podle kterých má tento cyklus název CNO.

7. 2. Oblast zářivé rovnováhy

V této oblasti se energie z termonukleárních reakcí šíří směrem ven rozptylem záření. Energie uvolněná v jádře ve formě gama-záření se postupně mění na záření s většími vlnovými délkami, protože se zde mnohonásobně fotony pohltí a opět vyzáří. Jeden gama foton vyzářený ve středové oblasti se tedy po pohlcení opět vyzáří, avšak v podobě více fotonů s nižší energií, přičemž součet energií vyzářených fotonů se rovná energii pohlceného gama fotonu (platí zde zákon zachování energie). Toto se děje mnohokrát a díky tomuto není přenos energie přímočarý – fotony se často vyzařují směrem zpět do centrální oblasti. Z tohoto důvodu trvá přenos energie od středu Slunce po fotosféru až miliony let.

7. 3. Konvektivní zóna

Ve vzdálenosti přibližně 0, 8 poloměru Slunce od slunečního středu se fyzikální podmínky mění natolik, že zde převládá přenos energie prouděním (konvekcí). Teplota nestačí na ionizaci plynu a volné elektrony se začínají spojovat s jádry atomů a vytvářejí se tak neutrální atomy. Díky tomuto se zvyšuje schopnost plynu pohlcovat energii a roste tak jeho neprůzračnost. Toto ztěžuje přenos zářivé energie z hlubších vrstev a způsobuje zvýšený pokles teploty. V důsledku tohoto velikého poklesu teploty látka nemůže zůstat v klidu a nastává promíchávání plynu – konvekce.

Vztlaková síla vynáší horké masy plynu z vnitřních vrstev Slunce na povrch, tam se vyzářením energie ve formě světla ochlazují a opět klesají do hlubších vrstev. Konvekce vyvolává některé projevy sluneční činnosti, např. granulaci, protuberance, skvrny, sluneční vítr atd. S tímto souvisí i vznik zvukových, magnetohydrodynamických a gravitačních vln, které se zúčastňují na přenosu energie do vyšších vrstev sluneční atmosféry a způsobují zvýšení jejich teploty.

8. Sluneční vítr

Sluneční vítr vzniká tak, že ze sluneční koróny uniká do meziplanetárního prostoru nepřetržitý proud částic (elektronů, protonů, atomových jader). Rychlost částic není konstantní, protože je určována složitým magnetickým polem na povrchu Slunce. Obvyklá rychlost slunečního větru je v rozmezí $300 - 700 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ a hustota je $3 \cdot 10^7 - 1,5 \cdot 10^8 \text{ m}^{-3}$. Působením slunečních erupcí se rychlost a hustota slunečního větru zvětšuje. Sluneční vítr obtéká magnetosféru naší Země, ale v polárních oblastech může nastat situace, kdy sklouzne podél magnetických siločar do vysoké atmosféry a způsobí tím polární záři. Kolísání rychlosti slunečního větru má vliv na změnu tlaku na návětrnou stranu magnetosféry. Magnetické siločáry jsou nárazovitě stlačovány a to se projeví jako geomagnetická aktivita. Proměnlivé pole indukuje elektrické pole okolo Země, které nepříznivě působí na družice, telekomunikace, rozvod elektrické sítě a na zdravotní stav některých jedinců.

Existují 3 druhy slunečního větru:

1. *Pomalý kvazistacionární* (téměř ustálený) - vítr unikající úzkými koronálními paprsky a široko koronálními proudy
2. *Rychlý kvazistacionární* vítr z koronálních děr
3. *Přechodný velmi rychlý* vítr - jeho zdrojem jsou výbuchy na Slunci. V meziplanetárním prostoru se jeví jako meziplanetární bouře. Od klasického větru se liší vysokou rychlostí, velkým obsahem helia, nízkou teplotou.

9. Křivka slunečních skvrn

Výskyt slunečních skvrn na Slunci se měří pomocí relativního neboli Wolfova čísla. Protože se počet skupin i počet skvrn v jednotlivých skupinách mění ze dne na den, mění se i relativní číslo R. Protože denní relativní čísla za několik let by vytvořila nepřehlednou řadu, užívá se tzv. průměrná měsíční relativní čísla. Vypočteme je součtem R za měsíc a dělením počtem dní.

Vzorec pro výpočet R :

$$R = k \cdot (10 G + g)$$

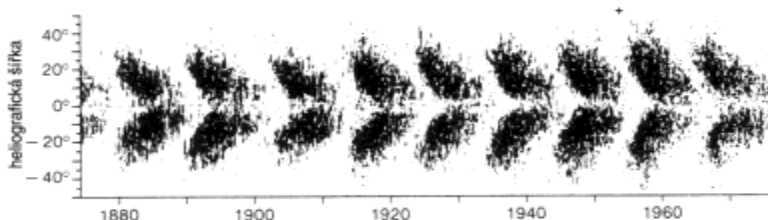
k – koeficient pozorovatele

G - počet skupin sl. skvrn

G – celkový počet skvrn ve všech skupinách

V případě změn slunečních skvrn za několik století užíváme roční relativní číslo, které se vypočítá stejně jako měsíční jenže se sečtou R za rok a dělí se počtem dní v roce.

Jestliže znázorníme relativní čísla na časové ose dostaneme křivku slunečních skvrn. Nejnižší místa na křivce skvrn se nazývají sluneční minima. Vrcholy křivky se nazývají sluneční maxima. Probíhající maximum 23. cyklu sluneční činnosti se projevilo řadou skvrn, viditelných na povrchu Slunce očima. K nejlepším patřila skvrna, rozpoznaná 3. 3. 2000 a další, zpozorovaná 22. 9. 2000. Dne 14. 7. 2000 v 10: 24 UT vzplanula na Slunci nejmocnější erupce (klasifikace X6) od března 1989, jež o necelé 3 dny později způsobila díky koronální kondenzaci směřující k Zemi nápadné efekty v zemské atmosféře a magnetosféře.



Obrázek 3 :Motýlkový diagram Sluneční činnosti

Zejména pak oslepila dočasně detektory družice ACE a roztočila japonskou rentgenovou družici ASCA tak, že se stala trvale nepoužitelnou. I mnohé další družice včetně systému GPS přestaly na několik hodin pracovat a magnetická bouře intenzity G5 trvala na Zemi plných 9 h. Doprovodná polární záře byla pozorovatelná v USA až v Texasu. Na mnoha místech v USA a Kanadě došlo k poruchám dálkových elektrických vedení.

Motýlkový diagram ukazuje rozložení skvrn na povrchu Slunce, resp. jejich heliografickou šířku, v průběhu několika cyklů. Na svislé ose je heliografická šířka skvrn, na vodorovné ose čas. Každá skvrna je zakreslena malou tečkou. Po minimu cyklu se skvrny začínají vyskytovat ve vyšších heliografických šířkách, zhruba u 30 stupňů severní i jižní šířky, prakticky symetricky na obou polokoulích. V průběhu cyklu se místa nejčastějšího výskytu skvrn přibližují z obou stran k rovníku a ke konci cyklu počet skvrn klesá. Prakticky zároveň se začínají objevovat ve vyšších šířkách skvrny nového cyklu.

10. Sluneční aktivita , aktivní oblast

Skvrny se objevují na povrchu Slunce v těch místech, kde se z nitra vynoří silné magnetické pole. Magnetické pole uvede v atmosféře Slunce vše do pohybu. V chromosféře a koruně vznikají erupce. Z chromosféry vytrysknou velkou rychlostí výtrysky a spreje. Některá místa ztmavnou (skvrny) a jiná se rozzáří (erupce). V koruně je při erupci plazma zahřáto na krátkou chvíli až na 50 000 000 K. Naopak, ve smyčkových protuberancích plazma chladne z 10 000 000 K až na 10 000 K a padá k povrchu. Naopak z horních vrstev korony jsou vyvrhovány oblaka žhavého plazmatu ven ze Slunce.

Všechny změny v hustotě, teplotě, v pohybu i jasu nazýváme jedním slovem sluneční činnost nebo sluneční aktivita. Prostor sluneční atmosféry, kde tato aktivita probíhá se nazývá aktivní oblast. Hlavním původcem všech změn v aktivní oblasti je proměnlivé magnetické pole. Proto jsou aktivní oblasti jen tam kde se objeví silné magnetické pole.

Rozměry aktivní oblasti jsou zhruba od 100 000 km Do 300 000 km. Malé aktivní oblasti se skupinou skvrn typu A nebo B lze pozorovat jen po několik málo dnů. Velké aktivní oblasti se skupinami skvrn typu F mohou trvat až několik měsíců.

10. 1. Sluneční cyklus

Část křivky slunečních skvrn mezi dvěma sousedními minimy se nazývá sluneční cyklus. Trvání slunečního cyklu je přibližně 11 let. Snadno se však přesvědčíme na křivce slunečních skvrn, že sluneční cyklus může trvat od sedmi do šestnácti let. To znamená, že sluneční cyklus není příliš pravidelný.

11. Optické úkazy

11. 1. Polární záře

Jedná se o světelný úkaz ve vysoké atmosféře, ve výškách okolo 100 až 400 km. Jde o světélkování (fluorescenci) částic atmosféry. Od Slunce přichází proud elektricky nabitých částic (sluneční vítr). Jejich normální rychlost je $450 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$, ale v době větší sluneční aktivity dosahují větší rychlosti i počtu. Jsou vtahovány siločarami zemského magnetického pole zejména do okolí magnetických pólů. Zde jednak ionizují částice atmosféry a jednak excitují, tzn. vyřázejí elektrony na vyšší energetické hladiny.

Elektron uvolněný ionizací je krátce na to přitažen iontem některé molekuly atmosférického dusíku N_2^+ (rekombinace) a energie kterou elektron nabyl při ionizaci se přitom uvolní jako modrý nebo fialový foton.

V excitovaných stavech se elektron vrací zpět na nižší energetickou hladinu a opět se uvolňují fotony zelené z kyslíku a červené z kyslíku a dusíku N_2 . Proto polární záře hraje všemi barvami.

