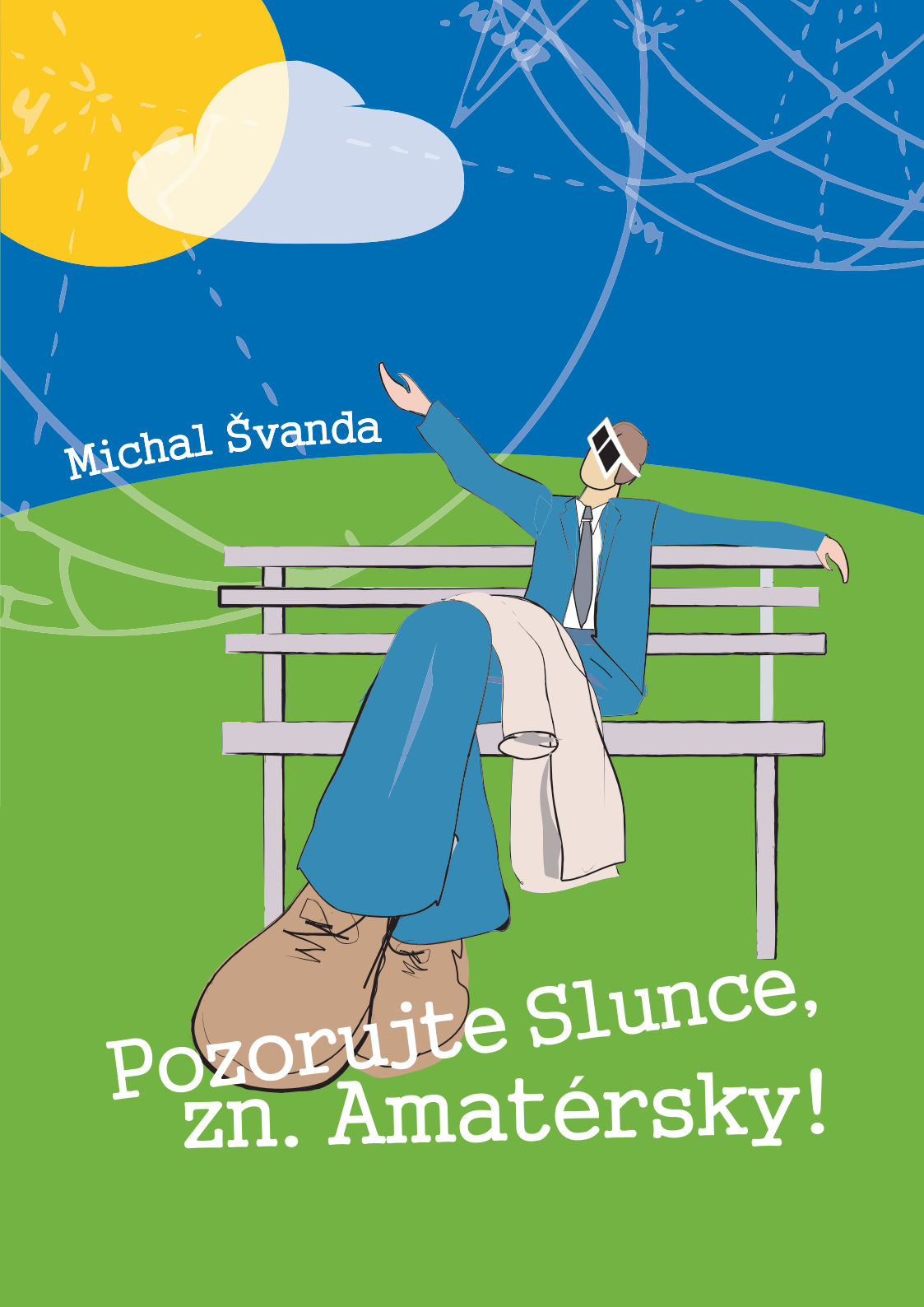
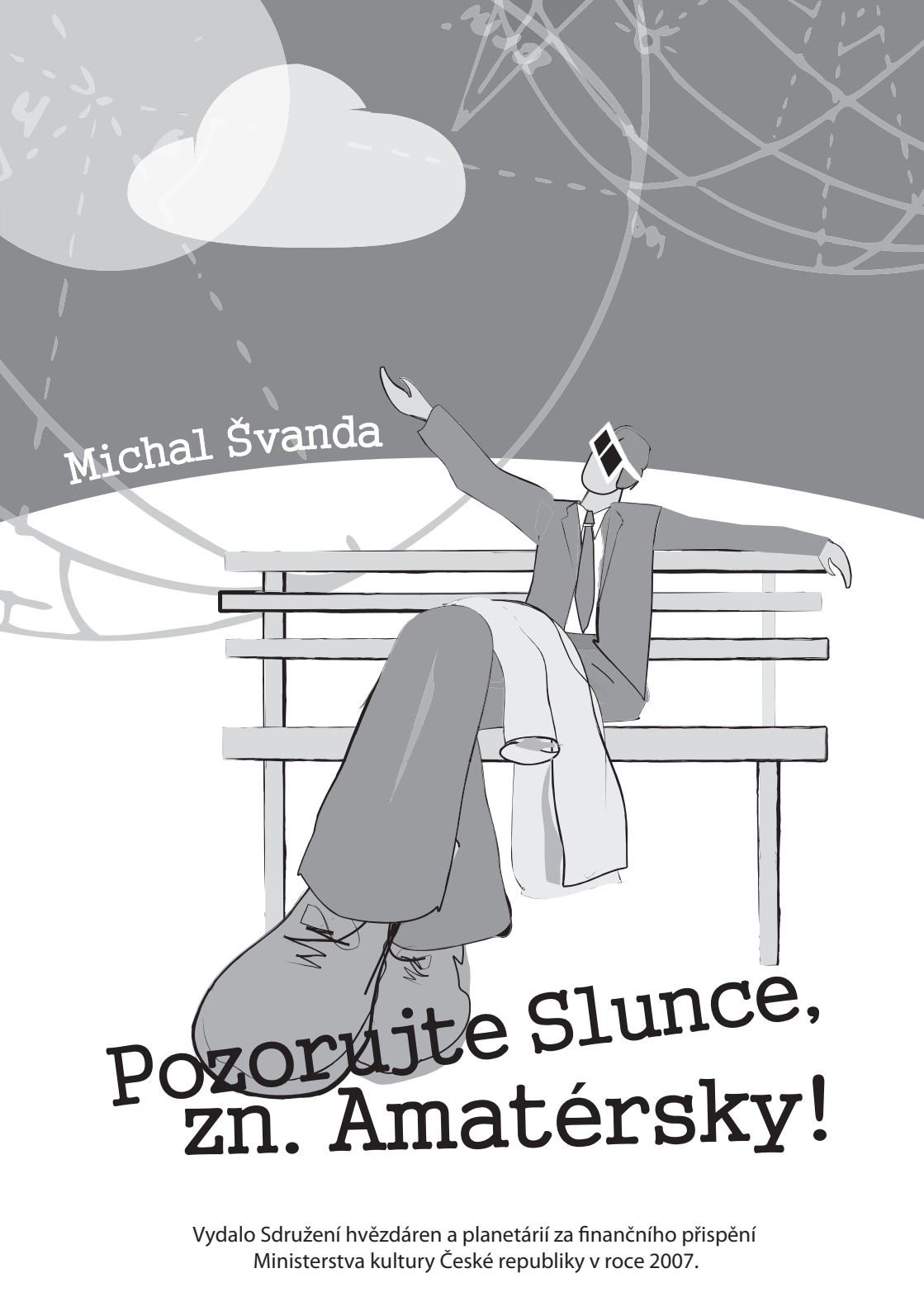




Michal Švanda

Pozorujte Slunce,
zn. Amatérsky!



Michal Švanda

Pozorujte slunce, zn. Amatérsky!

Vydalo Sdružení hvězdáren a planetárií za finančního přispění
Ministerstva kultury České republiky v roce 2007.

*Věnováno všem, kteří působí jako slunce na své
bližní a umí tak rozzářit jejich dny.*

Proč vznikla tato publikace?

Slunce je naší nejbližší hvězdou. Jemu vděčíme za denní světlo. Astronomové však současně omezuje v pozorování jiných objektů oblohy.

Slunce se snadno hledá a pro velkou část demonstrátorů a zaměstnanců hvězdáren je jediným nebeským objektem, který je pozorovatelný ve dne. Stejně zřejmé je, že Slunce představuje nejen zářivý zdroj životodárné energie, ale také ovlivňuje dění v bezprostředním okolí Země i přímo na povrchu naší planety. Není proto divu, že je v centru astronomického dění, přičemž tento trend se v následujících desetiletích bude ještě zesilovat. Dopomáhá tomu i řada vědecko-fantastických filmů. V dnešní přetechizované době se lidé chtějí o své denní hvězdě a jejím vlivu na Zemi dozvědět všechny možné informace a je na demonstrátorech a pracovnících hvězdáren, aby se tohoto úkolu zhostili.

Tato publikace je určena především demonstrátorům hvězdáren. Užitečné informace v ní ale najdou i zájemci o amatérské pozorování Slunce nebo jen fandové astronomie. Hlavní text je doplněn informacemi, které mohou být použity jako doplňující čtení, případně jako náměty pro témata vhodná pro demonstraci Slunce.

Pozorujeme Slunce, zn: Amatérsky!

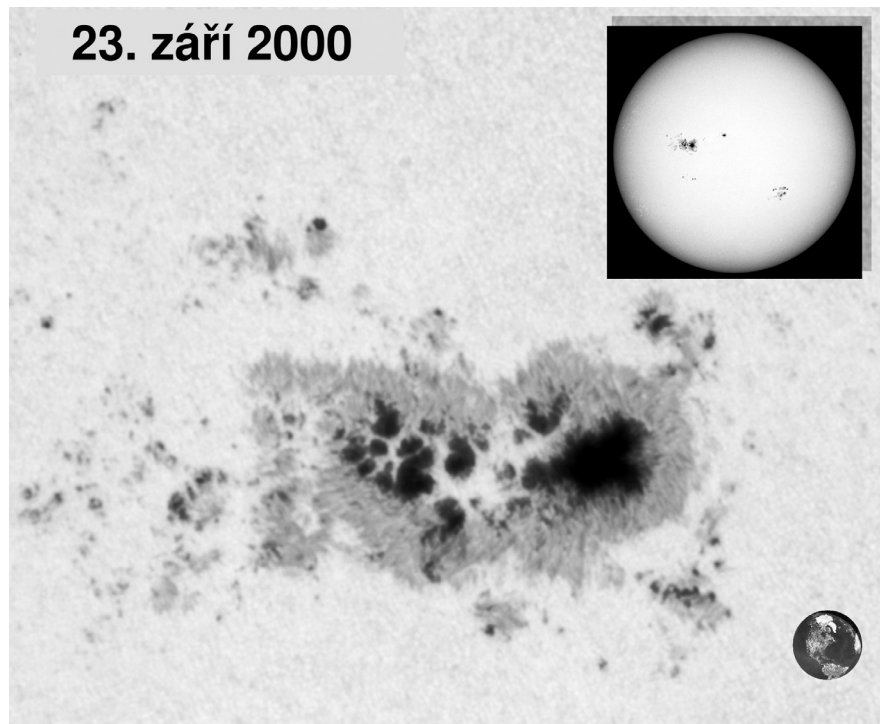
Kouzlo amatérského pozorování Slunce tkví v tom, že při něm lze s vynaložením nevelkého úsilí pozorovat objekt, jenž se v mnoha směrech odlišuje od Země, planety na níž žijeme. Jednoduchými prostředky můžeme prokázat existence sluneční atmosféry, rotaci Slunce a některé projevy sluneční aktivity, což má ovšem především pedagogický význam. Na druhou stranu je třeba se smířit s faktem, že s amatérskou pozorovací technikou žádnou velkou „díru“ do světa vědy neuděláme. Jakkoli většina dnešních znalostí o fyzikální podstatě naší nejbližší hvězdy byla získána metodami z dnešního pohledu amatérskými, soudobé sledování Slunce je přece jenom o dost dál. Nicméně za jistých okolností může mít amatérské pozorování Slunce význam i pro profesionály vybavené moderní pozorovací a výpočetní technikou.

Profesionálové dnes Slunce sledují ve dvou režimech. Jednak rutinně. Tato pozorování jsou prováděna téměř automaticky, automaticky jsou i vyhodnocována. Automatické zpracování je vždy zaměřeno na vyhodnocování standardních situací a nestandardních okolností a skutečnosti si příliš nevšímá. Například lze říci, že zřejmě nikdo nekontroluje všechny získané snímky ani všechna měření. Neobvyklé krátkodobé události pak mohou snadno uniknout pozornosti a v tom je jistá šance pro uplatnění poučených a pečlivých amatérských pozorovatelů Slunce. Druhý režim pozorování představují předem naplánované kampaně, které jsou zaměřeny na detailní sledování určitého jevu nebo určité části sluneční atmosféry či slunečního kotouče. Získaná data jsou sice pečlivě analyzována, nicméně jde o pozorování časově omezená, jež zpravidla nepostihují Slunce jako celek. Všeobecně též platí, že cílená měření získaná během pozorovacích kampaní bývají důkladně zpracovávána i s několikaletým zpožděním.

Síla amatérů by mohla být v okamžitém objevu doposud nepozorovaného jevu, nebo jevu nebyvalé síly (např. krátkodobě žijící sluneční skvrny v polárních oblastech, velmi intenzivní

04 Pozorujeme Slunce, zn: Amatérsky!

bílé erupce). Těchto cílů lze jednak dosáhnout systematickým pozorováním Slunce s pomocí vlastní techniky a nebo průzkumem dat získaných automatickými družicemi a kosmickými sondami. Vzpomeňme například více než tisícovku komet padajících do Slunce objevených amatéry na snímcích z koronografů družice SoHO (což je zkratka pro Solar and Heliospherical Observatory).



Velká skupina slunečních skvrn v září roku 2003. O důležitosti jevů na Slunci svědčí pouhé rozměrové porovnání s naší planetou. © SoHO konsorcium

Slunce však amatér pozoruje především pro radost a pro potěšení, ať už vlastní nebo někoho jiného. Amatér obvykle nemívá přístup k nejmodernější pozorovací technice a tak se musí omezit jen na sledování zcela běžných jevů na Slunci. Většina amatérských pozorovatelů Slunce je spojena s některou z hvězdáren, kde má možnost se zapojit do některého z odbornějších pozorovacích programů. Nejčastěji jde o zakreslování sluneční fotosféry, dále pak pozorování slunečních skvrn pouhýma očima nebo zakreslování a případně fotografování slunečních protuberancí, pokud pro to má hvězdárna příslušné vybavení. Projekty, které by využívaly práce amatérů pozorujících méně obvyklým přístrojovým vybavením (řada hvězdáren má ve své výbavě chromosférický dalekohled, některé radioteleskop, koronograf) nejsou široké komunitě známy. V případě vážného zájmu o systematickou práci takovým přístrojem je nejjistější kontaktovat profesionální pracoviště.

Slunce se jednoduše sleduje v celkovém viditelném (v odbornické hantýrce v bílém) světle. V tomto širokospektrálním oboru lze zaznamenat téměř výhradně sluneční fotosféru. Nejběžnějším způsobem pozorování Slunce v amatérských podmínkách je projekce slunečního kotouče na stínítko. Její princip je jednoduchý – za dalekohled (nesmí být Galileova typu, ohnisko optické soustavy musí být vně konstrukce dalekohledu) se kolmo na optickou osu instaluje promítací deska, na níž se obraz Slunce zaostří. Metoda je vhodná i pro demonstrace na hvězdárnách, neboť můžete přímo prstem ukazovat, o čem mluvíte. Návštěvníci tento postup nepochybně ocení, pouhý slovní popis „vlevo dole je taková malá skvrnka“ jim totiž často působí problémy. Navíc, takového pozorování se může zúčastnit i větší skupina návštěvníků najednou.