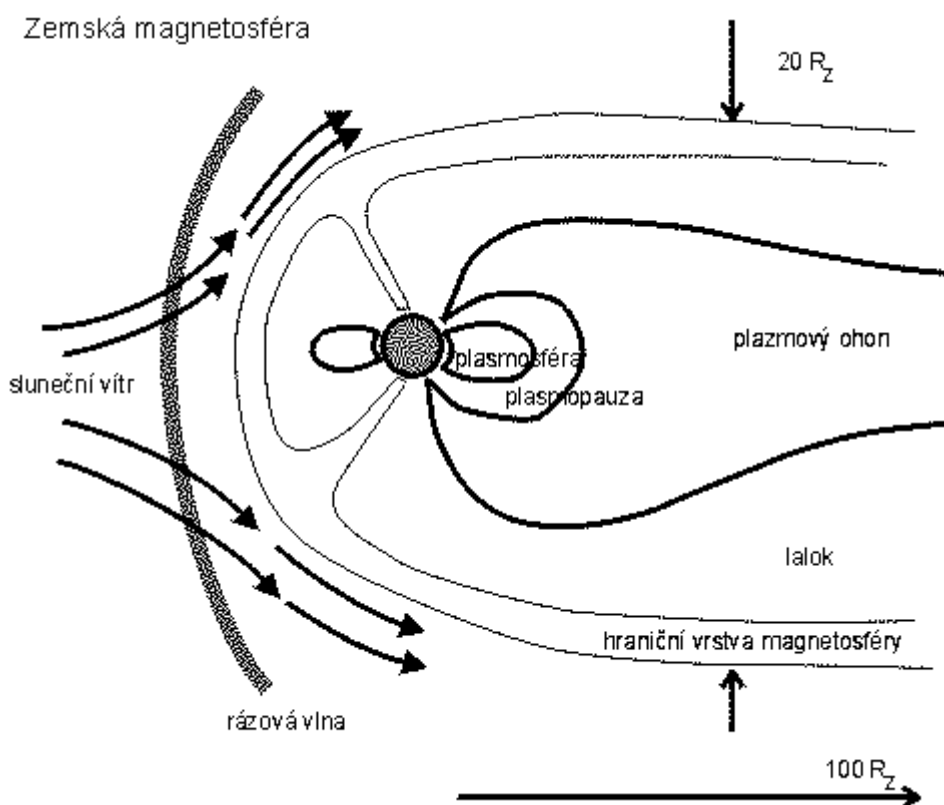
Elektrony ze slunečního větru se pohybují po spirále podél magnetických siločar, V určité výšce se jakoby odrazí, jsou magnetickým polem odpuzovány zpět a spirálou kolem siločáry se vracejí třeba až do blízkosti opačného magnetického pólu. Protože se neustále mění jejich proud přicházející od Slunce, jsou elektronové záře velice proměnlivé a vytvářejí různé tvary – paprsky, oblouky, drapérie.

Pro případ protonů ze slunečního větru je situace odlišná. Proton (jádro vodíku) se pohybuje po spirále podél magnetické siločáry. Zachytí-li některý z volných elektronů, stává se neutrálním atomem vodíku, přestane být ovlivňován magnetickým polem a pohybuje se po přímce. Srazí-li se s některou částicí vzduchu, dochází obvykle k jeho excitaci a poté k uvolnění fotonu červeného světla. atom vodíku může být také ionizován a pak se opět začíná pohybovat po spirále podél siločar. To se může opakovat i vícekrát. Protonové polární záře mají proto neurčitý rozmazaný vzhled a objevují se dále od magnetických pólů, protože nejsou tolik vázány na magnetické pole jako elektronové. Proto se z někdy dají

pozorovat i u nás. Mají červenavou barvu, protože zejména toto světlo uvolňují excitované vodíkové atomy.



Obrázek 4 : polární záře



Obrázek 5 : magnetosféra

Světélkování polárních září je podobný proces, jaký probíhá při úkazu meteoru.

11. 2. Barva denní oblohy

Vzniká rozptylem slunečního světla v atmosféře. Rozptyl nenastává na molekulách vzduchu ale na jejich skupinách, kdy se více molekul při vzájemném chaotickém pohybu na okamžik přiblížilo. Nejvíce se rozptyluje záření kratších vlnových délek – fialové více než modré a to opět více než zelené. Od původního směru slunečních paprsků se záření rozptyluje všemi směry. Na fialovou je naše oko málo citlivé, proto převažuje modrá. Není však čistá, obloha má i slabý zelenkavý odstín, který se zvýrazní večer. Kromě toho je k těmto čistým barvám přimíchána i bílá, tedy směs všech barev spektra.

Večer nebo ráno procházejí sluneční paprsky ovzduším šikmo a jejich dráha v atmosféře je tak dlouhá, že se rozptyluje i světlo žluté, oranžové a červené, takže obloha hraje všemi barvami. Sám sluneční kotouč nevysoko nad obzorem postupně oranžoví a červená – jen tyto barvy přicházejí od Slunce přímo, paprsky ostatních se cestou v atmosféře rozptylem odfiltrovaly.

11. 3. Zemský stín

Ráno nebo večer můžeme naproti Slunci sledovat zemský stín, který se promítá jako šedá oblast do nečistot ovzduší a večer s poklesem Slunce pod obzor se postupně zvedá nad východem a ráno klesá k západu. Nepřímo můžeme stín vysledovat také z pozorování umělých družic, které se v noci objevují nad našimi hlavami. Vidíme je jako drobné světelné body, které se relativně rychle pohybují mezi hvězdami. Náhle jejich jasnost poklesne a objekt se zcela ztratí z dosahu lidského oka – právě vletěl do sínu Země. Tento fenomén je závislý na výšce a sklonu oběžné dráhy družice.

11. 4. Duha

Optický úkaz, který vzniká rozkladem, lomem a odrazem slunečního světla ve vodních kapičkách. Světlo přicházející od Slunce vstupuje do kapky, při vstupu se lomí a dochází k jeho rozkladu na duhové barvy. Vidíme jen světlo těch kapek které se odráží směrem k nám. Tak se vytváří typické duhové barvy fialová na vnitřním okraji a červená na vnějším okraji duhové kružnice.

Dvojným úplným odrazem vzniká duha s obráceným sledem barev.

11. 5. Halový jev

Vzniká ve vrstvě ledových krystalků v oblaku zvaném cirrostratus. Krystalky mají tvar šestibokých hranolků. V hranolcích nastává lom a odraz a kolem Slunce se vytváří světelný kruh. Odrazem na vnějších plochách krystalků vzniká světelný sloup nad a pod Sluncem.

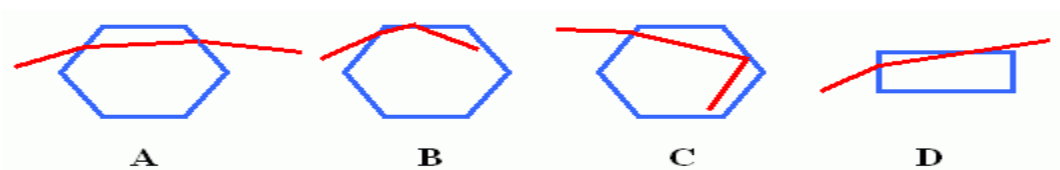
Měsíční a sluneční halo

Pokud se omezíme jenom na ty nejnápadnější světelné jevy, je nezbytné na prvním místě jmenovat tzv. malé halo. Vzniká lomem světla na náhodně orientovaných krystalcích ledu (šestibokých sloupcích), které se v podobě tenkého, průhledného mraku (tzv. cirru či cirrostratu) vznášejí ve výšce alespoň šest kilometrů. Proto bývá vidět i v létě.

Malé halo, či tzv. malý prsten má poloměr asi 22 stupňů, se středem v Měsíci či Slunci, a jeho tloušťka se pohybuje kolem jednoho až dvou stupňů. Na vnitřní straně je vždy ostře ohraničené, naopak na vnější pozvolna mizí do ztracena. Někdy je prsten krásně symetrický, jindy může být na některých místech méně výrazný, či zcela přerušen. Záleží na tom, jak moc je vrstva ledových krystalků souvislá.

Sluneční sloup Za večerního nebo ranního soumraku se může v atmosféře nacházet tolik ledových krystalků, že jejich plošky dokáží odrážet podstatnou část světla Slunce nízko u obzoru, za mraky či dokonce už pod obzorem. Vertikální světelné sloupy svým vzhledem připomínají světlo baterky, která svítí nahoru z místa, kde se nachází Slunce. Většinou nedosahují výšky pěti stupňů, tu a tam však bývají až třikrát delší. Když se Slunce nachází hodně vysoko na obloze, bývají pozorovatelné jenom velmi vzácně.

I když je má na svědomí odraz od ledových krystalů (nikoli lom), většinou jsou tyto sloupy načervenalé – za to ale může načervenalé Slunce, které "odmodrávají" shluky molekul v zemské atmosféře.



Obrázek 8 :lom paprsků na krystalcích ledu

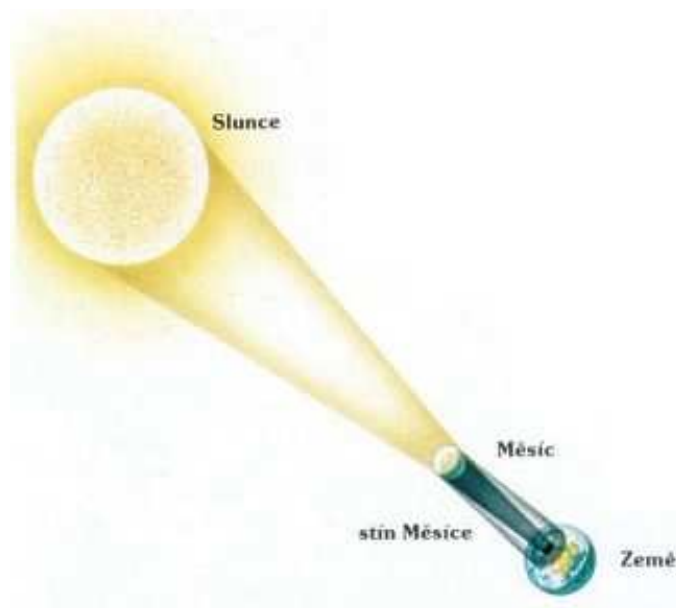
12. Slunce jako dárce života

Slunce svou gravitací udržuje na oběžných drahách nejen Zemi ale i ostatní planety sluneční soustavy a nespočet dalších těles. A když některé z nich, třeba kus ledu známý jako Halleyova kometa, odletí daleko do prostoru, sluneční gravitace ji nevyhnutelně vrátí zpátky. Země, narozdíl od ni krouží po téměř kruhové dráze v e vzdálenosti asi 150 000 000 km. Světlu trvá asi 8 minut než tuto vzdálenost překoná. Slunce je pro nás nejdůležitějším nebeským tělesem. Až do nedávna jsme používali energii výhradně slunečního původu.

Díky nepřetržitým dodávkám světla a tepla vděčíme Slunci za obyvatelnost naší planety. Slunce ale projevuje svůj vliv na Zemi i jinými cestami. Například sluneční ultrafialové záření uvolňuje z atomů plynů, z kterých je tvořena zemská atmosféra, elektrony. Uvolněné elektrony vytvářejí ve výškách stovek kilometrů tzv. ionosféru. Tato vrstva odráží dlouhé rádiové vlny a umožňuje tak rádiovou komunikaci na velké vzdálenosti a mezi kontinenty. Téměř veškeré sluneční ultrafialové světlo je pohlceno v jiné, nižší vrstvě atmosféry, která je asi 25 km vysoko v ozonoféře. Navíc, naše země není v meziplanetárním prostoru izolovaná. Je neustále omývána nepřetržitým větrem částic ze Slunce. Tyto částice ovlivňují řadou procesů magnetické pole naší Země. Magnetické pole Země, které zasahuje až do meziplanetárního prostoru, se nazývá magnetosféra. Je známo, že železné piliny nasypané na kus papíru položeného na magnet, znázorní siločáry magnetického pole od jednoho pólu magnetu ke druhému. Podobně to dopadne, když zemská magnetosféra zachytne nabitě částice slunečního větru. Většina těchto částic je soustředěna do pásů kolem Země - do tzv. van Allenových pásů

13. Zatmění Slunce

Měsíc se po své dráze kolem Země pohybuje tak, že se jednou za kalendářní měsíc (přesněji po 29, 5 dne) dostane mezi Slunce a Zemi - nastává nov. Kdybychom mohli Měsíc v této fázi ze Země pozorovat, zjistili bychom, že většinou prochází nad Sluncem nebo pod ním. Ale někdy se stane, že projde přesně před Sluncem - a tak dojde k slunečnímu zatmění. To se v každém roce stává obvykle dvakrát až čtyřikrát. V době úplného zatmění je pro malou část zemského povrchu Slunce zcela zakryto Měsícem. Na velmi krátkou dobu, pouze na několik minut, se Země ponoří do tmy a je možné pozorovat hvězdy.



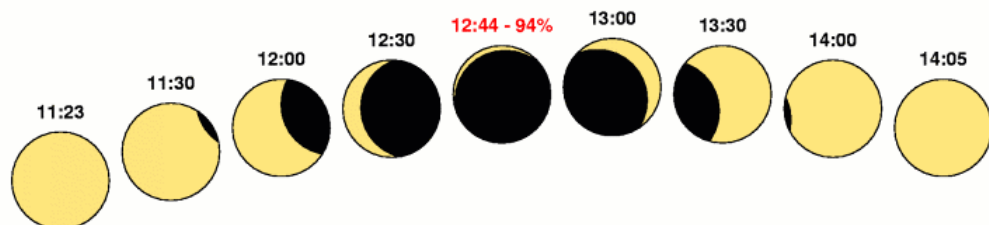
Obrázek 9 :vznik zatmění Slunce

Kolem oblasti zemského povrchu, kde nastává zatmění úplné, je oblast daleko větší, kde Měsíc zastíní pouze část Slunce - to je oblast částečného zatmění Slunce.

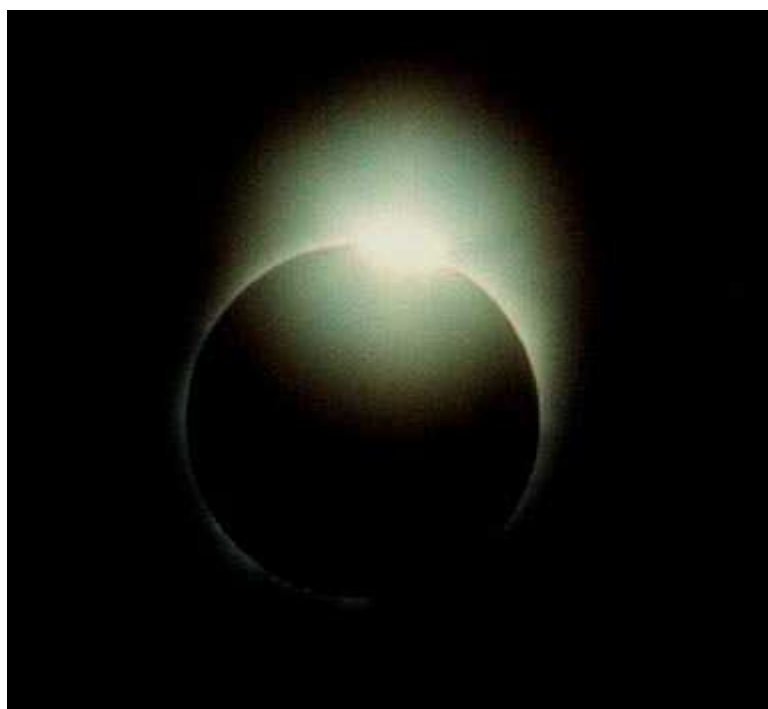
Sluneční zatmění je zajímavé také tím, že při pozorování ze Země má Měsíc stejnou velikost jako Slunce. Pochopitelně, že Slunce je větší než Měsíc - je dokonce 400 krát větší, ale je také 400 krát dále než Měsíc. Tyto rozdíly ve velikosti a vzdálenosti se navzájem vyruší a my vidíme stejně velký kotouč Slunce

i Měsíce. Při slunečním zatmění Měsíc zastíní sluneční fotosféru. Tím odcloní její pronikavé světlo a umožní pozorovat vzdálenější, méně zářivé oblasti Slunce.

V čechách bylo poslední zatmění 11. 8. 1999. Jako úplné je zatmění vidět jen v úzkém pruhu, tzv. pásu totality. Z mapy je vidět, že pás totality těsně míjí naše území. U nás tedy bylo zatmění pozorovatelné pouze jako částečné, protože pás totality těsně míjel naše území a probíhalo přibližně tak jak je vidět na obrázku.



Obrázek 10:postupující zatmění



Obrázek 11:zatmění Slunce

14. Studium Slunce.

Astronomové studují Slunce různými způsoby. Při pozorování za Země často používají přístroje, které rozkládají sluneční světlo na jednotlivé barvy, jako je tomu u duhy. Jiný přístroj používá velkou nádobu naplněnou chemikálií k zachycování částic zvaných neutrina. Astronomové mohou nyní pozorovat Slunce i z kosmického prostoru a dozvídají se o něm stále více a více díky družicím. Ty zachycují neviditelné sluneční záření, které na zemský povrch nedopadne. Do našich výzkumů zahrnujeme nejenom vlastní pozorovaný erupční proces, ale i procesy s tím spojené, např. akumulaci erupční energie, velkorozměrovou aktivitu Slunce, vývoj aktivních oblastí, vývoj a strukturu slunečních skvrn a filamentů a poerupční procesy jako je šíření rázových vln z prostoru erupce do meziplanetárního prostoru. Z fyzikálního hlediska je sluneční erupce rychlým disipativním procesem ve vysokoteplotním plazmatu. Tento proces je blízký procesům, které jsou studovány v laboratorních systémech pro řízenou termonukleární fúzi. Sluneční erupce ovlivňují celý meziplanetární prostor, včetně naší Země a jejího okolí. Proto je studium slunečních erupcí významné i pro obory sledující vztahy Slunce-Země.

Slunce se pozoruje v optickém, radiovém a rentgenovém oboru záření, což umožňuje zaznamenávat sluneční aktivitu v různých částech slunečního spektra. Pozorování je řízeno počítači, které se také používají při analýze a interpretaci dat z vlastních i mezinárodních experimentů. Pozorovacími přístroji slunečního výzkumu jsou např.: sluneční dalekohled pro pozorování v bílém světle a s $H\alpha$ filtrem v systému s videozáznamem a analyzátozem obrazů, mnohokamerový spektrograf k pozorování vývoje slunečních erupcí a protuberancí, radiospektrograf v pásmu 100-4000 MHz ke studiu radiových vzplanutí slunečních erupcí, magnetograf k měření slunečních magnetických polí, horizontální dalekohled se spektrografem k získávání spekter s vysokým rozlišením, a např v Ondřejově dva sluneční radiové teleskopy, jeden s rychlozáznamem na 3 GHz a druhý na frekvencích 810, 536 a 260 MHz a automatický sluneční protuberanční teleskop. Podílí se také na mezinárodních experimentech na družicích. Na palubě družice CORONAS je instalován přístroj k měření měkkého rentgenového záření slunečních erupcí. Dále se podílí na přípravě a realizaci projektů CESAR a GOES.

Podstatnou součástí práce je budování teoretických představ o procesech na Slunci s důrazem na numerické modelování studovaných procesů. Tato činnost stojí na rozsáhlé mezinárodní spolupráci s institucemi ve Francii, USA, Německu, Nizozemí, Španělsku, Itálii, Japonsku a Rusku.

14. 1. Prvotní pozorování Slunce

Slunce upoutávalo pozornost lidstva už od pradávna. Lidé je uctívali, neboť si uvědomovali svoji závislost na něm.

První zprávy o Slunci pocházejí ze starověké Číny, z období 2000 let před naším letopočtem. Již v té době dokázali předpovídat sluneční zatmění.

Z roku 350 let před n. l. máme první doklad o pozorování skvrn na Slunci ze starověkého Egypta. V čínských kronikách byly tyto zprávy nalezeny až v záznamech od roku 28 před n. l.

Ve 3. století před n. l. Aristarchos ze Samu vyslovil názor, že planety obíhají kolem Slunce. Tento názor však vědecky zdůvodnil až Mikuláš Koperník roku 1543 ve svém díle *De revolutionibus orbium coelestium – O pohybech nebeských těles*. Kromě tohoto Aristarchos určil i střední vzdálenost Země od Slunce – tzv. astronomickou jednotku.

Přesnější informace o Slunci zjistil až Galileo Galilei v Padově a D. Fabricius ve Wittenbergu s použitím dalekohledu – pozorovali sluneční skvrny. Z jejich posuvu po slunečním disku G. Galilei správně usoudil na rotaci Slunce.

Roku 1625 Ch. Scheiner zjistil z kreseb poloh skvrn, že jejich rychlost oběhu je závislá na heliografické šířce – objevil diferenciální rotaci. Tuto rotaci přesněji popsal až R. C. Carrington roku 1863 – zavedl nultý poledník na Slunci, od kterého se do dnes určuje rotace Slunce.

Roku 1843 S. H. Schwabe objevil kvantitativní periodicitu ve výskytu slunečních skvrn. Na tento výzkum navázal R. Wolf, který zjistil 11-letou průměrnou periodu výskytu slunečních skvrn a zavedl počítání slunečních skvrn – tzv. relativní číslo skvrn.

Roku 1861 G. Spörer si všimnul závislosti výše relativního čísla a vzdálenosti slunečních skvrn od rovníku. Tento zákon graficky vyjádřený nazýváme motýlkovým diagramem.

14. 2. Novodobý výzkum

O tom že je Slunce plynná žhavá koule se astronomové přesvědčili až počátkem 20. století, když se podařilo získat kvalitní spektra nejen povrchu Slunce (fotosféry), zředěné vrstvy nad povrchem (chromosféry) a nejdříví vrstvy (korony). Ta je viditelná při krátkých obdobích úplných zatmění. K dalšímu výzkumu přispěl roku 1930 B. Lyot – sestrojil koronograf – přístroj k pozorování nejvyšší vrstvy sluneční atmosféry (koróny) a některých útvarů v ní. A také astrofyzikové ve třicátých letech, kteří jako například badatel Sir Arthur Eddington dokázali propočítat, jaká je vnitřní stavba Slunce bez možnosti pohledu dovnitř této plynné koule o poloměru bezmála 700 000 km. Eddington ukázal že Slunce je složeno zhruba ze tří čtvrtin z vodíku a téměř čtvrtiny helia a ostatní prvky periodické tabulky představují pouze nepatrnou „nečistotu“.