Nevýhodou projekce je, že může být potenciálně nebezpečná. Neznalý jedinec má tendenci dívat se přímo do dalekohledu, a ne na arch papíru, který může působit nevěrohodně. Při projekci ovšem není dalekohled chráněn žádným zeslabujícím členem, tudíž by pohled do něj mohl mít fatální následky. Proto je třeba přihlížející velmi důrazně upozornit, aby se vyvarovali přímého pohledu do dalekohledu a vysvětlit jim, že si takto mohou i trvale poškodit své oči. Pro zvědavější publikum můžeme přidat i informaci, jaký výkon by proudil dalekohledem do jejich oka. Předpokládejme, že v našich zeměpisných šířkách dopadá na 1 m^2 přibližně 1000 W světelného výkonu. V dvacetimetrovém dalekohledu, jaký je používán pro projekci např. na Štefánikově hvězdárně v Praze, tak z dalekohledu vystupuje přibližně 30 W v ploše o průměru zhruba 5 mm , což odpovídá výkonu $1,5 \text{ MW}$ na 1 m^2 (jakkoli je toto číslo zavádějící)! Zejména děti však varování často nedbají a tak musíte být připraveni na rychlý fyzický zásah. Za hrubé odstrčení sice pochvalu nesklidíte. Když mu ukážete, za jak krátký okamžik dokáže soustředěný svazek zapálit list papíru, zvědavec si další výtky často rozmyslí.

Samotné zapalování papíru v ohnisku dalekohledu ovšem příliš nedoporučujeme, neboť zplodinami hoření (zejména sazemí) trpí optika přístroje. Často se též při demonstracích na hvězdárnách zvyšuje kontrast obrazu na projekční desce využitím tmavé tkaniny, která má za úkol clonit parazitní světlo rozptýlené z okolí. Velmi snadno se ale může stát, že vinou neopatrné manipulace či v důsledku průvanu v pozorovatelně se vykrývací materiál dostane do cesty paprsků. Ze zkušenosti víme, že pokud je pak takováto sestava ponechána chvíli bez dozoru, může se stát ohniskem ničivého požáru! Nebezpečí lze ovšem snížit, pokud se pro odstínění použije nějaká nehořlavá přírodní tkanina. Podobné riziko plyne z hledáčku, který sice není určen pro sluneční pozorování, ale pokud jej zapomeneme před pozorováním Slunce zakrýt, může situace vést k poškození zraku všetečných dětí, nebo čehokoli, na co soustředěný svazek světla dopadne. Tím může být dřevěné obložení kopule, schůdky usnadňující přístup k dalekohledu nebo třeba oblečení pozorovatele či návštěvníků.

Není asi třeba zdůrazňovat, že dalekohled určený pro sluneční pozorování musí být složen jen z kvalitních optických prvků. V optické cestě by se v žádném případě neměla nacházet nejen žádná plastová čočka, ale ani žádné z clonek vymezujících jen část světelného svazku by neměly být zhotoveny z plastu. Tepelný příkon může velmi snadno způsobit jejich roztavení, čímž může dojít i k poškození dalších částí přístroje.

Další často používanou metodou je přímý pohled na sluneční disk dalekohledem. K tomu musí být přístroj vybaven zařízením, které je schopné bezpečně odstínit více než 95 procent

přicházejícího záření. A to nejen v viditelné, ale i v neviditelné infračervené oblasti spektra. Nejčastěji používanými prostředky jsou filtry (např. chromové) předsazené před objektiv. Nebo helioskopický okulár, jehož hlavním členem je optický hranol, který přicházející světlo rozdělí na dvě části a větší část pošle mimo další optickou dráhu. Obě metody jsou bezpečné a poskytují dobrý základ pro přímé sluneční pozorování.

Méně nákladné a konstrukčně jednodušší je vybavit dalekohled fóliovým předsazeným filtrem než helioskopickým okulárem. Dobré zkušenosti jsou s fólií AstroSolar dodávanou firmou Baader Planetarium z Německa. Fólie o velikosti A4 stojí přibližně 600 korun. Pozorujete-li helioskopickým okulárem, doporučujeme jej vybavit dvojicí otočných polarizačních filtrů, s jejichž pomocí lze regulovat celkový jas slunečního kotouče podle aktuální situace. Varujeme však před vkládáním filtrů do okulárové části dalekohledu – filtr se zde může zahřát natolik, že popraská. Pak už nejen nebude bezpečně plnit svoji úlohu, ale mohl by dokonce explodovat a vměst skleněné střepy do oka pozorovatele!



Výhodou přímého pohledu na Slunce oproti projekci je nepochybně ostřejší obraz a lepší rozlišení, neboť nejsme limitováni zrnitostí papíru na projekci nebo kvalitou jiného typu stínítka. Nevýhodou je nepochybně skutečnost, že může současně pozorovat jen jeden člověk (a to ještě nejčastěji jen jedním okem). Také je výrazně ztížena orientace v zorném poli. Nemluvě o tom, že někteří návštěvníci se do dalekohledu prostě neumějí podívat.

Švédský věžový sluneční dalekohled (Swedish Solar Telescope, SST) je jedním z největších refraktorů na světě. Čočkový objektiv o průměru 1 m napájí světlem přístroje umístěné na dně vakuované věže. Přístroj vybavený adaptivní optikou umožňuje pozorování slunečních detailů s rozměrem až 70 km. Vědci z celého světa zde provádějí složité pozorovací experimenty vedoucí k poznání chování Slunce s vysokým prostorovým a časovým rozlišením. Foto autor.

I u dalekohledů vybavených na přímý pohled na sluneční fotosféru musíme být opatrní, a to především u přístrojů, na něž se předsaazuje filtr před objektiv. Je nutné zajistit, aby filtr se svou objímkou nemohl spadnout. K tomu nejčastěji dochází, pozorujeme-li Slunce nízko nad obzorem. Pokud je používána zeslabující fólie, je nezbytné před každým nasazením zkontrolovat, zda nedošlo během předchozí manipulace k její perforaci nebo dokonce roztržení. Také její kvalita a homogenita je důležitá.

Při výkladu pro návštěvníky je dobré zmínit několik skutečností. Jako první to, že Slunce je hvězda jako každá jiná, je jen výrazně blíže než ony svítící body, které pozorujeme na noční obloze. Že je na rozměr 109krát větší než naše Země (tedy do slunečního tělesa bychom nasypali 1,3 milionu jednotlivých Zemí), že v sobě koncentruje přes 98 procent veškeré hmotnosti celé sluneční soustavy (hmotnost Slunce je 330 000krát větší než hmotnost Země) a že jako každá hvězda je velmi horká – v případě Slunce je povrchová teplota kolem 5500 stupňů Celsia, přičemž jen polovina této hodnoty stačí k roztavení oceli.

Pro vyjádření vzdáleností ve sluneční soustavě je výhodné používat astronomickou jednotku, odpovídající střední vzdálenosti Země-Slunce. Jedna astronomická jednotka odpovídá přibližně 150 milionům kilometrů nebo též vzdálenosti, kterou světlo překoná za osm a půl minuty. Dodejme, že od nejbližší další hvězdy k nám její fotony cestují déle než čtyři roky!

Lze se zmínit i o tom, jaký je rozdíl mezi hvězdou a planetou. Hvězdy jsou útvary udržované pohromadě vlastní gravitací, podobně jako planety. Na rozdíl od nich se v nitru hvězd uvolňuje značná energie v důsledku termonukleárních reakcí. V planetách takové reakce nikdy neprobíhaly a ani probíhat nebudou. Velké planety ovšem mívají svůj vlastní zdroj energie, která se v jejich nitru uvolňuje v důsledku pomalého smršťování nebo gravitační diferenciace vnitřku těchto těles. Hmotnostní hranice mezi hvězdami a planetami leží asi u třináctinásobku hmotnosti Jupiteru. Nejlehčími hvězdami jsou tzv. hnědí trpaslíci s hmotností mezi třinácti a osmdesáti hmotnostmi Jupiteru. Tyto hvězdy se od normálních hvězd liší tím, že se v nich nikdy teplota nepřekročila hranici 9 miliónů kelvinů, nezbytnou k tomu, aby se zde rozhořely nejvýhřejší termonukleární reakce, při nichž se nejběžnější prvek ve vesmíru – vodík – postupně mění v hélium. Přesto i v hnědých trpaslících termonukleární reakce s nižší zápalnou teplotou probíhaly, jejich význam pro energetiku hvězdy však nebyl rozhodující.

Dále se již s návštěvníky věnujeme tomu, co je na slunečním disku právě vidět. V každém případě můžeme upozornit na okrajové ztemnění, kterého si lidé při přímém pozorování očima zpravidla nevšimnou. Jde o jev, kdy jas sluneční fotosféry klesá od středu disku k okrajům. Okrajové ztemnění je důsledkem částečné průhlednosti fotosféry, v níž existuje určitý výškový teplotní profil – s výškou ve fotosféře teplota klesá. V každém směru je pozorovatel schopen pohledu po víceméně stejné dráze do fotosféry. Z jednoduchých geometrických úvah je jasné, že na středu disku se pak díváme nehlouběji, neboť pozorujeme prakticky kolmo, zatímco u okraje pronikneme naopak jen těsně pod povrch, protože se díváme téměř tečně. Vzhledem k popsanému teplotnímu profilu pak na středu disku pozorujeme vrstvy teplejší než na jeho okraji. Různé teploty se projevují různými jasy, podobně jako u rozžhavených kamen.

V období slunečního minima je možné, že není ve fotosféře vidět vůbec nic význačného. Pak se omezíme na podání informací, co by bylo vidět v případě vyšší sluneční aktivity. V takovém případě je vhodné mít pro podobné situace připravené kresby nebo fotografie dokazující naše tvrzení. Fotografickou dokumentaci volně poskytuje celá řada institucí zabývajících se pravidelným pozorováním sluneční fotosféry. Z českých zmiňme patrolu Slunečního oddělení Astronomického ústav AV ČR v Ondřejově (www.asu.cas.cz/~sunwatch), ze zahraničních např. observatoř uprostřed Velkého medvědího jezera v Kalifornii (www.bbso.njit.edu). Cenné a homogenní údaje samozřejmě pořizují družice, neomezené děním v hlubokých vrstvách zemské atmosféry. V tomto smyslu je důležitým „kombajnem“ dvanáct přístrojů na palubě kosmické družice SoHO (sohowww.nascom.nasa.gov). Ze snímků lze sestavit působivou animaci zachycující dění ve fotosféře. Máme-li k dispozici jak kresbu, tak fotografie z družic, je možné oba typy materiálů zkombinovat a využít např. jako záchytný bod k diskusi o výzkumu Slunce.

Pokud lze ve sluneční fotosféře pozorovat alespoň některé projevy aktivity, věnujme se přímo jim. Ale i tak se informace o minulé aktivitě budou hodit.

Slunce jako hvězda

Na Hertzsprungově-Russellově diagramu, znázorňujícím závislost zářivého výkonu (absolutní hvězdné velikosti) hvězdy na její efektivní teplotě (spektrálním typu), leží Slunce na tzv. hlavní posloupnosti, přičemž jeho efektivní teplota činí 5800 Kelvinů¹ (spektrální typ G2V) a zářivý výkon $3,83 \times 10^{26}$ W. Vzhledem ke hvězdám v okolí do cca 150 parseků je Slunce hvězdou výrazně nadprůměrnou – přes 90 procent hvězd je totiž méně hmotných a méně zářivých než Slunce. V tomto vzorku je typickou hvězdou červený trpaslík s povrchovou teplotou kolem 3000 K, poloměrem a hmotností zhruba dvoutřetinovými ve srovnání se Sluncem. Pokud ovšem srovnáváme Slunce s pěti sty nejjasnějších hvězd hvězdné oblohy, zjišťujeme, že jen tři z nich mají menší zářivý výkon než Slunce. Jde o důsledek tzv. výběrového efektu, který zářivé hvězdy zvýhodňuje tím, že je dobře vidíme i z velkých vzdáleností.

Fyzikálně lze naši nejbližší hvězdu popsat jako kouli se žhavých plynů s hmotností $1,99 \times 10^{30}$ kg, poloměrem 695 980 km a efektivní povrchovou teplotou 5800 K. V povrchových vrstvách je sluneční materiál tvořen ze 74 hmotnostních procent z vodíku, 24 procent z helia a zbytek připadá na všechny ostatní prvky, zejména pak kyslík, dusík a uhlík. Prvkům těžším než helium se v astronomické hantýrce říká kovy. Průměrná hustota Slunce je 1,4krát větší, než je hustota vody, nicméně v důsledku vysoké teploty hvězdného nitra, činící několik milionů kelvinů, se tento materiál chová jako takřka ideální plyn.

Sluneční těleso je silně rozvrstveno. V samotném centru se nachází jádro, které zasahuje přibližně do cca 20 procent slunečního poloměru. V něm při teplotě 15,7 milionu kelvinů a hustotě 150krát větší než hustota vody probíhají termonukleární reakce. Při nich se jádra vodíku postupně spojují v heliová, přičemž se uvolňuje příslušná vazebná energie. Jádro obaluje slupka, v níž teplota není dostatečná na zapálení a udržení reakce, ale je dostatečná k tomu, aby byla pro v jádře vznikající fotony v podstatě průhledná. Tato vrstva zasahuje až do 70 procent poloměru a je nazývána vrstvou v zářivé rovnováze. Od 70 procent slunečního poloměru až k povrchu je plazma pro záření takřka neprůhledné. Přenos tepla z teplejšího nitra na relativně chladný povrch se zde děje prostřednictvím teplejších výstupných a chladnějších sestupných proudů, tedy tzv. konvekci. Konvektivní zóna zasahuje až těsně pod povrch.

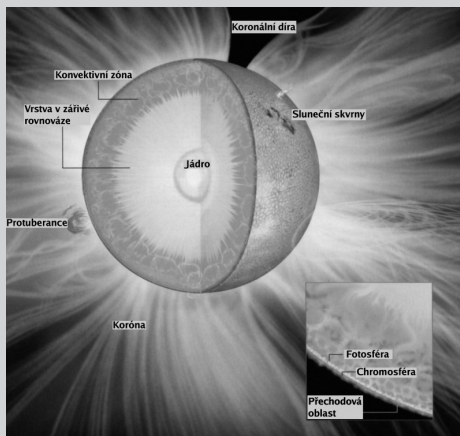
Viditelnému povrchu Slunce říkáme fotosféra (=koule světla). Fotosféra je však ve skutečnosti vrstva materiálu silná cca 300 km, z níž k nám ze Slunce přichází převážná většina viditelného světla. Fotosféra je jedinou sluneční vrstvou, kterou můžeme pozorovat bez speciálního vybavení. Nad ní se ještě nacházejí další vrstvy atmosféry: řídká a horká chromosféra, kterou můžeme pozorovat pomocí speciálně vybaveného dalekohledu, a velice rozsáhlá, horká, řídkounká koróna, kterou lze spatřit během úplného slunečního zatmění.

Hvězdy, které můžeme pozorovat na noční obloze, jsou našemu Slunci více či méně podobné. Podle hmotnosti se liší především v umístění jednotlivých vrstev – vrstvy v zářivé rovnováze a konvektivních vrstev – a jejich mohutnostech. Hvězdy horké a hmotné (spektrální typy O až A) mají konvektivní jádra, v nichž probíhají termonukleární reakce, obal je pak v zářivé rovnováze. Naopak u hvězd slunečního typu a chladnějších je jádro klidné a obal v konvektivním pohybu. Konvekce v těch nejchladnějších hvězdách zachvacuje celý vnitřek hvězdy.

¹ Kelvin (značka K) je alternativní jednotkou teploty, používanou zejména ve fyzice. „Délka“ kelvinu i celsiova stupně je stejná, obě stupnice jsou vzájemně posunuty o 273,15. Pro přepočet tedy platí jednoduše že: teplota v Kelvinech je teplota ve stupních Celsia zvětšená o 273,15. Tato stupnice má pro fyziky lepší vlastnosti, než stupnice Celsiova, a proto je zvykem v ní uvádět i povrchové teploty hvězd.

Hvězdné charakteristiky jsou různé. Co do hmotnosti se setkáváme s hvězdami se stovkou i setinou hmotnosti Slunce. Povrchové teploty bývají v rozmezí od 2000 K do bezmála 100 000 K. Poloměry hnědých trpaslíků jsou srovnatelné s poloměrem Saturnu, ti nejhmotnější bílí trpaslíci jsou menší než Mars, neutronové hvězdy mají poloměr 12 km. Naproti tomu ti nejrozměrnější červení veleobři bývají až tisíckrát větší než naše denní hvězda.