Během 2. světové války došlo k prvním pozorováním Slunce pomocí radiových vln.

K posledním rozšířením možností pozorování Slunce přispěly družice, neboť nejsou omezené naší atmosférou a mohou tudíž pracovat i v oblasti krátkovlnného záření.

14. 3. Vizuální pozorování Slunce - historie a současnost

V roce 1610 objevil Galileo Galilei (1564 - 1642) vlastnoručně zhotoveným dalekohledem temné skvrny na slunečním kotouči. Tím začíná soustavný výzkum Slunce a sluneční činnosti (sluneční aktivity). V době před vynálezem dalekohledu byly pozorovány pouhým okem sluneční skvrny na ztemnělém slunečním kotouči při západu Slunce v mlžném oparu. O sluneční činnosti máme z těchto dob pouze jen nepřímé důkazy v podobě historických záznamů v kronikách o výskytu polárních září v nízkých zeměpisných šířkách jako důsledek geomagnetických bouří po mohutných slunečních erupcích. Zhruba ve stejné době jako Galilei, pozoroval Johannes Kepler, dvorní astronom císaře Rudolfa II. v Praze na dostatečně velkém obrázku slunečního disku, vytvořeném malým otvorem v zatemněné místnosti, velkou sluneční skvrnu. Jedná se tedy o první pozorování sluneční skvrny bez použití dalekohledu projekcí dírkovou komorou. Tento významný astronom své pozorování opakoval a zdokumentoval.

Záhy po objevu slunečních skvrn byly tyto skvrny sledovány na všech hvězdárnách. Záznamy o pozorování umožňovaly po delší době získání základních poznatků o slunečních skvrnách a dlouhodobém průběhu sluneční činnosti.

Vizuální pozorování Slunce umožnila stále podrobnější výzkum Slunce. Teprve využití fotografie a moderní techniky v astronomii odsunulo význam vizuálních pozorování Slunce do pozadí.

Základní poznatky o sluneční činnosti, získané z mnoholetých vizuálních pozorování:

- sluneční činnost kolísá v přibližně jedenáctiletých cyklech. Jejich průměrnou délku 11, 2 roků určil švýcarský astronom Rudolf Wolf (1816-1893), který v roce 1848 zavedl základní index k vyjádření výše sluneční činnosti, po něm nazvaný Wolfovo relativní číslo. Zároveň zjistil souvislost mezi sluneční činností a poruchami zemského magnetického pole. Číselné a grafické přehledy relativních čísel naleznete v literatuře. Jedná se řadu curyšských relativních čísel za období od roku 1749, kterou udržovali Wolfovi následovníci až do roku 1980. Od roku 1981 navazuje na tuto celosvětově používanou řadu základní řada bruselských relativních čísel SIDC, na jejímž vytváření se podílí i někteří pozorovatelé z ČR

Zóny výskytu slunečních skvrn po obou stranách slunečního rovníku se posouvají v průběhu jedenáctiletých cyklů sluneční činnosti z vysokých heliografických šířek do blízkosti slunečního rovníku podle tzv. Spörerova zákona, který velmi dobře znázorňuje známý motýlkový diagram.

Slunce má tzv. diferencovanou rotaci. Nejpomaleji se otáčí u pólu, nejrychleji na rovníku. Anglický astronom Carrington zjistil průměrnou délku rotace Slunce v heliografických šířkách 15° od slunečního rovníku, která činí 27,28 dnů. Tato synodická doba rotace Slunce byla pojmenována po objeviteli jako Carringtonova otočka (rotace). Otočky jsou průběžně číslovány (otočka č. 1 začala 9. 12. 1853)

Vizuální pozorování Slunce má u nás dlouholetou tradici. Na Slovensku pozoroval soustavně Slunce Mikuláš Konkoly-Thega od roku 1871 na své soukromé hvězdárně v Ó Gyale (dnešní Ústředná slovenská hvězdárna v Hurbanovu). Po jistou dobu zakresloval sluneční skvrny v Brně kolem roku 1882 světově proslulí zakladatel nauky o dědičnosti Johann Gregor Mendel, začátkem 20. století sledoval Slunce také baron Artur Kraus na své soukromé pardubické hvězdárně, která byla první naší lidovou hvězdárnou.

V období 1924 - 1964 organizovala vizuální pozorování Slunce sluneční sekce ČAS. Dochované protokoly o tehdejších pozorováních jsou archivovány na Štefánikově hvězdárně v Praze na Petříně. Od roku 1965 řídí Hvězdárna ve Valašském Meziříčí dobrovolnou síť hvězdáren a jednotlivých pozorovatelů v ČR a SR, zajišťuje soustředování, archivaci, redukci a publikaci výsledků získaných pozorování. Zájemci o vizuální pozorování mohou na této hvězdárně získat návod k pozorování a jejich zpracování. Na závěr uvádíme některé číselné údaje o vizuálních pozorováních sluneční fotosféry, které svědčí o obrovském rozsahu těchto pozorování za posledních 130 let v našich zemích. Podle dostupných údajů bylo u nás v tomto období vykonáno nejméně cca 168 tis. denních pozorování sluneční fotosféry, na nichž se podílelo 241 pozorovatelů Slunce ze 77 pozorovacích míst. V současné době spolupracuje s Hvězdárnou ve Valašském Meziříčí 35 pozorovacích stanic z ČR, SR vč. 1 stanice z Polska. Čtyři jen v jižních Čechách (V. Feik Hvězdárna Františka Pešty v Sezimově Ústí, pozorovací stanice v Kunžaku, samostatná pozorovací stanice B. Rady Jr. z Kunžaku a Fr. Vaclík Borovany).

Vizuální pozorování Slunce nemohou sice konkurovat moderní technice, avšak jsou oblíbená astronomy-amatéry, jimž přináší pozorování nové poznatky. Mají i dnes určitou hodnotu tím, že slouží k udržování mnoholetých řad pozorování sluneční činnosti za předpokladu, že jsou prováděna dlouhodobě a pečlivě.

14. 4. První fotoelektrický magnetograf a jeho následovníci

Ve dvacátých letech dvacátého století se Hale se svými spolupracovníky (např. Searsem, Maanenem, Ellermannem) pokoušel měřit fotograficky celkové magnetické pole Slunce, ale bez úspěchu. Tyto marné pokusy byly podnětem pro hledání nových, zejména fotoelektrických metod pro měření slabých slunečních magnetických polí.

Principiální vývoj takových přístrojů nové generace (díky nově vzniklým technikám) ukončili až H. D. a H. W. Babcockovi (1952, 1955) a H. W. Babcock (1953), kteří místo pohyblivých optických částí použili pevný elektrooptický krystal, zavedený původně Billingsem (1949).

Fotoelektrický magnetograf na Mt. Wilsonu završil dlouhou etapu pokusů o zrychlení měření intensity zejména slabého pole, prováděných např. G. Thiessenem, H. von Klüberem a K. O. Kiepenheuerem s otáčivou půlvlnovou

destičkou, posledním dokonce i na Mt. Wilsonu (1950), a současně otevřel novou stránku studia slunečních magnetických polí (von Klüber, 1955).

Přístroj se stal v šedesátých letech předlohou pro další přístroj podobné koncepce, zejména krymského magnetografu a tzv. "Lambdametru", zkonstruovaného Jeanem Rayrolem v Meudonu (Rayrole, 1967), který měřil fotoelektricky magnetická pole pomocí spektra už vyfotografovaného na desce (mimořádně s velkým, tj. jednovteřinovým rozlišením!). Následující období můžeme charakterizovat pokusy mnoha observatoří o konstrukci vlastních magnetografů. Vzhledem k náročnosti magnetografických měření však většina z nich buď nedosáhla potřebné úrovně nebo zůstala ve fázi laboratorního přístroje, nepřilíživého pro systematická měření. Považujeme proto za značný úspěch, že se u nás podařilo na počátku sedmdesátých let u nás uvést do provozu fotoelektrický magnetograf - I, s nímž jsme do konce osmdesátých let systematicky prováděli magnetografická pozorování.

V tomto období se na světě systematicky pozorovalo pouze několika magnetografy: Mt. Wilson, Wilcoxova observatoř, Kitt Peak v Arizoně, Krymská astrofyzikální observatoř, observatoř v Mondách na Sibiři, observatoř v Postupimi, v Meudonu a v Ondřejově. Současný stav magnetografických měření zahrnuje kromě nových observatoří i pozorování družicová.

Visuální měření magnetických polí spolu s kresbami a fotoelektrickými měřeními dělá dnes jen Observatoř na Mt. Wilson a Krymská astrofyzikální observatoř, která zároveň shromažďuje takováto pozorování z několika ruských observatoří. Silně integrovaná magnetická měření na celém disku jsou k dispozici na Wilcoxově observatoři. Celodiskové magnetogramy s dobrým rozlišením poskytuje americká Národní sluneční laboratoř na hoře Kitt Peak v Arizoně. Několikrát denně je možné získat magnetogram longitudinální komponenty a dopplerogram celého disku nebo jeho střední části s vteřinovým rozlišením z družice SOHO. Vektor magnetického pole je možno získat z Mees Solar Observatory na Havaji.

Pozorovací přístroje různých zemí na Kanárských ostrovech nejsou sice zatím vybaveny speciálními magnetografy, ale z jejich měření je možno magnetická a rychlostní pole určit, přičemž rozlišovací schopnost těchto přístrojů je velmi vysoká.

Také v Čechách od roku 1990 systematicky pracuje magnetograf - II, měřící longitudinální složku magnetického pole, dopplerovské rychlosti a intenzitu záření vybraných oblastí na slunečním disku.

V roce 1990 byl uveden do provozu nový magnetograf pro měření magnetických, rychlostních a jasových polí sluneční fotosféry. Pracuje v součinnosti s horizontálním dalekohledem a spektrografem HSFA 1.

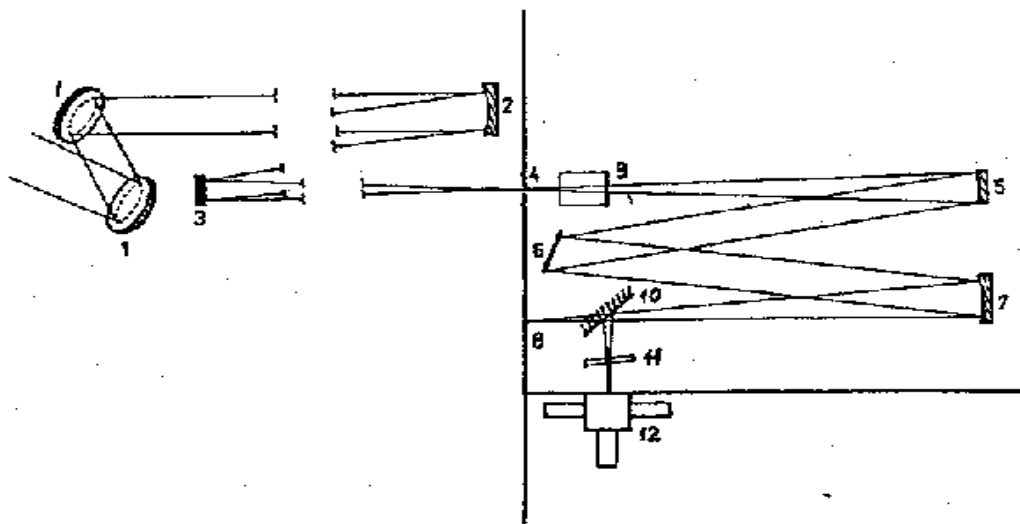
Magnetograf je koncipován jako stokesmetr, pro fotoelektrické měření úplné polarizace světla v libovolném bodě spektrální čáry. Zařízení může pracovat v těchto základních režimech:

- 1). **magnetograf** - měření podélné složky magnetického pole dopplerovských rychlostí a jasů ve spektrální čáře a kontinuu.
- 2). **Vektormagnetograf** - měření celého vektoru magnetického pole a dopplerovských rychlostí.
- 3). **Stokesmeter** - měření Stokesových parametrů V, U, Q a I polarizace světla podél profilu spektrální čáry.

Vzhledem k současným potřebám našeho oddělení je přístroj využíván jako magnetograf v režimu měření aktivní oblasti, případně v režimu měření oscilací.

14. 5. Princip činnosti magnetografu

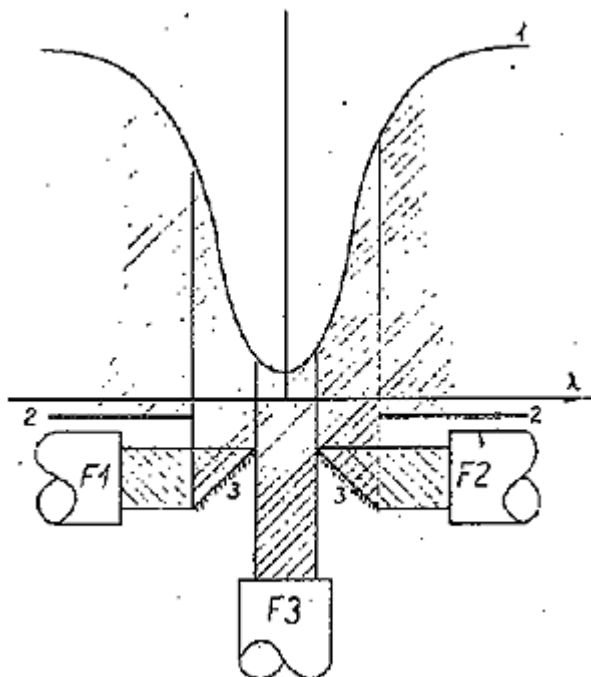
Horizontální dalekohled s objektivem o průměru 500 mm a ohniskovou vzdáleností 35 m vytváří v rovině vstupní štěrbině spektrografu (obr.12) obraz Slunce o průměru 32 cm. Automatický skanovací a pointační systém dalekohledu umožňuje měřit libovolnou pravoúhlou oblast slunečního povrchu metodou postupného skanování po řadách s přesností pointačního systému (podle kvality obrazu 1 - 3 obl. sec).



Obrázek 12: magnetograf nejdůležitější optické prvky

1-celostat, 2-objektiv, 3-rovinné zrcadlo, 4-vstupní štěrbinu spektrografu, 5-kolimátor, 6-difrakční mřížka, 7-kamerové zrcadlo, 8-kazetový nástavec s okulárem, 9-elektrooptický modulátor, 10-sklopné diagonální zrcadlo, 11-planparalelní destička kompenzátoru dopplerovských rychlostí, 12-fotometrická hlava bloku výstupních štěrbin

Světlo, procházející vstupní štěrbinou spektrografu je v elektrooptickém modulátoru jasově modulováno v závislosti na jeho vstupní polarizaci. Kódově-impulsní jasová modulace spektrální čáry, rozštěpené Zeemanovým efektem, je v bloku výstupních štěrbin s fotonásobiči (obr. 13) převedena na elektrické signály. Tyto jsou elektronikou bloku stokesmetru dešifrovány s převodem na analogové napětí Stokesových parametrů V , U , Q a I . Všechny analogové signály jsou digitalizovány A/D převodníkem a po předběžném zpracování v počítači ukládány jako měřená data na disketu. Pro oddělení vlivu dopplerovského posuvu spektrální čáry na Stokesovy parametry je posuv čáry kompenzován planparalelní skleněnou destičkou, umístěnou před blokem výstupních štěrbin s fotonásobiči. Kompenzátor s planparalelní destičkou je řízen singály fotonásobičů v klídlech spektrální čáry. Úhel natočení této destičky, který je rovněž digitalizován, slouží pro výpočet dopplerovských rychlostí.



Obrázek 13: blok štěrbin fotometrické hlavy magnetografu

1-intenzitní profil spektrální čáry, 2-břity první štěrbin; šířka první štěrbin - 1, 252 mm, 3-odrazné hranoly druhé štěrbin; šířka druhé štěrbin - 0, 387 mm, F1 a F2-fotonásobiče v křídlech čáry, F3-fotonásobič ve středu spektrální čáry, šrafovaní - cesta světelného paprsku

14. 6. MAGNETOGRAFICKÁ MĚŘENÍ

1. Spektrální čára

Pro tato měření je použita spektrální čára 525, 347 nm, která je výhodná tím, že se štěpí do jednoduchého tripletu a má faktor rozštěpu 1,5. To znamená, že je méně citlivá na magnetické pole než např. čára 525, 0 nm (faktor rozštěpu 3), ovšem na druhé straně zde nedochází k inverzi hodnot pro velká magnetická pole. Pracujeme v pátém řádu s disperzí 56 mm/nm. Šířky výstupních štěrbin pro fotonásobiče jsou uvedeny u obr. 2. Pro tuto čáru jsou k dispozici vztahy mezi Stokesovými parametry a vektorem magnetického pole [2], které se používají při jeho výpočtu.

2. Velikost vstupní štěrby

Vzhledem ke kalibračním křivkám je šířka vstupní štěrby konstantní - 3 obl. sec. Výšku štěrby je použita buď 3" nebo 6", podle množství světla, režimu skenování a kvality obrazu.

3. Skanovací režim

Z rozlišovací schopnosti dalekohledu (0, 3"), reálné velikosti vstupní štěrby (3×3 obl. sec) a kvality obrazu (rozlišení 1 - 3 obl. sec) byly odvozeny tři základní skanovací režimy, které se pro jednoduchou manipulaci a snadné porovnání výsledků převážně používají. Jsou to jmený, normální a rychlý režim (viz tab. 1).

Režim	Šířka pixlu	Výška pixlu	Dělič D	Posuv řádku	Skán. rychlost	Doba měření
jemný	1, 6"	2, 4"	16	24	60"/sec	2T
normální	3, 2"	4, 8"	32	48	60"/sec	T
rychlý	6, 4"	9, 6"	64	96	60"/sec	T/2
speciální	volitelné					

Tabulka 3 - Pracovní režimy magnetografu

Skanovací rychlost je ve všech případech 60"/sec a je limitována možnostmi coelostatu. Protože se skanovací režimy mezi sebou liší dvojnásobným počtem řádků, je rychlý režim dvakrát rychlejší a jemný režim dvakrát pomalejší než normální. To je také jeden z faktorů, ovlivňující výběr režimu. Dalšími hledisky jsou velikost oblasti, kvalita obrazu a požadované rozlišení. Kromě těchto základních režimů existuje speciální režim, v němž se šířka pixlu, výška pixlu, skanovací rychlost, hustota integrace a synchronizace vzorkování mohou nastavit na požadované hodnoty, což činí přístroj zcela univerzálním.

4. Digitalizace analogových signálů

Pro digitalizaci je použit přepínač osmi analogových kanálů v napětovém rozsahu 0 - 10 V s osmibitovým A/D převodníkem. Synchronizace převodu je odvozena od geometrického posuvu měření oblasti po vstupní šterbnině spektrografu a vzorkování každého z osmi analogových kanálů se provádí pro 0, 1" posuvu obrazu Slunce. To prakticky znamená, že existuje pevná vzorkovací síť, v níž se během roku průměr Slunce mění zhruba o 3%. Integrační faktor D udává, kolik těchto osmibitových vzorků se integruje v jednom údaji měřených dat.

5. Měřené fyzikální veličiny

kanál 1 : stokesův parametr V v červeném křídle čáry

kanál 2 : stokesův parametr V v modrém křídle čáry

kanál 3 : stokesův parametr I v modrém křídle čáry

kanál 4 : stokesův parametr I v červeném křídle čáry

kanál 5: intenzita záření v kontinuu

kanál 6 : intenzita záření ve středu slunečního disku

kanál 7 : intenzita záření ve středu spektrální čáry

kanál 8 : dopplerovský posuv (úhel pootočení planparalelní destičky s

kompenzátorem) Data kanálů 1 - 6 se používají pro vyhodnocení podélné složky magnetického pole, kanály 3, 4, 5 a 8 jsou potřebné pro výpočet dopplerovských rychlostí a kanály 3 - 7 poskytují informaci o rozložení jasů.

6. Uložení dat na disketě

Data každého z osmi měřených kanálů jsou dvoubyteově uložena do samostatného souboru proměnné délky. Max. délka souboru je 45 kB. Kromě toho jsou na disketu zapsány dva další soubory konstantní délky, z nichž jeden obsahuje protokol o měření a má délku 3990, druhý obsahuje důležité konstanty a má délku 1000. Jméno souboru obsahuje datum, číslo kanálu a číslo měření, uspořádané následovně:

MMDDRRRAKN

MM - měsíce 01 - 12

DD - den 01 - 31

RR - rok 00 - 99

A - atribut, označující typ souboru. Pro původní nezpracovaná data magnetografu $A = M$

K - číslo kanálu 1 - 8 podle výše uvedeného seznamu

P - soubor, obsahující protokol o měření

K - soubor důležitých konstant daného měření

N - číslo měření 1 - 999

Tento způsob označení dovoluje přehlednou orientaci v datech a rychlý přístup v případě jejich zpracování.