V takovém rozmanitém vzorku se najdou i hvězdy, jejichž parametry jsou podobné těm slunečním. Jednu ze Slunci nejpodobnějších hvězd můžeme pozorovat pouhým okem i od nás. Jedná se o druhou nejjasnější hvězdu souhvězdí Honičích psů (tedy s označením β CVn) se jménem Chara (sp. typ G0V). Leží ve vzdálenosti 27 světelných let, hvězdnou velikost má 4,26 magnitud. Je jen o 80 K teplejší než Slunce, o 8 procent hmotnější, 11 procent větší a o pětinu svítivější. Chara je asi o 400 milionů let starší než Slunce, nadto rotuje s velmi podobnou periodou. Asi o 300 milionů let mladším slunečním ekvivalentem je 18 Scorpii (sp. typ G5V) s vizuální hvězdnou velikostí 5,5 magnitud. Hvězda leží ve vzdálenosti 46 světelných let, je o 1 procento hmotnější, o 2 procenta větší a 5 procent svítivější s povrchovou teplotou o 9 K vyšší. I tato hvězda rotuje s podobnou periodou jako Slunce (23 dní oproti 25,4 dne).



Rez Sluncem a sluneční atmosférou.

Zajímavým slunečním ekvivalentem je 51 Pegasi. Jde o hvězdu spektrálního typu G5V ležící ve vzdálenosti 50 světelných let. Je o 6 procent hmotnější, 15–40 procent větší a 35 procent svítivější než Slunce. Je první hvězdou hlavní posloupnosti, u níž byla v roce 1995 detekována planeta s poetickým názvem 51 Pegasi b. Planeta obíhá ve vzdálenosti odpovídající osmině vzdálenosti Merkuru od Slunce, má hmotnost poloviční ve srovnání s Jupiterem a přibližně 1,5násobný poloměr. Povrchová teplota této planety musí přesahovat hodnotu 1000 °C. Detekce planet zemského typu je v takových soustavách úkolem budoucích družicových projektů. V současnosti jsou známy více než dvě stovky extrasolárních planet a jejich počet rychle přibývá. Aktuální seznam je dostupný na internetu na adrese <http://exoplanet.eu>.

Za Slunci nejvíce podobnou hvězdu je podle posledních studií považována hvězda s označením HIP 56948 nacházející se v souhvězdí Draka ve vzdálenosti přes 200 světelných let. Tento objekt se zdánlivou jasností přes 8 magnitud je jen o 5 stupňů teplejší, 15 % zářivější, přičemž je v rámci experimentálních chyb stejně hmotná. Odhaduje se, že tato hvězda je přesným slunečním ekvivalentem starším o cca 1 miliardu let. Co víc: předběžné studie ukazují, že pokud kolem ní obíhají nějaké planety, rozhodně nepatří do kategorie tzv. „horkých Jupiterů“, které prakticky znemožňují existenci planety podobné Zemi umístěné v obyvatelné zóně kolem hvězdy. V současnosti je HIP 56948 nejžhavějším kandidátem na nositele extrasolární planety, na níž by se mohl vyvinout život.

Příprava na pozorování

Má-li si návštěvník z demonstrace Slunce odnést dobrý dojem, je třeba si jeho pozorování předem nachystat.

Užitečné bývá nalézt jej v dalekohledu ještě před vstupem prvního návštěvníka do kopule. Zabrání se tak trapné situaci, kdy stále nervóznější demonstrátor v kopuli plné lidí se řadu dlouhých minut marně pokouší dostat Slunce do zorného pole dalekohledu. Návštěvník nechápe: Vždyť Slunce na oboze každý vidí, tak jak je možné, že demonstrátor, z pohledu návštěvníků profesionál, jej není schopen najít.

Nastavení Slunce do dalekohledu je odlišné od hledání jiných objektů hvězdné oblohy. Dalekohled totiž není možné na pozorovaný objekt jednoduše zamířit obvyklým postupem: *hrubá orientace – hledáček – hlavní dalekohled*. Čistě proto, že i hrubá orientace je proti slunečnímu svitu nepřesná a nepříjemná a pohled do hledáčku by mohl veškerá další pozorování definitivně znemožnit.

Nejbezpečnější je najít Slunce pomocí dělených kruhů na dalekohledu, známe-li souřadnice Slunce. Ty pro aktuální čas můžeme předem vypočítat podle údajů uvedených ve Hvězdářské ročence, kterou by měl mít každý demonstrátor k dispozici, nebo nám je pro daný čas přímo vypočítá libovolné počítačové planetárium. Ne všechny dalekohledy však mají dostatečně přesné dělené kruhy nezbytné k nastavení objektu. Pak doporučujeme namířit dalekohled na Slunce podle jeho stínu. Je-li tubus dalekohledu zaměřen na Slunce, bude jeho stín přesně kruhový (samozřejmě pokud má tubus kruhový průřez). Podobně stíny součástí na montáži budou právě nejmenší a nejostřejší. Můžeme si vypomoci dalekohledem vybaveným pro přímý pohled na Slunce a z hrubé polohy postupovat směrem „největšího jasu“. Světlo fotosféry se zejména ve městech silně rozptyluje a v blízkém okolí slunečního kotouče jsou změny jasu velmi dobře patrné.

Před samotným začátkem pozorování je vhodné připravit si materiály, na nichž je pak možné demonstrovat proměnnost sluneční fotosféry v čase. Výhodou jsou kresby pořízené minulý den nebo několik dní předem – kresbu lze snadno přiložit přímo na projekční desku a tak jednoduše konfrontovat změnu polohy i tvaru promítaných skvrn. Dobré jsou počítačové snímky nebo fotografie demonstující jednotlivé jevy pozorovatelné na Slunci – skvrny, granulaci, fakulová pole, protuberance a erupce.

Je kresba slunečního disku dnes již neatraktivním a nepoužitelným archaismem? V určitých ohledech jistě ano, ale má i své praktické výhody vůči počítačovým animacím. Tyto výhody oceníme zejména při demonstraci.

Při pozorování Slunce bývá celá kopule zalita slunečním světlem, čímž vzniká problém s nedostatečným kontrastem a nechtěnými odlesky na počítačových monitorech. Pokud nemáme v kopuli místo, které je trvale ve stínu a současně dobře viditelné návštěvníky, je velmi těžké provádět výklad a odvolávat se na obrázky, které jsou na lesknoucím se monitoru těžší vidět. Určitě se vyplatí nad technickým vyřešením tohoto problému zapřemýšlet. Druhou nevýhodou počítačových obrázků je pak to, že je jen těžko odnese k dalekohledu, aby si návštěvníci mohli přímo porovnat např. vývoj tvaru skupiny skvrn ve srovnání s včerejším obrázkem. Naopak kresby na standardním formuláři žádnou z těchto nevýhod netrpí. Co

víc, standardní formulář je z tvrdého papíru, takže práci s ním neohrozí ani průvan. To bývá nevýhoda vytištěných materiálů, které se na měkkém papíře ve větru snadno ohýbají a deformují. Technické řešení tohoto nedostatku je však jednoduché. Stačí využít pevných matných průhledných desek.

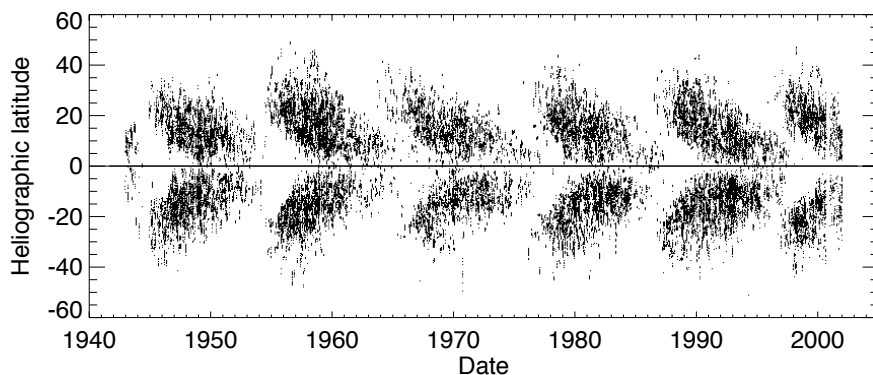
Neškodí také několik dní před chystanou demonstrací sledovat aktuální dění. Např. pokud dojde den až dva dny před prováděným pozorováním k silné erupci doprovázené koronální ejekcí hmoty, můžeme návštěvníky upozornit na možnost polárních září (a samozřejmě vysvětlit, jak tyto jevy vznikají). Podobně se vyhneme trapnému tichu v případě, že ve fotosféře není žádná skvrna a návštěvník se zeptá, jestli nebyly na Slunci skvrny především, neboť ho příšerně bolela hlava. Jinou stránkou věci už je, zda mohou mít sluneční skvrny vliv na bolesti hlavy návštěvníků – o tom ale až v kapitole o kosmickém počasí.

Sluneční skvrny a další projevy sluneční aktivity

Ač se to nám, lidem poklidně žijícím na planetě Zemi, nezdá, Slunce je hvězdou proměnnou. Naštěstí pro nás je její proměnnost z hlediska změn zářivého výkonu takřka neznamatelná. Znaky sluneční proměnnosti se obecně shrnují do jednoduchého označení sluneční aktivity. Aktivita, jež je spjatá se změnami slunečního magnetického pole, má mnoho projevů, jimž se budeme věnovat dále.

Nejnápadnějšími a mezi širokou veřejností též nejznámějším projevem sluneční aktivity jsou sluneční skvrny. Ty jsou za výjimečných podmínek (v maximu aktivity i několikrát do měsíce) pozorovatelné pouhým okem. Jinak k jejich spatření potřebujeme příslušně vybavený dalekohled. Velmi dobře jsou patrné i při projekci slunečního kotouče.

Při pozorování s veřejností je vhodné nejdříve upozornit na to, čeho si mají návštěvníci všimnout. U velkých skvrn lze dobře rozlišit tmavou a kompaktní *umbru* (stín) a světlejší



Motýlkový diagram sestavený z pozorování prováděných v japonské Mitace.

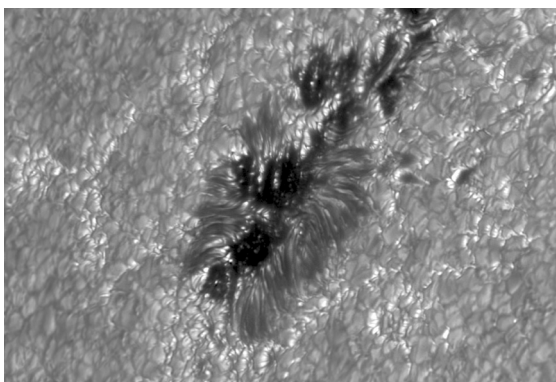
12 Sluneční skvrny a další projevy sluneční aktivity

lemující *penumbru* (polostín). U složitých skvrn může dojít ke spojování penumbry v jednu kompaktní obálku obsahující v sobě mnoho tmavých umbrálních jader. Za vynikajících pozorovacích podmínek lze u rozvinutých velkých skvrn shledat, že penumbra není jednodílná, ale je tvořena vlákny, jež jakoby vycházejí ze středu skvrny.

Při demonstraci slunečních skvrn je výhodné jejich rozměry odhadnout v rozměrech planety Země. Jednak to bývá malé číslo, které si návštěvník snadno zapamatuje, navíc takovéto srovnání naší planetární domovinou zaujme a často i šokuje více než suché údaje v kilometrech. Pro odhad stačí, když budeme-li pamatovat, že pro 25 cm průměru promítnutého slunečního disku, což je shodou okolností rozměr standardních zakreslovacích formulářů, odpovídá rozměr Země ploše s průměrem 2,5 milimetru.

Pozornému pozorovateli Slunce neunikne, že se skvrny na jeho povrchu nevyskytují rovnoměrně. Zejména ty vyvinutější jsou často pozorovány ve skupinách, v jakýchsi hnízdech. Tyto takzvané *aktivní oblasti* jsou přímým důsledkem existence magnetických polí protínajících rovinu fotosféry a stimulující vznik veškerých aktivních jevů. Skvrny v jedné skupině spolu vývojově souvisejí, jsou navzájem prostřednictvím magnetického pole provázány a mohou se navzájem spojovat v kompaktnější útvar.

Při demonstraci je vhodné poukázat na změnu tvaru a polohy slunečních skvrn s časem. Den dva stará skica pak při porovnání s aktuálním stavem jasně ukáže, že se sluneční skvrny nejenom pohybují, ale že se též mění jejich tvar, rozloha i počet. Lze zde též demonstrovat, že pohyb skvrn je uspořádaný a že je důsledkem sluneční rotace. Slunce ovšem nerotuje jako tuhé těleso – rychleji se otáčí na rovníku, a to s periodou přibližně 25 dní, zatímco u pólů rotuje s periodou cca 35 dní. Máme-li k dispozici sadu kreseb pořízených s jednodenní kadencí nebo sekvenci pozorování pořízených např. kosmickými družicemi, můžeme na nich předvést i vývoj samotných aktivních oblastí.



Oblast slunečních skvrn a okolo se rozprostírající vlákna jasnějších fakul. 8. září 2004, © Swedish Royal Academy of Sciences.

Dobré je též pohovořit o hlavním, jedenáctiletém cyklu sluneční aktivity, s nímž se mění počet a četnost výskytu skvrn ve fotosféře. Zatímco v období slunečního minima někdy i několik desítek dnů není ve fotosféře k vidění jediná skvrna, v období maxima není výjimkou, že se nám podaří napočítat ke dvěma stovkám skvrn v desítkách aktivních oblastí. Poslední maximum sluneční aktivity nastalo v první polovině roku 2001, další se očekává v roce 2012. Numerické modely sluneční aktivity předpovídají, že ten příští cyklus by měl být silnější než ten dobíhající. Pokud se tyto predikce naplní, můžeme se někdy kolem roku 2010 těšit na Slunce poseté množstvím velkých a komplikovaných skvrn.

Skvrny se běžně vyskytují jen v poměrně těsném okolí slunečního rovníku, v tzv. *královských pásech* mezi heliografickými šířkami² -40° a $+40^\circ$ stupňů. V průběhu slunečního cyklu se začínají objevovat nejprve ve vysokých heliografických šířkách a s jeho pokračováním postupně přesouvají do rovníkových oblastí. V končící fázi slunečního cyklu nalezneme ojedinělé skvrny výhradně v nízkých heliografických šířkách, kde se objevují v rozmezí dnů. Migrace skvrn k rovníku během jedenáctiletého cyklu se označuje Spörerovým zákonem a pokud si vykreslíme heliografické šířky vyskytujících se skvrn v čase, získáme známý motýlkový diagram. Gustav Spörer byl německý astronom žijící v 19. století, který dospěl nezávisle k podobným zákonitostem chování skvrn v čase jako jeho známější současník Richard Carrington. Byl také vůbec prvním pozorovatelem, který poukázal na citelný „nedostatek“ slunečních skvrn v období mezi roky 1645 a 1715, tedy v období tzv. Maunderova minima. Aby byl v označování ještě větší zmatek, je třeba podotknout, že Spörerův zákon byl vlastně poprvé zaznamenán Carringtonem. Historie vědeckých objevů je někdy velmi složitá.

Kromě tmavých slunečních skvrn si můžeme ve fotosféře všimnout přítomnosti jasnějších vláknitých struktur. Jedná se o tzv. *fakule*, útvary v magnetických oblastech, které jsou přibližně o 500 stupňů teplejší než okolní fotosféra. Jejich výskyt bývá vysvětlován propadem oblasti se silným magnetickým polem oproti jejich okolí až o cca 700 km. Fakule jsou pak v principu horké stěny takové propasti, které jsou teplejší než samotný povrch, neboť teplota směrem do nitra Slunce monotónně roste. I z tohoto důvodu jsou dobře pozorovatelné především v okrajových částech slunečního disku, kdy se díváme do vzniklé propasti více z boku a máme tedy na žhavé stěny dobrý výhled.

Jasně fakule jsou tím hlavním důvodem, proč i v situaci, kdy je na Slunci velké množství tmavých skvrn, je jeho celkový zářivý výkon ve skutečnosti ještě asi o 1 promile vyšší. Teplotní rozdíl mezi fakulemi a okolní fotosférou není sice tak velký, aby dokázal při srovnatelné ploše vyrovnat energetický deficit způsobený skvrnami, ale fakulí bývá na plochu běžně čtyřikrát více. Na rozdíl od skvrn je navíc najdeme i v polárních oblastech.