7. Výsledné parametry magnetografu

Z magnetografický měření vyhodnocujeme v současné době tyto fyzikální veličiny:

- podélná složka magnetického pole v mT
- dopplerovská rychlost v m/s
- ztmavnutí fotosféry v promile vztaženo k normovanému jasů okolní fotosféry

Na základě rozboru 357 zpracovaných měření odhadujeme reálné vlastnosti magnetografu následovně:

a)	Rozlišovací schopnost časová při měření aktivních oblastí je dána zvoleným pracovním režimem a velikostí oblasti. Při použití standardních režimů a max. rychlosti měření bude doba měření T oblasti o rozměrech 300"×200" tato: jemný režim T = 15'12" normální režim T=7'40" rychlý režim T=3'54"
b)	Rozlišovací schopnost prostorová je dána kvalitou pozorovacích podmínek, vybraným režimem měření a velikostí vstupní štěrbinu spektrografu. Praktické výsledky ukazují, že můžeme rozlišit reálné detaily o rozměrech 5 - 10 obl. sec.
c)	Rozlišovací schopnost funkční je dána osmibitovým A/D převodníkem a integračním faktorem daného režimu měření, který původní rozlišovací schopnost převodníku zvyšuje. podélná složka mag. pole 10 - 20 Gauss dopplerovská rychlost 20 m/s ztmavnutí fotosféry 1%
d)	Citlivost přístroje ve standardních režimech odpovídá funkční rozlišovací schopnosti v bodu c) a použitím speciálního režimu měření je ji možno dále zvyšovat.
e)	Průběh pozorování a důležité činnosti operátora jsou řízeny a kontrolovány počítačem. Obsluha je snadná a může ji provádět i pracovních bez technických znalostí, postačuje pouze seznámení s přístrojem. Na konci měření je na tiskárně vypsán protokol, obsahující všechny důležité údaje o měření.

Zpracování dat je prováděno na počítači PC. K tomu účelu bylo vybudováno zvláštní programové vybavení, dovolující jak přepočít signálů na jednotky fyzikálních veličin, tak i další činnosti, potřebné pro jejich další fyzikální interpretaci.

Generální rekonstrukce dvou slunečních spektrografů HSFA1 a HSFA2

HSFA1 a HSFA2 jsou největšími optickými přístroji pro pozorování Slunce u nás. Z astrofyzikálního hlediska jsou zajímavé nové funkce, které dovolí využívat oba jejich spektrografy jak pro fotografická pozorování, tak i pro snímání spektra CCD

kamerami nebo fotonásobiči. Kompletní rekonstrukce řídicí elektroniky umožní pozorování v nových pozorovacích režimech.

Koncem osmdesátých let byly v ondřejovské observatoři vybudovány dva horizontální dalekohledy se spektrografy, označované HSFA1 a HSFA2. Objektiv dalekohledu tvoří zrcadlo o průměru 500 mm a ohniskové vzdálenosti 35 m. Na vstupu dalekohledu je Jenschův coelostat se dvěma rovinnými zrcadly o průměru 600 mm. Hodinová osa dalekohledu je uložena v hydraulických ložiscích. Dalekohled byl vybaven pointačním a skanovacím systémem.

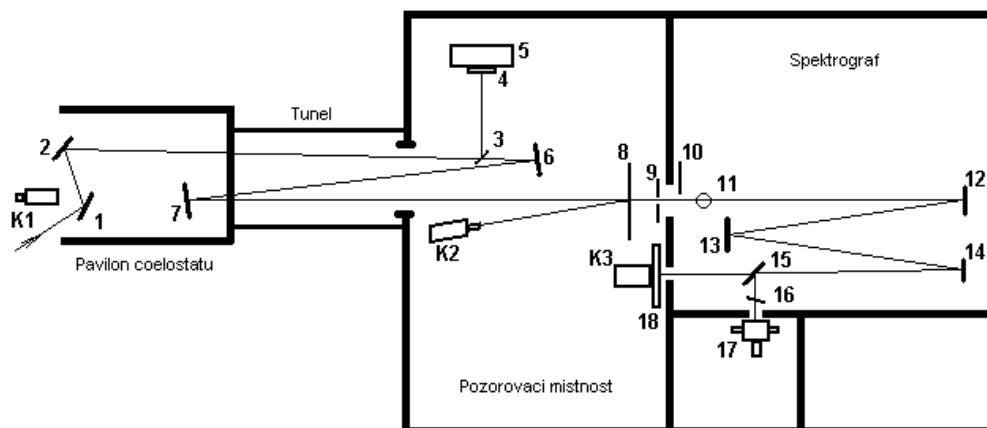
Spektrograf, navazující na dalekohled, je vybaven difrakční mřížkou 600 vrypů na mm. Ohnisková vzdálenost kolimátoru a kamerového zrcadla je 10 m. Díky svým parametrům se oba tyto přístroje staly největšími optickými přístroji pro pozorování Slunce u nás. Od roku 1990 byl HSFA1 využíván k měření magnetických a rychlostních polí. Přístroj HSFA2 byl ve stejném období využíván pro spektrální fotografii.

Optický systém obou přístrojů je velmi kvalitní, původní elektronika řídicího systému však už byla zastaralá. Proto nedavno firma **Space Devices** prováděla generální rekonstrukci obou přístrojů, při níž budou zachovány pouze optické a mechanické prvky zařízení. Řídicí elektronika obou přístrojů byla kompletně rekonstruována a bude umožňovat nové funkce zařízení, vyplývající z požadavků současné astrofyziky Slunce.

HSFA1 bude i nadále sloužit k měření magnetických a rychlostních polí na Slunci, HSFA2 bylo přestavěno na dalekohled s mnohakanálovým spektrografem pro současnou registraci segmentů spektra v pěti různých spektrálních oblastech. Snímání spekter bude prováděno pěti CCD kamerami s vysokou citlivostí a prostorovým rozlišením.

Na obrázku jsou zakresleny hlavní funkční bloky dalekohledu, spektrografu a rozmístění CCD kamer pro pozorování spektrální čáry, obrazu Slunce na vstupní štěrbině spektrografu a sledování oblačnosti tak, jak budou používány u zařízení

HSFA1 při magnetografických měřeních. Zařízení HSFA2 se bude od uvedeného schematu lišit hlavně umístěním dalších pěti zobrazovacích systémů uvnitř spektrografu pro simultánní pozorování pěti různých segmentů spektra.



Obrázek 14 : Prostorové uspořádání rekonstruovaného HSFA1

1 - hlavní zrcadlo coelostatu, 2 - pomocné zrcadlo coelostatu, 3 - pointační dalekohled s hranolem, 4 - pointační čidlo, 5 - křížový stůl, 6 - objektiv dalekohledu, 7 - pomocné zrcadlo dalekohledu, 8 - průmětka s centrážním čidlem, 9 - štěrba spektrografu, 10 - závěrka, 11 - karusel s filtry + elektrooptický modulátor, 12 - kolimátorové zrcadlo, 13 - difrakční mřížka, 14 - kamerové zrcadlo, 15 - diagonální zrcadlo, 16 - kompenzátor posuvu spektrální čáry magnetografu, 17 - blok výstupních štěrbin magnetografu s fotonásobiči, 18 - mechanický nástavec pro upevnění fotografického materiálu, okuláru nebo CCD kamery CCD kamery: K1 - CCD videokamera pro sledování oblačnosti při pozorování, K2 - CCD kamera pro sledování okolí vstupní štěrby, K3 - CCD kamera pro snímání spektra.

Oba přístroje jsou řízeny počítači přes ovládací panely na jejich obrazovce. Tato koncepce dovoluje přístroje ovládat z několika řídicích stanovišť, například dálkové řízení přístroje během pozorování. Dalekohled byl vybaven pointačním a skanovacím systémem, udržujícím obraz Slunce v požadované poloze s přesností cca 1 obl. sec. Na slunečním disku bude možno po řádcích proskanovat libovolně orientovanou pravoúhlou oblast s hustotou vzorkování až 10 vzorků na obloukovou sekundu obrazu. Polohu objektů na Slunci i v jeho okolí můžeme určovat v jednom

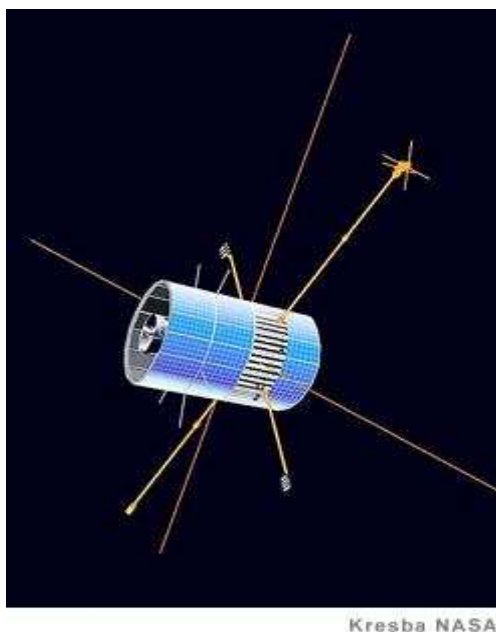
z pěti souřadnicových systémů a současně můžeme provádět převody mezi těmito systémy.

Na základě dopplerovských měření můžeme říci, že stabilita polohy spektrální čáry ve spektrografu je velmi dobrá a umožňuje provádět velmi přesná spektroskopická měření. K odstranění nežádoucích spektrálních řádů slouží vhodný předřadný filtr, umístěný v počítačem ovládaném karuselovém mechanismu.

Rozdíly mezi oběma přístroji vyplývají z různého zaměření HSFA1 a HSFA2. HSFA1 bude vybaveno magnetografem, HSFA2 bude mít ve spektrografu zase navíc pět CCD kamer. Tyto rozdíly se projeví hlavně v programovém vybavení přístrojů. Ovládání obou zařízení je koncipováno tak, že na uživateli nevyžaduje žádné zvláštní znalosti a většinu z potřebných přístrojových činností si počítač obslouží sám (např. kalibrace souřadnicového systému, spojená s centrováním dalekohledu a určením jeho denního chodu).

14. 7. Družice

Abychom pochopili složitou stavbu Slunce a všechny podstatné souvislosti mezi ději na tomto tělese i v meziplanetárním prostoru, je zapotřebí naši nejbližší hvězdu neustále sledovat pokud možno ve všech oborech spektra. Důležité je i studium dějů v magnetosféře Země, jež se slunečními jevy úzce souvisí. První specializované kosmické observatoře tohoto druhu již existují (např. družice a sondy ACE Advanced Composition Explorer, Polar, SOHO, TRACE Transition Region and Coronal Explorer, Wind)



obrázek 15: IMP 8

Satelit IMP 8 (Interplanetary Monitoring Platform 8)

IMP 8 startovala 25. října 1973 jako poslední tzv. *Meziplanetární monitorovací platforma* s úkolem studovat sluneční vítr v bezprostředním okolí Země. V americké stáji byste přitom našli jenom dvě starší, stále ještě funkční laboratoře: Pioneer 6, jenž odlétl v roce 1965, a Pioneer 10 z roku 1972.