Magnetické Slunce

Ve slunečním cyklu sehrávají hlavní roli neustále se měnící lokální magnetická pole. Ta jsou odpovědná za vznik slunečních skvrn, vzplanutí slunečních erupcí i architekturu mohutných oblouků slunečních protuberancí. Bez magnetického pole by bylo naše Slunce jen fádni koulí žhavých plynů. Slunce bez magnetického pole by zřejmě rotovalo poněkud rychleji, v důsledku toho by se jevílo jako o něco „mladší“ hvězda. Nukleární vývoj u rychle rotujících hvězd totiž probíhá pomaleji než pro pomale rotující hvězdu o stejné hmotnosti. Naše Slunce by omládl asi o 300 milionů let se všemi důsledky, mezi něž patří i přibližně o 5 až 10 % nižší svítivost, nižší by byl i příděl sluneční energie na Zemi.

Magnetické pole Slunce je nejspíše pozůstatkem magnetického pole obsaženého již v zárodečném prachoplynovém oblaku, z něhož se Slunce před přibližně pěti miliardami let zformovalo. Jakkoli bylo toto prapůvodní magnetické pole slabé, jeho otisk se dodnes uchovává v globálním slunečním magnetickém poli, jehož magnetická indukce nepřesahuje několik málo desetitisícin teslů. Dynamické projevy zejména na rozhraní vrstvy v zářivé rovnováze

² Podobně jako na Zemi i na Slunci existuje souřadnicový systém odpovídající systému zeměpisná šířka-zeměpisná délka. V případě Slunce však získaly obě souřadnice přívlastek heliografická. Protože Slunce není tuhé těleso a rotuje diferencially, není tento souřadnicový systém spojen přímo se slunečním tělesem, ale byl zaveden definitoricky. Odpovídá tuhému tělesu rotujícímu se střední rychlostí rotace slunečních skvrn.

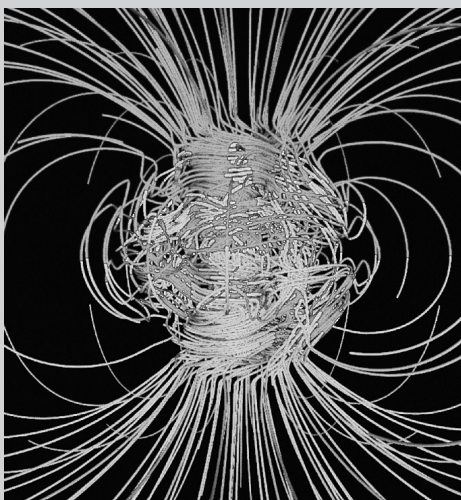
14 Magnetické Slunce

a mohutné podpovrchové konvektivní zóny dokáží toto slabé globální pole zesílit až o čtyři řády. Toto magnetické pole se pak vynořuje do sluneční fotosféry.

Veškerá hmota ve Slunci je v stavu silně ionizovaného plazmatu. Slunce je sice navenek elektricky neutrální, ale většina jednotlivých částic (elektrony a ionty) nese svůj specifický elektrický náboj. Na elektricky nabitě částice v přítomnosti magnetického pole v důsledku Lorentzovy síly vykonávají spirálovitý pohyb kolem siločar, postup kolmo k nim je takřka zakázán.

To umožňuje pochopit povahu dějů v ionizované sluneční atmosféře, lze tak vysvětlit i vznik slunečních skvrn. Horké plazma nesoucí teplo z hlubokého slunečního nitra se v takových oblastech nemůže prodrat magnetickou bariérou, díky čemuž se do kompaktních magnetických oblastí dostává výrazně méně energie a oblast je tedy méně vyhřívána. Stává se tak chladnější. Teplota ve slunečních skvrnách se pohybuje kolem 4000 °C, zatímco okolní fotosféra má teplotu o 1500 °C větší. Tento teplotní kontrast zcela dostačuje k tomu, abychom skvrny vnímali jako velmi tmavé. Ve skutečnosti jde ale o přímo oslnivé zdroje světla. Vždyť kdyby bylo celé Slunce dokonale pokryto jednou obrovskou skvrnou, vysílalo by do prostoru jen o 40 % méně energie, než v současnosti, což přibližně odpovídá situaci, když je na Zemi svit Slunce ztlumen hustými mraky.

Magnetické pole prostupuje fotosférou a dostává se do vyšších vrstev atmosféry. Některé jeho smyčky prostupují celým meziplanetárním prostorem. Nízký okolní tlak již nenutí magnetickou trubici držet malý průřez, takže intenzita magnetického pole v chromosféře, koróně a meziplanetárním prostoru opět klesá. V okolí Země pak dosahuje několika málo nanoteslů (0,000 000 001 T), avšak v případě pohybujícího se plazmového oblaku může až o dva řády stoupnout.



Bez magnetického pole by bylo Slunce jen velmi nudnou hvězdou. Nejrůznější metody umožňují slunečním fyzikům zobrazit myšlené siločáry zvyrazňující struktury jinak neviditelného magnetického pole. Složitě klubko měnicí se v čase je v pozadí všech aktivních projevů a procesů.

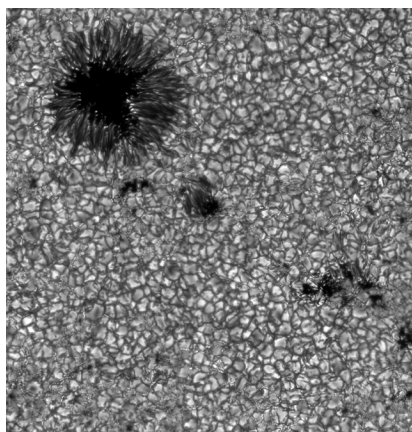
© Pittsburg Supercomputing Center

Granulace

Za výjimečně dobrých pozorovacích podmínek si můžeme povšimnout, že obraz sluneční fotosféry není zcela homogenní, ale že má jistou drobnou zrnitou strukturu, připomínající rozsýpanou rýži. Při větším zvětšení můžeme postřehnout, že se vzhled rýžového nákypu co deset minut mění.

Časté tvrzení, že můžeme za výborných podmínek při pozorování metodou projekce spatřit sluneční granulaci, je však přinejmenším nepřesné. Sluneční granule jsou přechodné útvary s typickým rozměrem 1000 km a dobou života několik málo minut. Pokud tedy pozorujeme Slunce v projekci na standardní formulář s průměrem 25 cm, projeví se sluneční granule jako útvar s rozměrem 0,2 mm! Vzhledem ke struktuře papíru by tak malé podrobnosti nebylo možné pozorovat. Naštěstí se však granule vyskytují v jakýchsi víceméně uspořádaných skupinách o několika málo členech, a tyto skupiny již lze při projekci spatřit. Při přímém pohledu do dalekohledu s dostatečným zvětšením by bylo možné běžně pozorovat i jednotlivé granule, pokud by tomu nepřekáželo chvění vzduchu, které neustále zejména ve městech rozmývá pohled na Slunce. Jednotlivé granule je tak možné spatřit jen zcela výjimečně.

Granulace je přímým důsledkem konvekce v podpovrchových vrstvách Slunce, děje který zde zajišťuje přenos energie z nitra na povrch³. Ke konvekci ve hvězdě dochází tehdy, není-li tepelná vodivost látky dostatečná k tomu, aby se energie do vrstvy přicházející mohla odvádět jiným mechanismem přenosu, tedy zářivou difúzí nebo vedením. Vezměme si naši analogii hliníkového oleje. Plotna dodává teplo, která zahřívá nejspodnější část olejové vrstvy. Ta se ohřívá, avšak mnohem rychleji, než je možné odvádět dodanou energii mechanismem vedení. Spodní část tedy získává vyšší teplotu a tím i nižší hustotu než části nad ní. V důsledku Archimédova zákona proto začnou bubliny přehřátého oleje stoupat směrem nahoru. Jakmile dosáhnou rozhraní oleje a vzduchu, dostanou příležitost předat svoji přebytečnou tepelnou energii vzduchu. Tím však jejich teplota opět poklesne a hustota stoupne. Na jejich místo se tak derou přehřáté méně husté bubliny ze spodních částí olejové lázně. Proces bude fungovat cyklicky tak dlouho, dokud bude odspodu dodávána energie. Zastaví se, jakmile plotýnku vypneme a příkon energie odspodu bude natolik malý, že se toto přebytečné teplo bez problémů stačí odvést pomalým vedením.



Granulace v okolí sluneční skvrny z 22. srpna 2003. Kromě skvrny je možné vidět i několik pórů a i několik oblastí obsahujících malé magnetické elementy v mezigranulárních prostorech. © DOT

Zmíněný model konvekce je však značně zjednodušený a ve hvězdách nefunguje přesně takto. Už proto, že sluneční konvektivní vrstva je přibližně 200 000 km tlustá. Obří konvektivní bubliny vznikající na jejím dně se v důsledku chaotičnosti konvektivního přenosu energie neudrží po celou svou cestu a postupně se drobí na menší a menší. Teprve v těsné podpovrchové vrstvě se rozpadne až na samotné granule.

Speciálními metodami lze pozorovat ještě jiné tzv. konvektivní mody, čili v podstatě projevy konvekce s jiným rozměrem – *mesogranulaci* (s průměrem buněk cca 6 000 km) a *supergranulaci* (s buňkami s rozměrem kolem 30 000 km). Ty však nelze postihnout amatérskými metodami.

³ Konvekci si můžete nasimulovat i v domácích podmínkách – potřebujete k tomu jen olej a jemný práškový hliník, například takový, který je možné zakoupit jako součást dvousložkové stříběnky (kterou musíte před použitím nejdříve rozmíchat). Když směs oleje a hliníkového prášku postavíme na plotýnku a pomalu zahřejeme (olej se nesmí vařit!), pak na hladině této bizarní soustavy uvidíme něco jako část „funkční sluneční fotosféry“.

Detailní Slunce

V amatérských podmínkách nelze dosáhnout dostatečně dobrých rozlišení. Chvění atmosféry omezuje i za vynikajících podmínek limit na 1", což odpovídá rozměru 750 km na slunečním povrchu. Za nejlepších podmínek se tak dostáváme jen na samou hranici rozlišitelnosti jednotlivých sluneční granulí. Sluneční fyziky však zajímá i dění na menších škálách.

Předně nám pomohla tzv. adaptivní optika. Jakkoli je rozlišovací schopnost dalekohledu dána jednoznačně průměrem jeho objektivu, nelze ji plně využít, neboť mezi Sluncem a dalekohledem se nachází několik kilometrů silná vrstva pozemského atmosférického oceánu. Ten je optickým prostředím, jehož index lomu se vlivem turbulence neustále mění. Adaptivní optika umožňuje s použitím deformovatelných zrcátek a rychlého vyhodnocování momentálního stavu atmosféry tyto vlivy velmi účinně potlačit. Pokud dalekohled pracuje na místě, kde za výjimečných podmínek umožňují turbulence v zemské atmosféře pozorování detailů s úhlovým rozměrem 0,5" (takovým místem jsou např. Kanárské ostrovy), pak použití adaptivní optiky v téměř místě za týčích výjimečných podmínek umožní pozorování detailů až s úhlovým rozměrem 0,1", což odpovídá 75 km ve sluneční fotosféře. Adaptivní optika tak dokáže zlepšit rozlišovací schopnost dalekohledu skoro až k nepřekročitelné hranici dané vlnovou povahou pozorovaného světla. S její pomocí je již možné studovat nejen jednotlivé sluneční granule ale i jejich vnitřní strukturu.

Ještě dále se lze dostat, využijeme-li počítačové zpracování obrazu. Pořizujeme-li si obrázky slunečního povrchu dostatečně citlivou kamerou s kadencí několika desítek snímků za sekundu, získáme poměrně ostré, nerozmyté snímky. Turbulence zemské atmosféry totiž změní obraz Slunce asi tak dvacetkrát za sekundu, jednotlivé snímky jsou turbulentě téměř nezasaženy. Nicméně turbulence již hraje roli, pokud mezi sebou porovnáváte jednotlivé snímky série. Metodou tzv. skvrnkové interferometrie však dokážete takovou sérii rychle za sebou jdoucích „mírně rozmáznutých“ snímků složit v jediný, téměř dokonale ostrý výsledný.

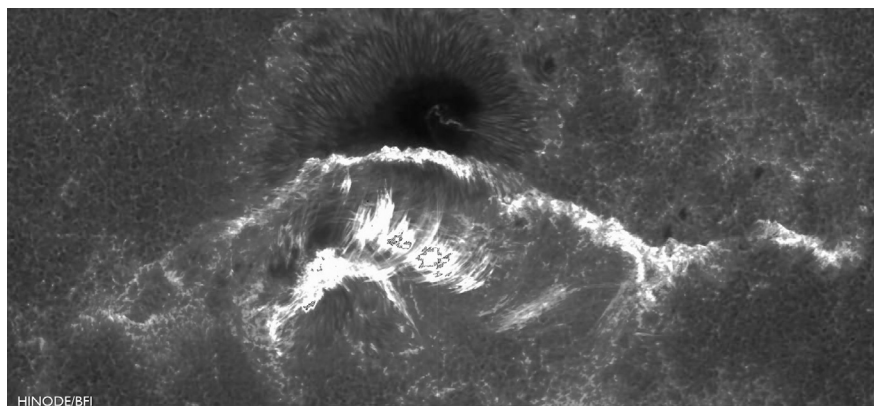
Na jiném principu pracuje metoda fázové diverzity, která využívá informace uložené v ostrém a úmyslně o známý parametr rozostřeném snímku k rekonstrukci obrazu neovlivněného atmosférou. Metoda využívá optických principů umožňujících vypočítat výsledný obraz, ovlivněný průchodem atmosférou a optickou soustavou v různých místech za okulárem. Pro dva obrazy získané v ohnisku optické soustavy a ve známé vzdálenosti od ohniska je pak možné složit rovnice invertovat a získat z nich popis jinak neznámého porušení obrazu atmosférou. Pak je již poměrně snadné toto porušení z pořízeného snímku odstranit.

Matematické metody v kombinaci s adaptivní optikou umožňují pozorování Slunce s vysokým prostorovým rozlišením, kdy se již dostáváme na samotné hranice pozorovatelnosti. Tzv. střední volná dráha fotonu ve sluneční fotosféře je přibližně 70 km. To v podstatě znamená, že útvary pozorované dalekohledem jsou v důsledku pravděpodobnostních jevů rozmáznány a není možné získat informace s rozlišením lepším, než je střední volná dráha fotonu. Tento parametr však není naštěstí konstantní pro celou fotosféru a tak např. ve slunečních skvrnách zřejmě dosahuje menších hodnot. To je povzbuzující pro další rozvoj techniky – stále má smysl stavět větší dalekohledy umožňující podívat se na Slunce ve větších a větších detailech.

Protuberance a erupce

Doposud jsme se zabývali sluneční fotosférou, vrstvou, k jejímuž pozorování nepotřebujeme nákladné vybavení. Nad sluneční fotosférou se však vyskytují další dvě vrstvy sluneční atmosféry – chromosféra a koróna. Na jejich pozorování už speciální vybavení potřebujeme. V současnosti již nejsou odpovídající přístroje tak nákladné, aby si jej větší hvězdárna nemohla dovolit. Dokonce jsou v možnostech jednotlivců a cenově se příliš neliší od pořízení většího amatérského zrcadlového dalekohledu. Možnosti a služby poskytované návštěvníkům však stoupnou výrazně.

Obě vyšší vrstvy sluneční atmosféry jsou beznadějně přezářeny fotosférou. Až 98 % viditelného světla pochází právě z fotosféry, takže na chromosféru s korónou toho moc nezůstává. Pravý důvod je ukryt ve fyzikálních principech. Fotosféru lze považovat za vrstvu v lokální termodynamické rovnováze. To znamená, že plyn ve fotosféře je dostatečně hustý, aby vyzařoval pouze na základě své teploty tak, jak mu to předepisuje Planckův zákon. Ten látce o určité teplotě přikazuje svítit prakticky na všech vlnových délkách, nejvíce pak na $\lambda = 2.9 \times 10^{-3} / T$, kde λ je vlnová délka maxima vyzařování (v metrech) a T teplota v kelvinech. Při teplotě 6000 kelvinů je maximum vyzařování na vlnové délce kolem 500 nanometrů, tedy zelenožluté oblasti viditelné části spektra.



13. prosince 2006 zaznamenal přístroj SOT na družici HINODE zajímavý vývoj dvou kolidujících skvrn, který vyústil v silnou sluneční erupci.

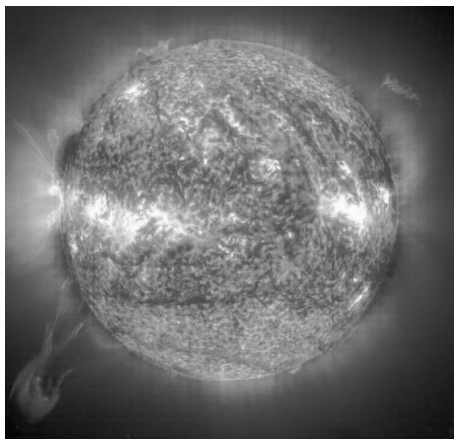
Naopak chromosféra ani koróna již v lokální termodynamické rovnováze nejsou. Díky tomu září pouze na izolovaných spektrálních čarách chemických prvků, které se v ní vyskytují. V případě chromosféry převažuje tzv. Balmerova série vodíku, z níž je nejvýraznější čára H- α vyskytující se v červené oblasti viditelné části spektra. Koróna je naopak tak horká, že září na spektrálních čarách velmi ionizovaných kovů, typicky v dalekém ultrafialovém nebo rentgenovém oboru spektra. Toto záření nejsme schopni na povrchu Země pozorovat proto, že jeho převážnou většinu pohlcuje ztenčující se ozónová vrstva. Na pozorování koróny si tak astronomové museli počkat až do druhé poloviny 20. století, kdy začala být prováděna pozorování v rentgenovém a ultrafialovém oboru. Nejprve z výškových raket a posléze

z oběžné dráhy (úspěšná sluneční observatoř byla na palubě americké kosmické stanice Skylab v 70. letech minulého století).

Bez speciálního vybavení existuje jediná příležitost, kdy můžeme obě vyšší vrstvy atmosféry pozorovat – během úplného slunečního zatmění. Úhlový průměr Měsíce totiž shodou okolností přibližně odpovídá úhlovému průměru Slunce, takže pokud je Měsíc v uzlu své dráhy a současně v novu, jednoduše se nasune před sluneční disk a fotosféru zakryje. Kolem temného měsíčního disku je pak možné spatřit růžovou chromosféru a stříbřitou korónu.

Jak je to ale možné? Vždyť koróna září v čarách vysoce ionizovaných kovů a je tudíž pozorovatelná jen mimo zemskou atmosféru. Vysvětlení je zcela jednoduché – to, co pozorujeme při úplných zatměních, totiž není vlastním světlem koróny. Jedná se o světlo fotosféry, které je rozptýlené na volných elektronech, které se ve větších koncentracích vyskytují podél siločar koronálního magnetického pole. Proto je sluneční koróna při pozorování slunečního zatmění tak „střapatá“ – zvýrazněny jsou jen oblasti se smyčkami magnetického pole (tzv. přilbicové paprsky), zatímco z oblastí bez magnetického pole nebo s magnetickým polem otevřeným do meziplanetárního prostoru příliš mnoho záření nepřichází (tzv. koronální díry).

Magnetické smyčky v chromosféře a koróně se typicky rozpínají jako mohutné oblouky nad oblastmi slunečních skvrn, ale také mohou propojovat oblasti vzdálených magnetických polí, v nichž se skvrny nemusí vytvořit. Smyčky se často vyplní relativně chladným plazmatem, které na siločarách dlouhodobě visí jako peřiny na prádelní šňůře. Taková oblaka plazmatu mohou zaplnit značnou část magnetické smyčky vypínající se nad fotosférou – vzniká sluneční *protuberance*. Protuberance je tedy relativně hustý a chladný oblak plazmatu, který rozptyluje a přeroděluje záření přicházející odspodu. Pokud se protuberance promítá proti slunečnímu disku, je oproti němu relativně tmavší. To proto, že je chladnější než fotosféra a záření přicházející odspoda částečně rozptyluje i do jiných směrů – ostatně jinak bychom protuberanci nemohli nad slunečním okrajem vůbec vidět. Protuberance táhnoucí se jako tmavý had přes sluneční disk se označuje jako *filament*.



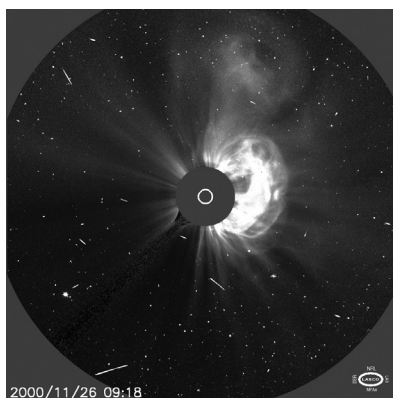
Protuberance pozorovaná přístrojem EIT na družicové observatoři SoHO.

Pokud tedy chceme chromosféru nebo korónu pozorovat, musíme buď dlouho čekat na sluneční zatmění a užít si těch několik desítek až stovek sekund, nebo si musíme pořídit odpovídající vybavení. S ohledem na fakt, že úplné sluneční zatmění bývá na jednom místě zemského povrchu pozorováno jednou za několik stovek let – v zemích českých se tato situace zopakuje až v roce 2135, naposledy nastala v roce 1706 – je celkem jasné, že se vyplatí investice do speciálního vybavení. Malý dalekohled vybavený úzkopásmovým filtrem

propouštějícím pouze záření v oblasti spektrální čáry H- α lze pořídit již za několik desítek tisíc korun. Pokud je hvězdárna zařízena především na provoz pro veřejnost a pozorování Slunce patří mezi jednu z důležitých náplní, pak se investice do tohoto přístroje jednoznačně vyplatí. Zkušenosti navíc ukazují, že návštěvníci bývají docela spokojení, ukážeme-li jim fotosféru se slunečními skvrnami, jenže něco takového prostě očekávají. Spatří-li však sluneční protuberance nebo filamenty, bývají přímo nadšeni. Navíc, pozorování chromosférickým dalekohledem je ideálním odrazovým můstkem k výkladu zabývajícím se energetickými jevy ve sluneční atmosféře a vztahy Slunce-Země.

Pořízení dalekohledu s H- α filtrem má ovšem i svá negativa. Zařízení správně pracuje jen v určitém rozmezí teplot, takže se musí v zimě vyhřívat. Trvanlivost levnějších filtrů také není neomezená a počítá se nanejvýš na několik roků. Zejména pokud je filtr exponován denně. Jinak bývá provoz chromosférických dalekohledů vcelku bezproblémový.

Existuje i přístroj, který umí v dalekohledu „simulovat“ úplné sluneční zatmění a tak umožňuje pozorování vnitřních částí koróny. Tento přístroj se nazývá korónograf a byl poprvé zkonstruován v roce 1930 Bernardem Lyotem. Do ohniskové roviny objektivu je v takovém případě vložen terčík, který zastíní vnitřní část zde vznikajícího obrazu. Do okuláru tedy dále vstupuje pouze světlo vně sluneční fotosféry a my pozorujeme vnitřní vrstvy koróny a vnější vrstvy chromosféry, zejména pak protuberance prostupující až do koróny. Ve skutečnosti je přístroj velmi složitý a jeho ovládání není nejjednodušší. Ke spatření skutečné koróny navíc totiž nestačí jen zaclonit sluneční disk, jelikož jas oblohy způsobený rozptýleným světlem je vyšší než jas koronální. Korónograf je proto nutné vybavit filtrem, nejčastěji polarizačním, neboť rozptýlené světlo v atmosféře a vlastní světlo koróny mají jiné polarizační vlastnosti. Pořízení moderního korónografu je věcí nákladnou s jen velmi málo výhodami, jeho základní funkce atraktivní pro návštěvníky totiž zastane chromosférický dalekohled.



Koronální ejekce hmoty zaznamenaná korónografem LASCO na družici SoHO.

Máme-li štěstí, je možné v chromosférickém dalekohledu v období zvýšené sluneční aktivity pozorovat zjasnění trvající od několika minut až po desítky minut. Často je toto zjasnění doprovázeno například rozpadem filamentu v téměř místě. Zahlédli jsme *sluneční erupci*.

Sluneční erupci předchází poměrně specifická konfigurace magnetického pole v koróně. Dochází k ní v místě, kde jsou vnějšími vlivy (například pohyby ve fotosféře, které unášejí spodní části smyčky a deformují tak tvar pole i nad fotosférou) k sobě tlačeny siločáry s opačnými polaritami. Nuceně přiblížení smyček uloží do konfigurace magnetického pole velké množství volné energie. Když se opačné siločáry přiblíží příliš blízko, odhaduje se, že na méně než 100 km, dojde k jejich přepojení do stabilní konfigurace – *magnetické rekonexi*. Při ní se uvolní nashromážděná energie ve formě elektromagnetického záření

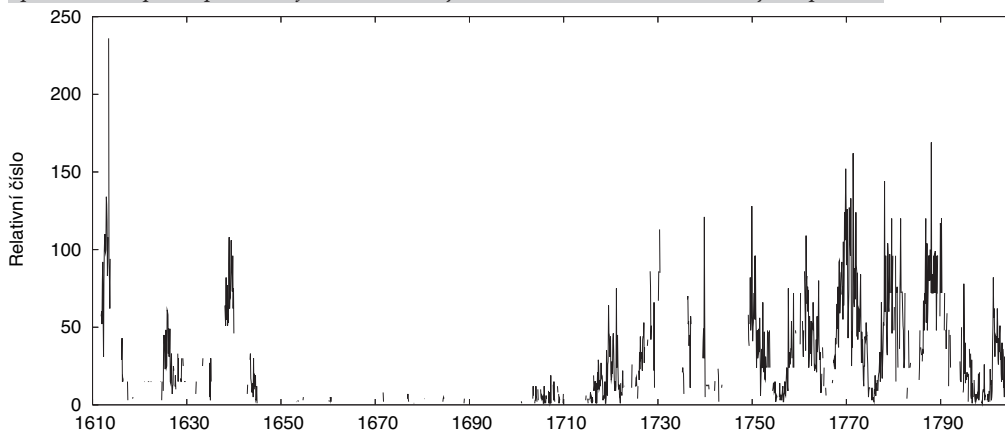
a vysoce energetických nabitých částic. Svrchní část magnetické smyčky se po rekonexi stane samostatně existujícím objektem, který získá pohybovou energii a začne se ve formě zmagnetizovaného plazmového oblaku šířit do meziplanetárního prostoru. Kosmické družice pozorují *koronální ejekci hmoty* – CME (coronal mass ejection).

Částice bombardují plazma v chromosféře v místě, které leží pod rekonexním bodem, a donutí chladnější látku zářit. V tom okamžiku můžeme v chromosférickém dalekohledu pozorovat zjasnění – *chromosférickou erupci*. Ve výjimečných případech mají částice tak vysokou rychlost, že mohou bombardovat až fotosféru. I zde pak pozorujeme krátkodobé zjasnění, tentokrát již v celém viditelném oboru spektra – pozorujeme *bílou erupci*. Bílé erupce jsou výjimečným jevem vyskytujícím se zřejmě pouze několikrát za cyklus sluneční aktivity. Jsou pozorovatelné i na projekci a nemívají dlouhého trvání. Ostatně první taková sluneční erupce byla spatřena Richardem Carringtonem 1. září 1859 právě v okamžiku, kdy zakresloval složitou skupinu slunečních skvrn. První bílá erupce v historii slunečního výzkumu trvala asi jednu minutu.

Cyklické Slunce

O jedenáctileté periodě ve výskytu slunečních skvrn věděli již staří Číňané před dvěma tisíci lety, kteří nezatíženi aristotelovskou představou o neměnnosti nebes si velmi dobře všímali dění na obloze. Jejich pozornosti neunikly občas spatřitelné velké sluneční skvrny, pozorované těsně po východu a těsně před západem Slunce nebo přes mlhavý opar, který dostatečně zeslabil jas sluneční fotosféry.

O znovobjevení jedenáctiletého cyklu se postaral v roce 1843 Heinrich Schwabe. Přestože v tomto roce pozoroval Slunce po 312 dní, zaregistroval pouhých 34 skupin skvrn. Přitom např. o šest let dříve spatřil za celý rok skupin 333 v průběhu 168 dní. Když si pro každý rok od roku 1826 vynesl počet dní v roce, po něž na Slunci nespatril jedinou skvrnu, zcela přesvědčivě spatřil přibližně jedenáctiletou cykličnost. Podobná křivka mu vyšla, pokud



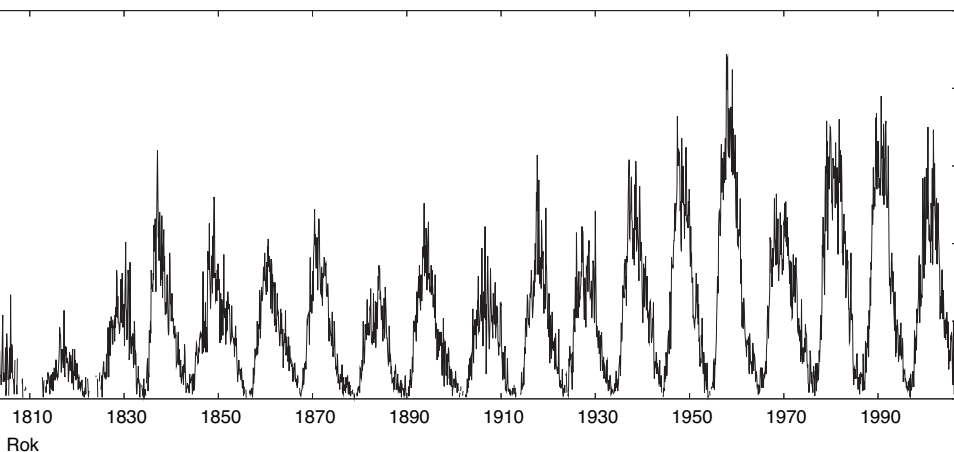
Graf relativního čísla slunečních skvrn od roku 1610 po současnost. Před začátkem systematického pozorování v 19. století mohou být údaje poněkud zkreslené.

vynášel počet skupin, které v daném roce spatřil. Získaný závěr je jednoznačný – Slunce podléhá přibližně jedenáctiletému cyklu aktivity, během něhož se mění počet skupin slunečních skvrn. V maximu se skvrny vyskytují častěji a ve větším množství, zatímco v minimu se objevují pouze sporadicky a ojediněle. Schwabeho pozorování bylo mnohokrát potvrzeno a snadno jej můžete potvrdit i vy, pokud budete mít dost trpělivosti. Délka jedenáctiletého cyklu se mění v rozmezí 8 až 16 let.

Jedenáctiletá perioda se neprojevuje jen v počtu slunečních skvrn, ale obecně ve výskytu všech projevů sluneční aktivity. V maximu cyklu se pozoruje více erupcí a bývají mohutnější, fakulová pole jsou častější a mívají větší plochu. Častěji můžeme pozorovat koronální výrony hmoty a s tím související polární záře na Zemi. Cykličnost prostupuje celým slunečním nitrem, jedenáctiletou peridou lze detekovat i v neutrinovém toku, tedy v počtu částic, které vznikají v samotném slunečním jádru. Díky svému malému účinnému průřezu téměř bez odporu pronikají celým slunečním nitrem i atmosférou, takže poskytují jedinečnou téměř okamžitou informaci o dění v nitru.

Ve skutečnosti je jedenáctiletá perioda částečně falešná. Skutečná perioda, ta, která má astrofyzikální základ, je totiž dvojnásobná. Její objev však musel čekat až do roku 1890, kdy byl Georgem Ellerym Halem zkonstruován spektroheliograf. Tento přístroj umožnil pozorování Slunce v jednotlivých spektrálních čarách a jejich záznam na fotografickou desku. Od toho byl již jen krůček k objevu silného magnetického pole ve skvrnách. Systematické měření polarity slunečních skvrn pak vedlo k pozorování, podle něhož se celková polarita magnetického pole Slunce jednou za jedenáct let obrátí. Dojde k takzvanému přepólování. K návratu do původního stavu, tedy k dokončení periody, pak potřebujeme dalších jedenáct let. Hlavní cyklus, který nese Haleovo jméno, je tedy dvaadvacetiletý.

Delším prokázaným cyklem je cyklus někdy nazývaný Gleisbergův se střední délkou 87 let (70 až 100 let). Projevuje se modulací amplitudy jedenáctiletého cyklu – s touto periodou se mění např. maximální počty slunečních skvrn v maximech jedenáctiletého cyklu.



Detekovány byly i kratší periody, např. 150 dní ve výskytu slunečních erupcí, nebo perioda 27 dní, která jednoznačně souvisí se sluneční rotací a nerovnoměrným rozdělením sluneční aktivity.