Svým způsobem byla IMP 8 skutečnou kuriozitou. Ke spojení používala dávno opuštěný VHF kanál, neměla na palubě žádné záznamové zařízení a veškerá data tak posílala v přímém přenosu rychlostí šest tisíc bitů za sekundu

IMP 8 se navíc pohybovala po netradiční dráze: prakticky kruhové, zhruba v polovině mezi Zemí a Měsícem s dvanáctidenní periodou oběhu. To ji totiž umožnilo studovat vlastnosti prostředí uvnitř i mimo zemskou magnetosféru.

Svoji nejdůležitější roli zřejmě IMP 8 sehrála v devadesátých letech dvacátého století, kdy bylo sond monitorujících "kosmické počasí" jako šafránu a kdy byla na příjem jejích dat postavena stanice na jižním pólu. Ovšem s nástupem observatoře Advanced Composition Explorer, která od roku 1997 sleduje stav slunečního větru v Lagrangeově bodu jeden a půl milionů kilometrů od Země, cena staříčkého satelitu prudce klesla. Smysl měření pak zkomplikoval i nefunkční magnetometr. Šest ze dvanácti detektorů je však stále provozuschopných.

ISEE-3 (International Sun-Earth Explorer 3)

Roku 1978 byla do okolí bodu L1 vyslána družice ISEE-3 , kde po několik let sledovala sluneční vítr, poté jí byl podrobně prozkoumán vzdálený konec chvostu a ještě později byla vyslána, aby se setkala s kometou.

Wind, původně k takovému obíhání určená, stále pozoruje sluneční vítr ze své velmi prodloužené převodní oběžné dráhy. Vzhledem k tomu, že má dostatečně velký vlastní zdroj, může být kdykoliv vyslána na další misi.

Družice SOHO (Solar and Heliospheric Observatory)

Jedná se o kosmickou sondu pro výzkum sluneční činnosti a heliosféru umístěnou dne 2. prosince 1995 na předem vypočítanou oběžnou dráhu kolem planety Země pomocí nosné rakety Atlas-Centaur. Družice je společné dílo ESA a NASA. Družice se v současné době nachází v libračním centru mezi Sluncem a Zemí (vzdálenost od Země 1,5 milionu km). Družice je přibližně v místě, kde se vyrovnávají gravitační síly Země a Slunce. (v tzv. Lagrangeově bodě) Protože se SOHO nenachází přesně v libračním centru (obíhá ho jednou za 2-3 měsíce) je jeho dráha korigována pomocí raketových motorů. Hlavním posláním sondy je výzkum Slunce a sluneční aktivity ale při tomto výzkumu je možno zaznamenat i jiné vesmírné návštěvy. Výsledky této nepočítané činnosti jsou až zarážející. Počet komet objevených sondou nad rámec její plánované činnosti je již čtyřmístným číslem.

Pro objevení objektu sondou je třeba aby se přiblížil Slunci na dosah koronografů. Většina takto objevených objektů skončí svou pout' po několika hodinách v žáru Slunce

Tato sonda již několikrát prodloužila svou životnost. Přes drobné technické problémy se tak stalo již třikrát.

Družice se skládá z dvou hlavních částí:

část technická (spojení se Zemí, dodává energii a provádí nutné manévry)

část technická (skládá se z 12 různých vědeckých přístrojů)

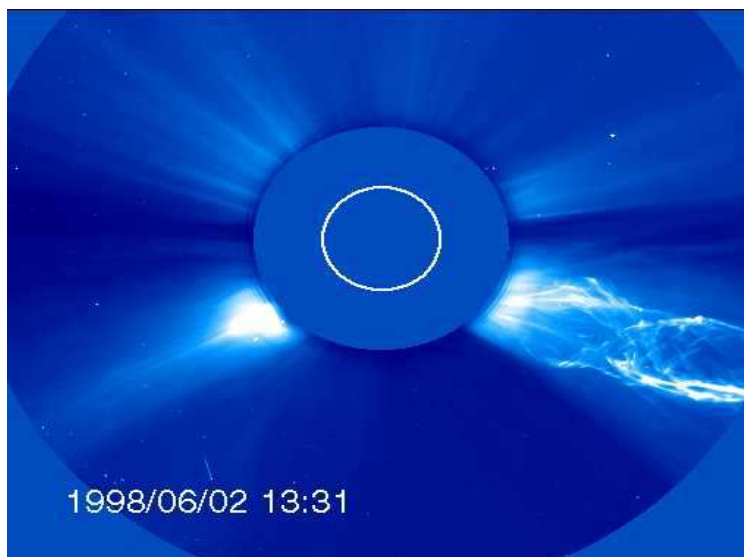
rozměry s rozepjatými panely: 9,5 m

celková hmotnost při startu: 1850 kg

užitečné zatížení: 610 kg

telemetrie v reálném čase: 200 kbit s⁻¹

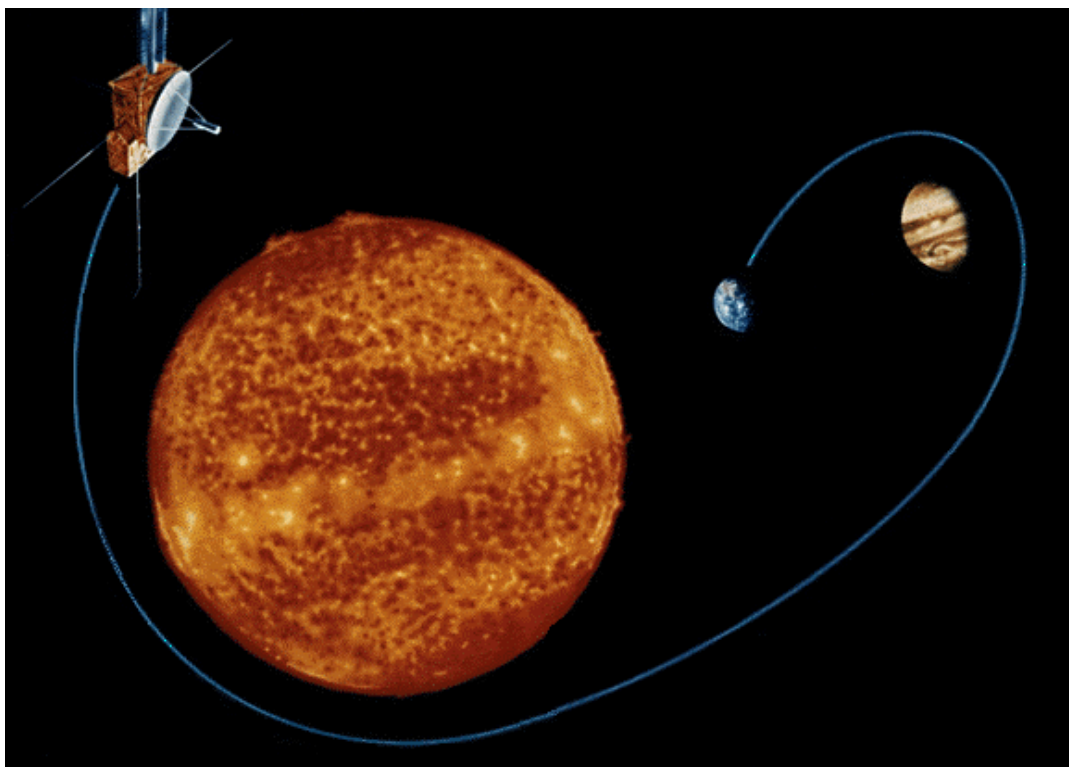
ukládání na palubě: 40 kbit s⁻¹



Obrázek 16 : Fotografie ze SOHO

Vědci nyní mohou úplně poprvé "pozorovat" oblasti výbuchů na vzdálenější straně Slunce a předpovídat tak a varovat před špatným počasím ve vesmíru. Kosmická loď Solární a heliosférická observatoř (Soho) dokáže analyzovat vlny na viditelném povrchu Slunce a odhalit sluneční aktivitu na odvrácené straně. Před tímto objevem byli astronomové často překvapeni, když se náhle ve výhledu objevily dříve skryté výbušné plochy. Nová technologie na Soho používá nástroj Michelson Doppler Imager (MDI) a vytváří okno k odvrácené části Slunce. Aktivními oblastmi jsou nazývány potenciální oblasti výbuchů na povrchu slunce. Jde o plochy silných magnetických polí, mnohem větších než je poloměr Země. Produkují výbuchy, zvané světlice, a erupce plazmy (horký, elektřinou nabitý plyn), kterým se říká koronální výstřely hmoty (CME). Radiace a plazma z těchto výbuchů mohou doletět až k Zemi, rozbít kosmickou loď a narušit radiovou komunikaci či energetické zdroje. S nynější možností předpovídat daleko dopředu (až týden) tato místa, lze nebezpečným vlivům Slunce zabránit.

Nástroj MDI na Soho měří pohyb slunečního povrchu na milion bodů. Počítače pak převedou pohyby do zvukových. Ty jsou ovlivněny různými vrstvami plynu a rozdílných pohybů, a tyto změny zaznamenávají. Nová technologie, nazývaná helioseismická holografie, pak zjišťuje vliv na zvukové vlny na vzdálené straně Slunce. Aktivní oblasti se pak samy odhalí silným magnetickým polem, které zvukové vlny urychlí o dvanáct sekund.



Obrázek 17 : Ulysses

Ulysses

Ulysses vznikla jako společný projekt ESA (European Space Agency) a NASA (National Aeronautics and Space Administration) pro sledování heliosféry Slunce z vysokých planetárních šířek (z velké vzdálenosti od roviny ekliptiky). ESA řídí pohyb sondy, NASA měla na starosti její start (na palubě raketoplánu Discovery), radiové sledování a zpracování dat. Hlavním cílem je výzkum Slunce a jeho vlivu na meziplanetární prostor. Sonda byla záměrně nasměrována k Jupiteru, který ji gravitačně vychýlil z roviny ekliptiky. Tím může sledovat polární oblasti Slunce. Sonda má dráhu navrženou tak, že jižní pól Slunce prozkoumala v roce 1994, ke Slunci se opět vrátila v roce 1995, kdy se přiblížila severnímu pólu. Do stejných oblastí se vrátí v letech 2000 a 2001 při svém druhém oběhu. V té době bude sluneční cyklus v blízkosti maxima. Oběžná perioda sondy kolem Slunce je 6 let. Nejnovější data ze sondy Ulysses ukazují, že sluneční vítr z proudů kolem polárních oblastí Slunce je emitován rychlostí téměř dvojnásobnou ($750 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$) než z níže (blíže rovníku) položených regionů. Rovněž složení slunečního větru z polárních oblastí je rozdílné - a přitom se magnetické pole Slunce jeví být rovnoměrné.

Wind, původně k takovému obíhání určená, stále pozoruje sluneční vítr ze své velmi prodloužené převodní oběžné dráhy. Vzhledem k tomu, že má dostatečně velký vlastní zdroj, může být kdykoliv vyslána na další misi.