Sluneční aktivita vykazuje nepochybně další cykličnost, avšak jejich prokázání je zatím stále ve stadiu nepřesvědčivých matematických úvah. Důvod je jednoduchý – pečlivá pozorování sluneční činnosti začala až v roce 1848. Pozorování před tímto zlomovým rokem, kdy se do sluneční fyziky vložil Rudolf Wolf, nebyla prováděna systematicky a informace v nich ukrytá může být do jisté míry zkreslená. Přesto všechno však máme nezvratné důkazy, že např. mezi roky 1645 a 1715 bylo za celých 70 let pozorováno jen asi padesát skupin slunečních skvrn, oproti běžným čtyřiceti až padesáti tisícům. V těchto letech sluneční cyklus sice probíhal, ale jen ve své velmi redukované formě a podle soudobých pozorování se soustředil téměř výhradně na jižní sluneční polokouli. Ne náhodou zrovna toto období odpovídá nezvykle chladné periodě, tzv. Malé době ledové. V Evropě zamrzala v zimě řeka Temže a Baltské moře. Toto období je po Edwardu W. Maunderovi nazýváno Maunderovým minimem.

Podobných minim bylo v průběhu staletí pozorování pozorováno více. Naopak ve 12. a 13. století byla sluneční aktivita zvýšená a na Zemi panovalo neobvykle teplé klima. Vikingové běžně pluli do Severní Ameriky, na Islandu vznikaly zemědělské kolonie. Podobně sluneční aktivita za posledních 400 let systematicky narůstá. To však neznamená, že lze veškeré klimatické změny poslední stovky let svést jen na Slunce – klimatická teplotní křivka roste výrazně strměji než křivka sluneční aktivity. Všechny tyto výkyvy nemusí být ničím mimořádným, mohou být pouhým důsledkem doposud nepřesně stanovených cyklů s dlouhými periodami. Jisté náznaky vedou k periodám 210, 800 a 2300 let.

Délka jednotlivých slunečních period je prozatím záhadou. Je velkým úkolem teoretických astrofyziků vysvětlit tyto zákonitosti pomocí numerických modelů. Magnetické cykly jsou pozorovány i u jiných chladných hvězd. Obecně platí, že hvězdy Slunci-podobné vykazují magnetické cykly též s podobnou délkou, tedy kolem deseti let. Prozatím se z pozorovacího materiálu zdá, že délka magnetické periody je ovlivněna nejen typem hvězdy, ale též rychlostí její rotace. Přesné vysvětlení ale prozatím chybí.

Kosmické počasí

Tak jako se mění v čase veličiny popisující stav zemské atmosféry (teplota, tlak, vlhkost, rychlost) v daném místě povrchu zemského, tak se mění stavové parametry látky (hustota, teplota, rychlost, intenzita magnetického pole) ve studovaném místě meziplanetárního prostoru. A protože na Zemi jsme zvyklí říkat těmto změnám obecně „počasí“, byl podobný termín zaveden i pro situaci v meziplanetárním prostoru. Mluvíme o *kosmickém počasí*. Ostatně neustálý proud částic z rozpínající se koróny celou sluneční soustavou se příhodně nazývá *slunečním větrem*.

Již Richard Carrington tušil souvislost s děním na Slunci a geomagnetickými bouřemi. Jeho domněnka souvisela s už zmíněnou bílou erupcí z 1. září 1859. Pár hodin na to totiž Zemi zasáhla silná geomagnetická bouře, která prozářila noc sérií polárních září. Carringtona tehdy poprvé napadlo, že obě události mohou nějak souviset.

Je tomu skutečně tak. Podobně jako v zemské atmosféře neustále sledujeme pohyb oblaků vodní páry, přinášejících spásný i proklínaný déšť, tak v meziplanetárním prostoru se pohybují oblaky zmagnetizovaného plazmatu. Ty mají svůj původ převážně v koronálních výronech hmoty, v jevu doprovázejícím sluneční erupce. Průměrná hustota meziplanetárního prostoru je nicotná – v jednom krychlovém centimetru bychom napočítali průměrně jednu částici, která bude s 96% pravděpodobností protonem. Tedy jádrem atomu vodíku doprovázeným průměrně jedním elektronem – aby byla látka celkově navenek elektricky neutrální. V plazmových oblacích může být hustota látky až desetitisícinásobně vyšší. Současně s sebou takový oblak nese zamrzlé, vlastním životem žijící, magnetické pole.

Pohybuje-li se oblak volným prostorem, nic zvláštního se z hlediska lidstva neděje. Zajímavější situace však nastává, pokud rychlostí několika stovek kilometrů za sekundu narazí na překážku, kterou může být například planeta Země. Přesněji řečeno její magnetosféra, neboť nabitě částice se v přítomnosti magnetického pole nemohou pohybovat, jak se jim zlíbí.

Rychlé částice od Slunce obvykle magnetosférickým deštníkem neprojdou – sklouznou po jeho povrchu a Zemi vlastně obečou. Podobně jako když nastavíme deštník proudu vody. V případě hustšího toku částic je ovšem situace složitější. Nabitě částice sice stále nemohou přímo pronikat napříč magnetosférou, ale mohou penetrovat na její noční straně do polárních oblastí, v nichž je magnetické pole do jisté míry otevřené. Zde se srážejí s atmosférou a vytvářejí polární záře. Čím větší je tok částic a jejich rychlost, tím více k rovníku se mohou dostávat.

Magnetosféra však proti tekoucímu slunečnímu větru nestojí jako pevná stěna. Na zvýšený tlak reaguje v souladu se zákonem zachování hybnosti – mírně se posune směrem k Zemi a zmenší svůj objem. Tento pohybový impuls prostoupí celou magnetosférou, na Zemi zaznamenáme geomagnetickou bouři. To má dva důsledky: jednak se vysokoenergetické částice přiblíží zemské atmosféře a jednak jsou změny magnetického pole doprovázeny indukcí elektrických proudů ve vodičích.

Při demonstrování Slunce v kopuli hvězdárny bychom neměli kosmické počasí opomíjet. Zejména, je-li hvězdárna vybavena chromosférickým dalekohledem, s jehož pomocí lze vyjma skvrn pozorovat i erupce (to ovšem musíme mít velké štěstí), které jsou též důležitým jevem podílejícím se na formování kosmického počasí a ovlivňování vztahů Slunce-Země. Návštěvníky spolehlivě zaujmou konkrétní případy, kdy Slunce viditelně ovlivnilo život lidí na Zemi.

Oblíbenou historkou je kolaps kanadské energetické sítě 13. března 1989. Série chromosférických erupcí v předchozích dnech následovaných koronálními výtrysky hmoty vyvolala na Zemi silnou geomagnetickou bouři, jež indukovala elektrické proudy na dlouhých elektrických vedeních v kanadské provincii Quebec. Koncové transformátory nebyly stavěné na zatížení v hodnotách milionů ampérů a doslova vyhořely. Zprovoznění rozvodné sítě trvalo tři dny a opravy škod si vyžádaly několik milionů dolarů. Tato událost je dobře zdokumentovaná a zpracovaná v řadě prací.

Jiným případem je událost, kdy 10. ledna 1997 zasáhla zemskou magnetosféru obří koronální ejekce. To přímo vedlo ke ztrátě americké spojovací družice AT&T Telstar 401 v ceně 200 milionů dolarů. Podobný osud potkal 21. dubna 2002 japonský satelit Nozomi na cestě k Marsu. Družice byla poškozena natolik, že její mise byla nakonec v prosinci 2003 zrušena.

Rychlé částice slunečního větru nadto způsobují degradaci slunečních panelů, které jsou často jediným zdrojem energie pro zařízení na oběžné dráze. V lepším případě bývá nutné sluneční panely vyměnit v době kratší, než bylo původně plánováno, v horším případě se životnost družice drasticky zkrátí.

Pro kosmonauty představuje zvýšená sluneční aktivita opravdové nebezpečí. Je až s podivem, s jakým štěstím se odehrály všechny pilotované mise k Měsíci, přestože probíhaly částečně v období zvýšené aktivity. Srážka se zmagnetizovaným oblakem plazmatu by pro kosmonauty nechráněné zemskou magnetosférou znamenala vážné ohrožení zdraví, které by mohlo i končit smrtí. Taková velmi silná koronální ejekce proletěla okolím Země 7. srpna 1972, právě mezi misemi Apollo 16 a Apollo 17. Pokud se loď s lidskou posádkou pohybuje v bezprostřední blízkosti Země, lze je v případě akutního nebezpečí evakuovat a přistát na Zemi. Potíže však nastanou u chystaných dlouhých meziplanetárních letů. Kosmická loď určená např. pro let k Marsu bude muset být vybavena tlustostěnnou komorou, kam by se kosmonauti v případě blížícího se nebezpečí mohli uchýlit. Přínejhorším zde budou muset strávit i několik dní, než se vrátí do méně chráněného prostor.

Zdroj ionizujícího záření	Odpovídající dávka
Přirozené pozadí v ČR	2–5 mSv/rok
Let Praha-San Francisco ve výšce 12 km	~0,1 mSv
RTG snímek plic	0,06 mSv
Počítačová tomografie trupu (řezy po 5 mm)	2 mSv
Smrtelná dávka	~1 Sv
Bezprostřední dávka po havárii v Černobylu v sálu reaktoru	~100 Sv
Pracovník se zářením	~20 mSv/rok
Astronaut na ISS	~60 mSv/rok
Dávka při protonové erupci	~10 Sv

Sluneční aktivita zvyšuje až několikanásobně radiační zatížení pilotů a palubního personálu letadel. O jak velké zatížení se ve skutečnosti jedná můžete odhadnout z přiložené tabulky. Dávku, kterou obdržíte při konkrétním letu, si lze nechat spočítat na http://www.helmholtz-muenchen.de/epcard/eng_fluginput.php (v angličtině nebo němčině). Radiační dávka se udává v jednotkách Sievert (Sv). 1 Sv odpovídá situaci, kdy by se v lidském těle pohltil 1 Joule energie z dopadajícího záření na 1 kg hmotnosti. Taková dávka by však způsobila akutní nemoc z ozáření, proto se častěji používají menší jednotky mSv = 0,001 Sv. Na pozadí – paluba letadla typu MD-11 společnosti KLM na lince Amsterdam-San Francisco.

Zvýšená sluneční aktivita způsobuje výrazný ohřev a z toho plynoucí rozpínání vysokých vrstev zemské atmosféry. Vypouštění a provoz družic je pak dražší, neboť se při navedení na oběžnou dráhu spotřebuje více paliva, a častěji se také musí provádět korekce dráhy. Na to doplatila jinak velmi moderní a dobře vybavená americká orbitální stanice Skylab, která

nechtěně zanikla 11. července 1979 v důsledku zrychlené ztráty výšky způsobené rozepnutou atmosférou. Její trosky dopadly do řídké obydlených oblastí Austrálie. Na druhou stranu ale zvyšující se a klesající sluneční aktivita tak jednou za jedenáct let částečně „uklidí“ kosmické smetí na nízké oběžné dráze.

Devět leteckých společností v současnosti provozuje dálkové letecké linky překračující Severní ledový oceán na cestě mezi Asií a Severní Amerikou. Mezinárodní bezpečnostní pravidla vyžadují, aby bylo s letadlem udržováno spojení v každý okamžik jeho letu. To je však vinou rušení v probíhajících geomagnetických bouřích v polárních oblastech prakticky nemožné. Odklonění letadla na jiné letiště z těchto důvodů může znamenat v důsledku dodatečné náklady až 100 000 dolarů na jeden let.

Kosmické záření snadněji proniká do výšek, v nichž se pohybují dopravní letadla. Cestující tak dostávají při každém letu velké dávky záření, jeden zaoceánský let přibližně odpovídá dávce odpovídající jednomu rentgenovému snímku plic. Piloti nebo letušky však dostávají díky svému povolání takové dávky opakovaně. V období zvýšené sluneční aktivity je nebezpečí ještě větší. Proto musí palubní personál dopravních letadel pravidelně absolvovat zdravotní prohlídky, při nichž se pečlivě prověřují i možné dopady zvýšeného ozařování na jejich zdraví. Kosmonauti samozřejmě dostávají dávky záření ještě mnohem větší.

Geomagnetické poruchy vyvolané sluneční aktivitou ovlivňují nebo znemožňují dálkové rádiové spojení, značně znepřesňují magnetickou navigaci a ovlivňují i dnes široce využívaný signál GPS. Přístroje, u nichž je požadována znalost polohy s metrovou přesností, jsou během geomagnetických bouří fakticky nepoužitelné. Slunce je sice dárce života, ale občas dokáže lidem pěkně zatopit.

Oblíbenou a často medializovanou otázkou je přímý vliv sluneční aktivity na zdraví člověka. Často slyšíme tvrzení: „Dneska je mi nějak špatně, nemůžu se soustředit, to budou na Slunci asi skvrny“. Možná vás napadne, že rozkmitané magnetické pole by mohlo mít vliv na funkci kardiostimulátorů, stejně jako na každou elektroniku. Zde můžeme být klidní, prozatím žádná studie negativní vliv sluneční aktivity na funkci kardiostimulátoru neprokázala. Jak je to s vlivem sluneční činnosti na osoby bez elektronických implantátů?

Čas od času se objeví studie prokazující souvislost (odborně řečeno korelaci) mezi sluneční aktivitou a např. počtem nehod na silnicích. K závěrům těchto prací bychom se měli stavět velice opatrně, a to nejméně ze dvou důvodů. Důležitou roli zde totiž mnohdy sehrává psychologie. Kupříkladu pokud řidič vyjíždí na dlouhou cestu s tím, že „včera hlásili v předpovědi zvýšenou sluneční aktivitu, to se určitě nabourám“ bude nepochybně nervóznější. To samo o sobě může vést ke zvýšenému množství drobných chyb, z nichž některá může být podstatná pro vznik nehody. Dále je nedůvěryhodný sám způsob matematického zpracování provedeného pozorování. Korelace je číslo, které popisuje podobnost dvou časových řad. Jistě si ale dovedeme představit, že najdeme zvýšenou korelaci např. mezi používáním králíčích paciček jako talismanů a počtem dopravních nehod způsobených řidiči, jimž amputovaná končetina tohoto hlodavce visí na předním skle. Závislost dovedeme vysvětlit: řidič, který se při řízení uchyluje až k talismanům, si zřejmě není v této činnosti příliš jistý, a proto jezdí opatrněji.

Je zapotřebí si uvědomit, že život na této planetě existuje již přes tři a půl miliardy let. Přitom je vcelku jasné, že během tohoto dlouhého časového intervalu sluneční aktivita nezpůsobovala

žádnou globální katastrofu, žádné hromadné vymírání živočichů a rostlin. Naopak je zřejmé, že život na Zemi se výkyvům způsobeným aktivitou Slunce zcela přizpůsobil. Navíc máme tu výhodu, že žijeme pod ochranou zemské magnetosféry a atmosféry. Oba štíty nás dosti dobře chrání před účinky zvýšené nebo snížené sluneční aktivity. Jinou otázkou je vliv sluneční aktivity na změny klimatu, což se do života lidí též podepíše. Vzpomeňme již zmíněné Maunderovo minimum na přelomu 17. a 18. století.

To vše se však může snadno změnit. Ultrafialové a rentgenové nebo gama záření, které je ve zvýšené míře produkováno i při slunečních erupcích, je téměř dokonale pohlcováno ozónovou vrstvou. Pakliže se však ozónová vrstva bude stále více rozpadat, čemuž silně přispívá působení člověka, pak se mohou hlášení o zvýšené aktivitě stát nutnou informací každodenního života, stejně jako hlášení o přívalem dešťů. Na Zemi bez ochrany ozónové vrstvy bude dopadat více vysokoenergetického záření, které obecně může být příčinou rakovinného bujení. Ostatně sledovat měřenou tloušťku ozónové vrstvy se vyplatí již dnes. Známé Dobsonovy jednotky odpovídají tloušťce ozónové vrstvy nad místem, kde je měřeno. Vycházejí z předpokladu, že kdybychom celou ozónovou vrstvu, nacházející se ve výškách mezi 15 a 35 km, převedli do tlaku při hladině moře, měla by na tloušťku přibližně tři milimetry! To odpovídá 300 Dobsonovým jednotkám. Je jasné, že čím více Dobsonových jednotek, tím více stratosférického ozónu chrání život na Zemi před nebezpečným ultrafialovým a rentgenovým zářením.

Dalším faktorem, který zřejmě v budoucnu sehraje svou roli, jsou změny charakteru magnetického pole Země. Z geologických měření je známo, že se celá zemská magnetosféra jednou za 500 000 let přepóluje. V té době, která trvá několik desítek let, si vymění své místa severní a jižní magnetický pól. Není zcela jasné, jak bude v té době vypadat struktura zemské magnetosféry a jak moc bude její pozměněný tvar schopný chránit život na povrchu Země. Nicméně již zmíněná skutečnost, že život existuje po více než 3,5 miliardy let naznačuje, že z hlediska druhu se nic zásadního nestane. Z hlediska jednotlivců to ale může vypadat trochu jinak.

Polární záře

Koronální ejekce dovede nejen ohrozit kosmonauty a techniku na oběžné dráze kolem Země, ale dokáže i vykouzlit na obloze velkolepou světelnou podívanou. Mimořádné polární záře se pozorovaly po celé zeměkouli 28. srpna a 2. září 1859 (druhá z nich souvisela s bílou erupcí pozorovanou Richardem Carringtonem 1. září téhož roku). Byly tak jasné, že v jejich světle bylo prý možné číst noviny. Tyto polární záře byly zřejmě důsledkem vůbec nejmohutnějších koronálních výtrysků hmoty, zřejmě na hranici toho, co je Slunce vůbec schopno vyprodukovat. Po celých Spojených státech dlouho řádila geomagnetická bouře, která poškodila dálková telegrafní vedení. Operátoři na krátkých tratích (např. mezi Bostonem a Portlandem) mohli telegraf používat bez baterií, pro provoz zcela dostačovaly elektrické proudy indukované probíhající bouří.

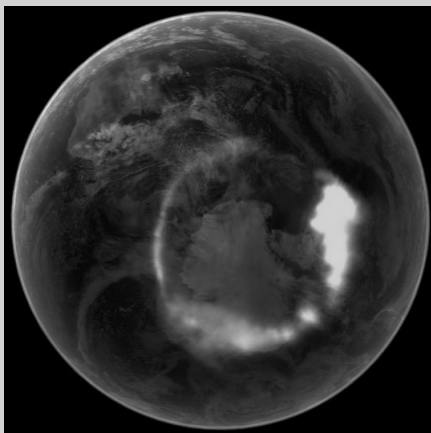
Polární záře jsou výsledkem srážek nabitých částic sklouzávajících do polárních oblastí podél siločar zemského magnetického pole s atomy vzduchu ve výškách kolem 80 km. Rychlé částice mají typicky energii mezi 1 a 15 keV. Srážkou se atomy vzduchu nabudí. V excitovaném stavu vydrží atom jen krátce, a brzy se vrátí do základního stavu za současného vyzáření

energie získané srážkou. Tomuto procesu říkáme fluorescence. Nejčastěji pozorujeme fluorescenci kyslíku na vlnových délkách 557,7 nm (zelená polární záře) a 630,0 nm (červená polární záře). Obě čáry patří mezi takzvané zakázané, což v praxi znamená, že atomy vydrží v excitovaném stavu až sekundu (oproti typickým 10^{-7} s), a proto jsou časové změny červených a zelených polárních září plynulé a pomalé. Vzácně bývají pozorovány i barvy modré a fialové, způsobené atomy dusíku. Zde dochází k velmi rychlým změnám, které pak vystihují rychlou dynamiku polárních září. Polární záře jsou typicky pozorovány jako pomalu se měnící „záclony“ nebo difúzní oblaky.

Polární záře se nejčastěji objevují v oblastech kolem severního polárního kruhu, v kružnici se středem v magnetickém pólu o poloměru cca 2500 km, jíž se říká aurorální ovál. Přímo nad samotnými magnetickými póly se polární záře nevyskytují. V období zvýšené sluneční aktivity se posouvá jejich viditelnost směrem na jih. Výjimečně jsou pak pozorovány i např. ze Středomoří nebo z Kuby. Z našich zeměpisných šířek je možné záře spatřit nad severním obzorem i několikrát za sluneční cyklus.

Tvar polární záře odráží strukturu zemského magnetického pole. Měření ukazují, že světélkující oblaka jsou spojena s elektrickými proudy, které do aurorálního oválu tečou z denní strany, obtékají jej od východu k západu a vytékají na straně noční. Proudby byly po svém objeviteli nazvány Birkelandovými.

Při silných polárních zářích protéká aurorálním oválem často proud o výkonu 400 gigawattů (400 miliard wattů). To odpovídá výkonu 400 bloků jaderné elektrárny v Temelíně.



Aurora australis, čili jižní polární záře, vyfotografovaná z vesmíru družicí IMAGE. Snímek pořízen 11. září 2005.

Pro pozorovatele polárních září je důležité sledovat sluneční aktivitu, zejména pak koronální výrony hmoty (CME – coronal mass ejection). Pokud se erupce a následná CME odehraje blízko středu a přitom na západní polokouli Slunce, je v důsledku stočení meziplanetárního magnetického pole vysoká pravděpodobnost, že takový plazmový oblak narazí na zemskou magnetosféru. Projevy nárazu pak závisí na dvou faktorech. Na mohutnosti CME, která se dá velmi přibližně odhadnout ze změřené síly související erupce. Ty jsou podle energie klasifikovány do tříd písmeny B, C, M a X doplněných číslem symbolizujícím mohutnost v rámci třídy. Erupce třídy M5 a silnější, včetně všech erupcí třídy X, budou s vysokou pravděpodobností doprovázeny mohutnými koronálními výtrysky. Nejsilnější v historii klasifikovaná erupce dosáhla třídy X28 a byla pozorována 3. 11. 2005 již ze zapadající aktivní oblasti, díky čemuž nezpůsobila na Zemi žádné vážnější škody. Druhým faktorem je orientace (polarita) magnetického pole, které je vmrzlé do plazmového oblaku. Orientace pole zemské magnetosféry je severní (kladná). Pokud má nalétající oblak polaritu opačnou, může do značné míry narušit magnetosférickou ochranu a částice mají šanci dostat se hlouběji do magnetosféry a vyvolat polární záře zasahující do jižnějších oblastí.

Zatímco mohutnost a rychlost přilétajícího oblaku lze s určitou přesností změřit, polaritu lze jen uhodnout. Od události na Slunci pak uplyne podle rychlosti 12 až 40 hodin, než oblak dopadne na zemskou magnetosféru, což stačí k tomu, abychom se mohli na pozorování přítičně připravit.

Předsunutou hlídkou jsou kosmické sondy (SoHO, ACE) v Lagrangeově bodě L_1 , 1,5 milionů kilometrů od Země směrem ke Slunci. Ty zaznamenají skok v parametrech meziplanetárního plazmatu jako první – prudký nárůst teploty, hustoty a rychlosti částic, změní též skutečnou orientaci magnetického pole vmrzlého do plazmatu. Pak už to obvykle trvá jen pár desítek minut a pozorovatelé se mohou za jasného počasí kochat nádhernými barvami hýřícím divadlem, které nám aktivní Slunce společně se zemskou magnetosférou uchystalo.

Amatérská pozorování Slunce

Demonstrování Slunce jsou jen jednou z možností, jak se lze naší nejbližší hvězdě na hvězdárně nebo v amatérských podmínkách věnovat. Když už nějaké máte, je dobré jej využít i k cílenému sledování Slunce v rámci některého z probíhajících projektů a přispět tak k jeho poznání.

Nelze však očekávat, že tato pozorování udělají díru do světa sluneční fyziky. Profesionální astronomové dnes totiž disponují podstatně lepším a dražším vybavením, a jsou také lépe odborně připraveni než běžní amatérští pozorovatelé působící na „lidové“ hvězdárně. Pokud chtějí amatéři profesionály přetrumfnout, mohou tak učinit za cenu mnohaleté systematické mravenčí práce.

Kresby sluneční fotosféry

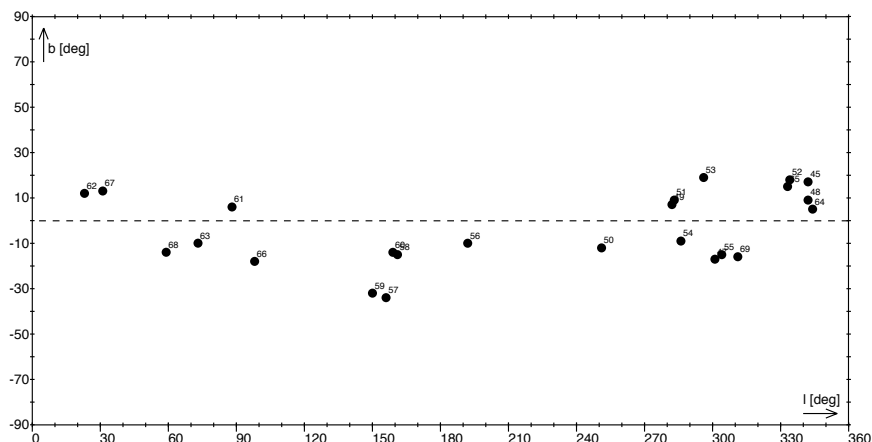
Typickou činností amatérských pozorovatelů Slunce je zakreslování sluneční fotosféry do standardních formulářů metodou projekce. Pokud se této činnosti věnují systematicky, mohou její výsledky posloužit ke vzdělání. Trpělivý a pečlivý pozorovatel si pak sám může jednoduchou formou zkonstruovat graf závislosti relativního čísla na čase a prokázat tak jedenáctiletý cyklus. Může sestrojit motýlkový diagram, případně synoptické mapy pro jednotlivé sluneční otočky a podobně. Práce je to nenáročná, vyžaduje nejvýše třicet minut času denně avšak po dlouhou řadu let. Zakreslovat je ovšem nutné každý jasný den.

K pořízení kresby využijeme promítací zařízení připevněné k dalekohledu. Běžně se zakresluje na standardní formuláře s průměrem 25 cm. Tomu je potřeba přizpůsobit vzdálenost projekční desky od okuláru, neboť v průběhu roku se v důsledku eliptické dráhy Země kolem Slunce viditelný úhlový průměr slunečního disku mění o cca tři procenta. I to je z didaktických důvodů docela zajímavé zjištění.

Před samotným začátkem kresby je třeba formulář zorientovat tak, aby světové strany na formuláři odpovídaly skutečnosti. Orientaci spojnice východ–západ s dostatečnou přesností zjistíme tak, že na chvíli vypneme hodinový pohon dalekohledu. Obraz Slunce i se skvrnami se vám pak začne pohybovat ve směru pohybu Slunce na obloze, tedy od východu

na západ. Formulář pak natočíte tak, aby označení světových stran se směrem tohoto pohybu souhlasilo.

Synoptic chart for Carrington's rotation No. 2003
(13.05.2003-09.06.2003)



Rozložení aktivity během Carringtonovy otočky č. 2003, tedy na přelomu května a června roku 2003. Číslování skupin odpovídá jejich pořadí objevení se ve fotosféře od začátku roku.

Skvrny zakreslujeme zahrocenou tužkou střední tvrdosti. Snažíme se přitom zachytit všechny detaily, a to co nejvěrněji. Při kresbě rozlišujeme umbru a penumbru slunečních skvrn. Do skici patří též hrubé obrysy fakulových polí, jež se znázorňují obvykle žlutou

Stupnice pozorovacích podmínek	
1	jasno, nepatrný neklid vzduchu
2	obloha se slabým zákalem
3	znatelný neklid vzduchu
4	silný neklid vzduchu
5	velmi silný neklid vzduchu, ruší oblačnost
Stupnice obrazu	
1	viditelné jsou pouze větší skvrny, granulace není pozorovatelná
2	viditelné jsou též menší skvrny, granulace patrná jen chvílemi
3	jsou viditelné drobné skvrny, granulace je viditelná
4	dobře pozorovatelná granulace i póry
5	všechny detaily jsou velmi dobře viditelné

Definice stupňů popisujících kvalitu pozorování.

nebo červenou pastelkou. Zákres by neměl trvat déle než 10 minut, jinak utrpí zejména přesnost poloh útvarů kvůli sluneční rotaci a možnému rychlému vývoji situace v aktivních oblastech. Vadám způsobeným nečistotami na papíru a jejich záměně se sluneční skvrnou se lze vyhnout pomocným papírkem, kterým rychle pohybujeme po projekčním formuláři. Opticky se tak vyhladí chyby papíru a obraz se tak poněkud zaostří.

Po skončení kresby doplníme informaci o čase a místě, kde byla kresba pořízena, a také ohodnotíme pozorovací podmínky a obraz podle definované objektivní stupnice. Tyto údaje jsou důležité pro statistické zpracování. Je jasné, že za špatných podmínek s velkou turbulencí v zemské atmosféře nemůžeme spatřit drobnější skvrny, neboť nám zůstanou rozmyty v pozadí, zrovna tak při pozorování v malých dírách mezi mraky klesá naše pozornost způsobená snahou zachytit alespoň ty největší skvrny. Vypovídací hodnota kresby bez uvedení podmínek, za nichž byla pořízena, je značně snížena.

Zpracování kresby se sestává z počítání skvrn a změření jejich polohy. Pokud se spokojíme s jejich statistikou, stačí nám prostě zjistit, kolik jednotlivých skvrn (umbers) je na kresbě zachyceno a v kolika skupinách se vyskytují. Z obou čísel vypočteme velikost tzv. relativního čísla R podle vzorce:

$$R = 10g + f,$$

kde g je počet skupin a f je celkový počet skvrn. Často se stejný index počítá ještě zvlášť pro centrální oblast disku (bývá na formulářích zvýrazněna) a zvlášť pro severní a jižní polokouli.

Pro změření poloh slunečních skvrn vůči pevně dané souřadnicové síti, která je spojena se slunečním tělesem, potřebujeme získat informaci o orientaci slunečního disku a souřadnicích jeho středu. Všechny tři údaje (P – poziční úhel osy sluneční rotace vůči světovému severo-jížnímu směru, b_0 – heliografickou šířku středu slunečního disku a l_0 – heliografickou délku středu slunečního disku) pro čas pozorování poskytne důmyslnější počítačové planetárium (např. SkyCharts) nebo tak musíme učinit sami, ale je třeba mít k dispozici nějakou astronomickou ročenku. Zde jsou potřebné údaje uváděny pro půlnoc každého dne v roce, pro jejich převod pro čas pozorování postačí prostá lineární interpolace.

Zmíněné údaje jsou klíčové pro následný výpočet poloh slunečních skvrn vůči pevně danému (tzv. Carringtonovu) souřadnicovému systému. K dokončení tohoto úkolu již potřebujeme jen dva údaje pro každou měřenou skvrnu (obvykle se ale měří jen jeden zástupce pro skupinu): poziční úhel od severo-jížního směru Q (braný kladně od severu přes východ k jihu) a vzdálenost od středu formuláře v centimetrech d .

Získané údaje nakonec mechanicky dosadíme do vztahů:

$$\rho = \arcsin(d / R), \text{ kde } R \text{ je poloměr formuláře v centimetrech,}$$

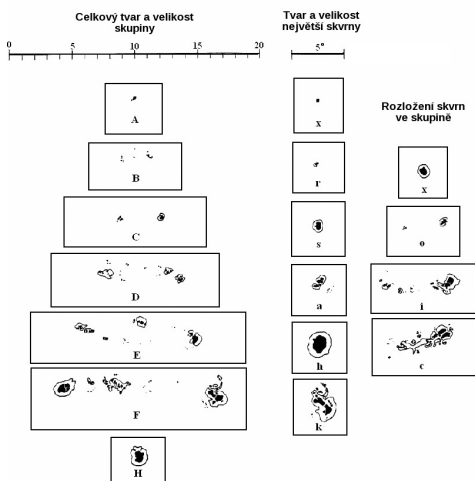
$$b = \arcsin[\sin b_0 \cos \rho + \cos b_0 \sin \rho \cos(P - Q)],$$

$$l = \arcsin[\sin \rho \sin(P - Q) / \cos b] + l_0.$$

b a l jsou výsledné heliografické souřadnice měřené skvrny.

Výsledky sepíšeme do tabulky a formulář můžeme na nějaký čas odložit. Dnes již není nutné všechny tyto operace provádět ručně, existují počítačové programy vyvíjené převážně dobrovolníky na hvězdárnách, které vše provedou automaticky – stačí je pouze „nakrmit“ datem a časem pozorování a pro každou skupinu změřit poziční úhel a vzdálenost od středu formuláře pro jednu skvrnu. Program automaticky vypočítá heliografické souřadnice a dovolí je obvykle uložit ve formě datového souboru, použitelného pro další zpracování mnohem lépe než papírový formulář.