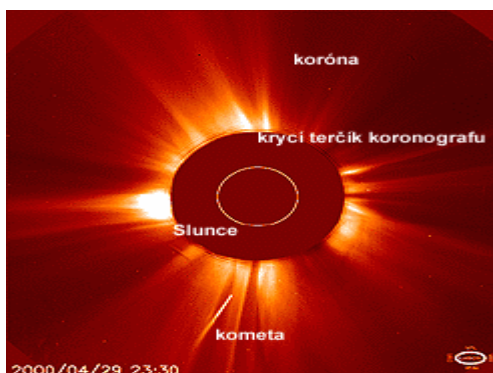
14.8. Aktuální družicové snímky slunce

Jasná, pokroucená mračna horkého plynu prozrazují bouřlivé děje, tmavá místa klidné o blasti zvané koronální díry. Tyto snímky získané v ultrafialovém světle představují pro vědce jejich běžné mapy "počasí" na Slunci. Příležitostně se objeví solar flare jako malá, jasná tečka. Různé barvy snímků prozrazují odlišné vlnové délky - každá vlnová délka je vyzařována plynem o určité teplotě: oranžová: 80 000 °C, modrá: 1 000 000 °C, zelená: 1 500 000 °C, hnědá: 2 500 000 °C.



Obrázek 18 :družicové snímky

Tyto snímky jsou získány družicí SOHO.



Typický záběr z koronografu C2 na palubě observatoře SOHO, který vznikl 29. dubna 2000. Ve vzdálenosti asi 0,9 stupně je vidět jedna z řady pomíjivých vlasatic. Terčík uprostřed je součástí koronografu a zakrývá jinak oslnivě rušivé Slunce. Jeho velikost naznačuje kružnice. (Foto ESA/NASA)

Obrázek 19 :záběr ze SOHO

15. Další vývoj

Slunce je staré kolem 4, 5 miliardy let. Od svého zrození spotřebovalo asi polovinu vodíku ve svém jádře. Tento proces bude pokračovat "mírumilovně" ještě dalších 5 miliard let (přestože jeho jasnost se do té doby přibližně dvakrát zvýší). Ale jednou konečně Slunce všechno své vodíkové palivo spálí, což povede k radikálním změnám, které - podle hvězdných měřítek zcela banálně - budou příčinou totální destrukce Země a jiných planet (a pravděpodobně povedou ke vzniku planetární mlhoviny).

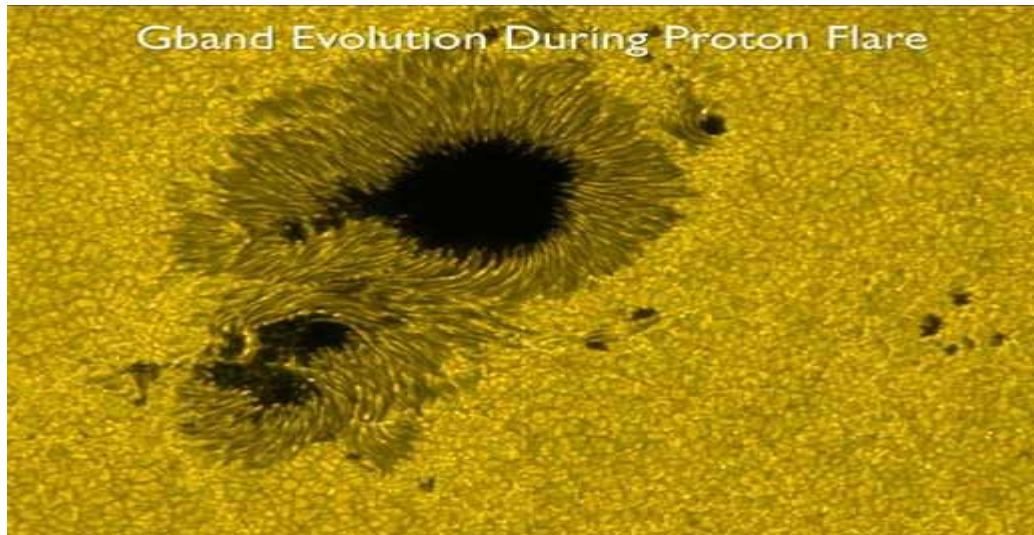
Na počátku této fáze bylo Slunce menší než dnes (přibližně o 10 %) a také méně zářilo (zhruba o 30 %). Na konci fáze hvězdy hlavní posloupnosti dosáhne poloměr Slunce 1, 4 násobku a výkon se proti dnešku zdvojnásobí. Další vývoj Slunce bude rychlý - po vyčerpání zásob vodíku v centru se zapálí vodík v tenké vrstvičce obalující vyhořelé heliové jádro. Vnitřek hvězdy se smrští, zatímco vnější vrstvy se rozeprnou; Slunce se stane červeným obrem o poloměru snad až stokrát větším, než je dnešní. Později se v heliovém jádru zapálí reakce, při nichž se jádra helia spojují v jádra uhlíku a kyslíku. Z řídkého obalu zmítaného prudkými konvekčními pohyby bude do prostoru prostřednictvím slunečního větru vyvrhováno velké množství látky. Nakonec se odvane celý obal a zůstane jen uhlíkokyslíkové jádro o hmotnosti 0,6 hmotnosti současného Slunce, obalené tenkou vodíkovou atmosférou. Žhavý zbytek hvězdy zbavený přísunu čerstvého jaderného materiálu začne postupně chladnout - stane se degenerovaným bílým trpaslíkem, zvolna vychládajícím po miliardy dalších let. Slunce je tedy nyní hvězdou v nejlepších letech a má před sebou ještě nejméně 5 miliard let klidné existence. Jedna z mála jistot, která lidstvo má.

Hlavní změny se dějí v nitru hvězdy, tedy v jádře. Změny ve stavbě hvězdy se projevují až když dochází palivo tedy vodík. Délka života u hvězdy je omezena tím jak je velká. Čím je hvězda větší, tím má kratší život. Po dohoření jádra nastává kontrakce jádra a hvězda se postupně rozpíná, až se dostane na velikost červeného obra. Například naše Slunce je přibližně v polovině života (4, 5 - 5 miliard let) a poté co mu dojde palivo (vodík) začne se rozpínat a pohltí Merkur, Venuši a Zemi. Jediná ze vnitřních planet, která přežije zánik Slunce bude Mars. Na závěr života se z hvězdy stává bílý trpaslík. Bílý trpaslík je velmi malý a svým rozměrem ho

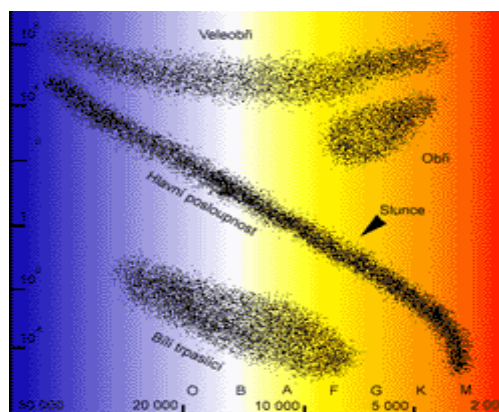
můžeme přirovnat k planetám. Avšak zachoval si svou hmotnost, proto je jeho hustota nesmírně vysoká, až 1000kg/cm^3 . Ten chladne a stává se z něho tmavá chladná hvězda (černý trpaslík). Celý vývoj hvězdy můžeme pozorovat na Hertzsprungově-Russellově diagramu.

Až naše Slunce skončí svůj život stane se koulí degenerované látky o velikosti Země jeho objem bude milionkrát menší, než je dnes a hustota bude milionkrát větší než hustota vody.

16.Další obrázky



Obrázek 20: vznikající sluneční skvrna koligující s existující



Obrázek 21:hr diagram



Obrázek 22 : Sluneční halo

17.Závěr

Astronomie se jako vědní obor dynamicky rozvíjí, avšak i přes dlouho trvající výzkum a neustálé zdokonalování pozemských dalekohledů, vybavení kosmických sond, observatoří a neposlední řadě výpočetní techniky, Slunce, ač naše nejbližší hvězda, která v mezihvězdných vzdálenostech je nám v skutku nadosah, stále skrývá mnohá tajemství.

Slunce patří do hvězdné kategorie žlutých trpaslíků spektrální třídy G, tato skupina je velice běžná, jen v Mléčné dráze se jich nachází miliardy. Velikost Slunce i přes označení trpaslíka, je tak velká, že by se do něj naskládalo až milion Zemí. Tedy ve srovnání s nám známým vesmírem není Slunce nijak výjimečné. Avšak pro člověka není ve vesmíru nic jiného, co by mělo větší význam. Z naší hvězdy vychází skoro všechna životně důležitá energie. Energetický výkon slunečního „termonukleárního reaktoru“ se za poslední stovky let nemění o více jak desetinu procenta.

Tato práce byla zaměřena na seznámení s procesy probíhajícími uvnitř Slunce a také na děje pozorovatelné ve spojitosti se Sluncem na Zemi.

18. Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1: stavba Slunce	11
Tabulka 1 : údaje o sluneční atmosféře	12
Obrázek 2 :sluneční skvrny	17
Tabulka 2: sluneční skvrny	19
Obrázek 3: Motýlkový diagram Sluneční činnosti.....	24
Obrázek 4: polární záře	28
Obrázek 5 : magnetosféra.....	28
Obrázek 8 :lom paprsků na krystalcích ledu	30
Obrázek 9 :vznik zatmění Slunce.....	32
Obrázek 10:postupující zatmění.....	33
Obrázek 11:zatmění Slunce.....	33
Obrázek 13: blok štěrbin fotometrické hlavy magnetografu.....	42
Tabulka 3: Pracovní režimy magnetografu	43
Obrázek 14: Prostorové uspořádání rekonstruovaného HSFA1	48
Obrázek 15: IMP 8	50
Obrázek 16: Fotografie ze SOHO	52
Obrázek 17: Ulysses.....	53
Obrázek 19: záběr ze SOHO	54
Obrázek 20: vznikající sluneční skvrna koligující s existující.....	57
Obrázek 21: hr diagram.....	57
Obrázek 22 : Sluneční halo	57

19. Literatura

- [1] Josip Kleczek: *Velká encyklopedie vesmíru*, Academica, Praha, 2002
- [2] Rudolf Kippenhahn: *Odhalená tajemství Slunce*, Mladá fronta, Praha, 1999
- [3] Grygar., J., Pokorný, Z., Dušek., J.: *Náš vesmír (fotografický atlas)*, Aventium, 2000
- [4] Vanýsek, V.: *Základy astronomie a astrofyziky*, Academica, Praha, 1980
- [5] <http://www.astro.cz>
- [6] <http://www.astrokurz.wz.cz>
- [7] <http://www.asu.cas.cz>
- [8] <http://www.ms.mff.cuni.cz>
- [9] <http://www.mfweb.cz>
- [10] <http://www.hvezdarna-pf.cz>
- [11] <http://www..astro.wz.cz>