Každá skupina se často klasifikuje podle svého tvaru a rozložení skvrn na základě tzv. *McIntoshovy klasifikace*. Klasifikace je složena ze tří písmen, popisujících morfologický typ celé skupiny, typ největší skvrny ve skupině a rozložení skvrn v rámci skupiny.

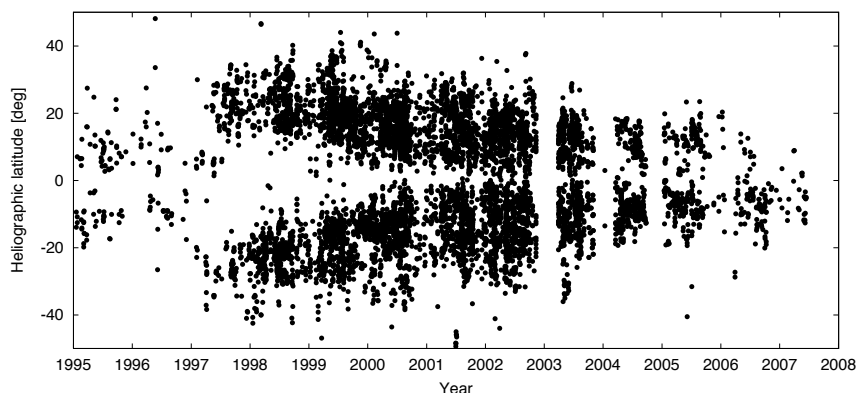


McIntoshova morfologická klasifikace slunečních skvrn.

Máme tedy kresbu, v ideálním případě celý seriál kreseb sluneční fotosféry. Co s nimi však dál? Pokud zakresluje pouze pro vlastní uspokojení, např. chceme-li si sami ověřit, jak je to s periodicitou sluneční činnosti, pak bude shromažďování a archivace formulářů namístě. Jak jsme již několikrát uvedli, může série kreseb pomoci při demonstraci, neboť na nich lze názorně ukázat, jakým způsobem se sluneční skvrny vyvíjejí a pohybují. Didaktický účinek vlastních kreseb Slunce je značný. Na návštěvníka rozhodně působí lépe, když mu ukážeme tvorbu pocházející z dalekohledu, jímž před pár desítkami sekund viděl Slunce na vlastní oči, než když mu místo toho předvedeme sebelépe zpracovanou animaci pocházející z anonymních dat pořizovaných jakousi družicí známou jen pod nic neříkajícím akronymem. Na druhou stranu ale nelze anonymní družice úplně opomenout; máme-li při ruce oba typy materiálu, získáme vhodný můstek k diskusi vedoucí ke srovnání slunečního pozorování v historii a dnes.

Přímé pozorování sluneční fotosféry ztratilo s nástupem kosmických sond sledujících naši hvězdu čtyřicet hodin denně a hrlicích gigabajty dat vědecký smysl. Byť se stále jedná o nejrychlejší metodu, jak získat velmi aktuální přehled o sluneční aktivitě, obvykle to není právě to, co profesionálové požadují. Systematické zakreslování, které je precizně prováděno a zasiláno pravidelně do světového centra v Bruselu, které podobná data shromažďuje, se stanou jedním z anonymních čísel vstupujících do statistické černé krabice, z níž vypadne jedno číslo s velkou vypovídající hodnotou – průměrné relativní číslo, jeden z indexů popisujících sluneční aktivitu. Relativní číslo počtu slunečních skvrn je tudíž díky statistickému zpracování stovek jednotlivých pozorování robustním indexem, dobře použitelným pro vědecké vyhodnocení časových řad.

V bývalém Československu od roku 1978 probíhal populární projekt Fotosferex, jehož cílem bylo pravidelné pozorování a zakreslování sluneční fotosféry, přičemž získané kresby byly neprodleně (dálnopisem) zaslány do centra projektu, jímž bylo sluneční oddělení



Motýlkový diagram 23. cyklu aktivity sestavený z dat napozorovaných na Štefánikově hvězdárně v Praze, tedy v amatérských podmínkách

Astronomického ústavu ČSAV v Ondřejově. Díky rozsáhlé síti českých a slovenských hvězdáren zapojených do projektu se dařilo pozorováním pokrýt téměř každý jasný den v roce. Shromážděné údaje byly používány k týdenním předpovědím sluneční aktivity. Dnes ovšem projekt Fotosferex ve své původní podobě neexistuje. Přesto jsou informace získané z jednoduchých kreseb stále jedním z mnoha údajů, který se používá při týdenních předpovědích sluneční aktivity. Jejich úspěšnost je v současnosti asi 85 %.

Nabízí se otázka, proč i dnes, v době automatických družic nepřetržitě sledujících Slunce a objektivního vyhodnocování napozorovaných dat, má i nadále jednoduchá kresba používaná od 17. století své uplatnění. Důvodem je především homogenita časových řad dlouhých i několik desítek let. Životnost družicových přístrojů naproti tomu jen zřídka přesáhne deset let. Získaný materiál je pak vhodný pro konzistentní zpracování pouze na časové základně dlouhé stejně jako je doba provozu přístroje.

Pozorování prováděná systematicky na pozemských observatořích poskytují běžně delší časové základny. Nicméně kresba pořízená zkušeným a pečlivým pozorovatelem a jeden snímek fotosféry provedený rychlou CCD kamerou nemají stejnou vypovídací hodnotu. Pozorovatel při práci využívá chvil s lepšími pozorovacími podmínkami a je proto schopen zaznamenat za stejných objektivních podmínek kresbu s více detaily, než odhalí snímek pořízený kamerou nebo fotoaparátem. K tomu, aby bylo možno na sebe hodnověrně navázat časové řady kreseb a snímků získaných automatickou technikou, je zapotřebí nejméně deset let souběžných pozorování.

Kresby sluneční fotosféry tudíž není nutné prozatím zcela ztrácovat, jejich důležitost ale není vhodně příliš přehánět. Se zdokonalující se pozorovací technikou a metodami automatického zpracování se však konec jejich éry nezdá být příliš daleko.

Pozorování Slunce pouhým okem

Sledování velkých slunečních skvrn pouhým okem nám v principu umožňuje navázat na pozorování, která prováděli již staří Číňané z prvního tisíciletí před naším letopočtem. Podrobné studie ukazují, že nejmenší skvrny zachytitelné pouhým okem mají penumbru o průměru asi 25" (tedy plochu přibližně 80 milióntin plochy sluneční polokoule). Tato hodnota je výrazně menší než teoretická rozlišovací schopnost lidského oka, ovšem musíme pamatovat na to, že viditelnost takových skvrn byla umocněna značným kontrastem s jasným slunečním diskem. Lze též zaregistrovat kompaktní skupiny skvrn, z nichž žádná co do velikosti nepřesáhne již zmíněnou hranici 25 úhlových vteřin.

Má-li skvrna úhlový průměr větší než 40" až 50" (plochu něco málo přes 270 milióntin plochy sluneční polokoule), jeví se již jako ploška. Pak je možné ji porovnat s jinou podobnou skvrnou a určit tak, zda je menší, či větší než druhá skvrna. Úspěšné rozlišení dvoj- a vícenásobné skvrny od jednoduché pouhým okem je závislé na několika faktorech: na jejich vzdálenosti, na relativní velikosti složek vícenásobné skvrny (skvrny stejné velikosti jsou rozlišovány častěji) a na přítomnosti či absenci menších detailů mezi nimi (takové detaily činí rozlišení obtížnějším). Blízké skvrny na hranici rozlišitelnosti pouhým okem odlišeny nebývají, jeví se jen jako protažené. Složky nejtěsnějšího rozlišeného páru byly od sebe vzdálené 65", ovšem k bezpečnému rozlišení skvrn je obvykle zapotřebí, aby je dělila vzdálenost větší než 165".

Pro sledování skvrn pouhým okem potřebujeme pouze neutrální filtr, který dostatečně zeslabí jas sluneční fotosféry. Osvědčenými jsou svářečské filtry číslo 12 až 14, osvětlené a vyvolané kousky černobílých nebo rentgenových negativů nebo velmi snadno dostupné fólie pro pozorování Slunce, již lze zakoupit v obchodech s astronomickou technikou. Výsledkem pozorování je orientovaný náčrtek Slunce (o průměru 3 až 5 cm s vyznačenou polohou slunečních skvrn) s charakterizací intenzity viditelnosti každé skvrny (obvykle se používají jen tři stupně: 1 = na hranici viditelnosti, 2 = viditelná, 3 = „bije do očí“). Samozřejmě by měl být údaj o místě pozorování, pozorovacích podmínkách a použitém filtru.

Zákresy slunečních skvrn provedené pouhým okem u nás sbírá Hvězdárna ve Valašském Meziříčí. Vyjma ojedinělých studií vycházejících z pozorování zahraničních pozorovatelů je prozatím projekt sledování skvrn pouhým okem ve stadiu „sběru dat“. A tak zpracování tohoto souboru možná čeká právě na vás.

Sluneční zatmění

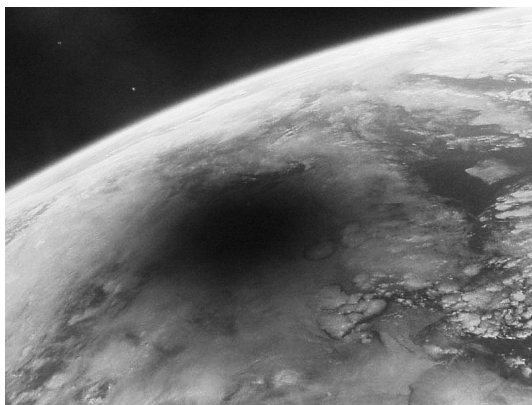
Sluneční zatmění nastává v okamžiku, kdy se Měsíc při pohledu ze Země předsune před disk Slunce. Rozlišujeme zatmění částečná, úplná a prstencová. Jen při zatmění úplném dochází k úplnému zakrytí sluneční fotosféry a odkrytí jinak beznadějně přezářené chromosféry a koróny. Aby k zatmění mohlo dojít, musí se Měsíc nacházet poblíž uzlu své dráhy (tedy na ekliptice) a současně v novu (mezi Sluncem a Zemí). S ohledem na geometrické poměry k těmto úkazům dochází v průměru každých osmnáct měsíců a jsou pozorovány jen v úzkém pásu tzv. totality, který je nejvýše 200 km široký a několik tisíc kilometrů dlouhý. Kvůli tomu je úplné sluneční zatmění z jednoho bodu na Zemi pozorováno v průměru každých 370 let.

Z toho jasně vyplývá, že pozorovatel zatmění musí za tímto úkazem cestovat. Až potud je to zajímavý způsob, jak si např. obohatit dovolenou v exotických oblastech světa o zajímavý astronomický úkaz.

Pozorování slunečního zatmění v jeho částečné fázi se vůbec neliší od pozorování sluneční fotosféry. Až do posledních několika desítek sekund před úplnou fází zůstává Slunce oslnivým zdrojem světla. Oko i dalekohled je tedy nutné chránit příslušným filtrem, např. ze sluneční fólie AstroSolar.

Naopak během úplné fáze je žádoucí filtry úplně odložit a pozorovat pouhýma očima nebo dalekohledem bez jakéhokoli stínění. Jas sluneční koróny je totiž srovnatelný s jasnem Měsíce v úplňku. Během úplné fáze vypluje nad ostrým tmavým měsíčním diskem nakrátko růžová chromosféra a viditelná je především stříbrná koróna. Proč je ale chromosféra růžová? Vždyť při pohledu chromosférickým dalekohledem je jasně červená.

Chromosféra v optickém oboru září nejen v čáře H- α , která je v červené oblasti spektra (656,3 nm), ale i v dalších čarách Balmerovy série vodíku: H- β (486,1 nm), která je modro-zelená a H- γ (434,1 nm), jež je fialová. Kombinace těchto barev pak dává růžovou, která se během úplných zatmění pozoruje.

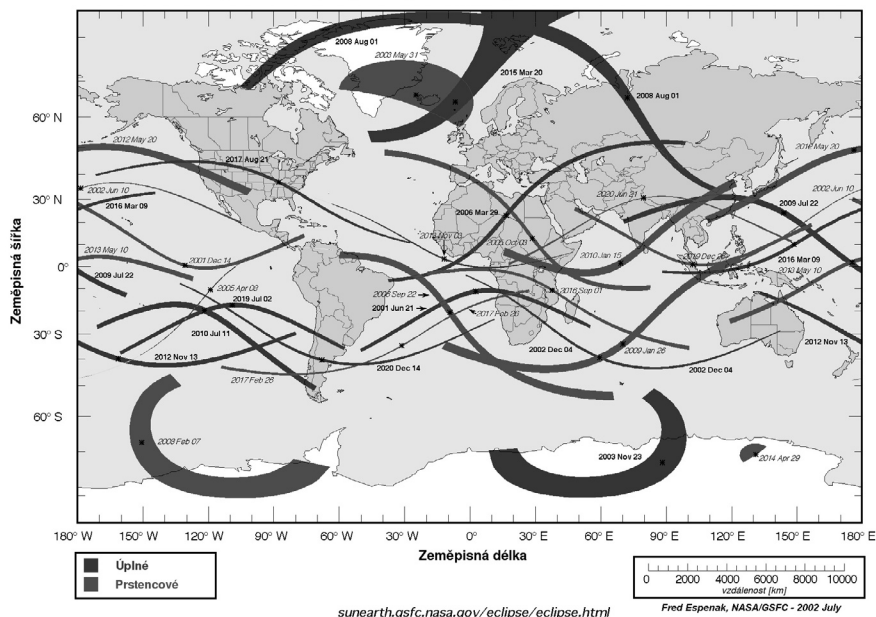


Zatmění 11. srpna 1999 kromě celé Evropy a přilehlých lokalit sledovali i astronauti na kosmické stanici Mir.

Fotografování úplného zatmění běžným kompaktním fotoaparátem je jen mrhání časem a záznamovým médii. Je třeba si uvědomit, že na políčku filmu fotoaparátu se základním objektivem bude rozměr slunečního disku asi dva milimetry. Nebo podobně na čipu digitálního fotoaparátu jen pár desítek pixelů. Takový snímek sice zajímavě doplní vaši domácí fotogalerii, avšak obrázkům pořizovaným profesionály se rozhodně nevyrovná. Takže: Jak vlastně vznikají ony snímky, které téměř věrně zachycují vzhled černého Slunce?

Je za nimi velké množství dlouhé a doslova mravenčí práce. Od dokonale zaostřených objektivů s dlouhou ohniskovou vzdáleností (alespoň půl metru) po matematické zpracování sekvencí snímků pořízených s různou expoziční dobou. Problém je totiž v rozdílném jasu vnitřní a vnější koróny. Bez nákladného zařízení, tzv. radiálního filtru, není možné během jedné expozice pořídit snímek koróny, na němž by byla dobře prokreslena její vnitřní i vnější část. Obvykle se dostaneme ke dvěma extrémům: buď je přeexponovaná vnitřní část, nebo podexponovaná vnější část. Profesionálové dnes postupují tak, že během slunečního zatmění pořídí celou sekvenci snímků s různou expoziční dobou. Tyto snímky je pak nutné poskládat na sebe, a z každého vybrat jen tu část, která je na daném snímku ideálně naexponována.

Zdánlivé trajektorie úplných a prstencových zatmění v letech 2001 až 2020



Mapa ukazující zdánlivé trajektorie měsíčního stínu po Zemi při úplných a prstencových zatměních do roku 2020. Tvůrcem je zatměňový specialista Fred Espenak.

Pro konečné zpracování takové sekvence snímků je třeba použít poměrně složitý matematický aparát, jehož vysvětlení přesahuje rámec této publikace.

Vědecký význam pozorování slunečních zatmění se i přesto poněkud přeceňuje. Je pravdou, že i přes nejrůznější složité přístroje zůstává úplné sluneční zatmění stále jedinou příležitostí, kdy lze pořídit pozorování vnitřních částí koróny. Tyto části jsou v korónografech obvykle ještě zakryty terčíkem. Zejména ony jsou důležité pro další informace vedoucí ke konečnému vysvětlení, proč je koróna výrazně teplejší než pod ní ležící fotosféra. Taková pozorování by měla obrovský smysl, pokud by je bylo možné provádět systematicky bez přerušení po dobu alespoň několika hodin, lépe však po několik dní. To však zjevně není možné. Sebekvalitnější snímky zachycující jednotlivé kraťouchové epizody v dění vnitřní koróny mohou posloužit maximálně jako doplněk studií, využívajících systematicky pořizovaná data, na nichž vnitřní části bohužel chybí. Považte: Jaký závěr asi můžeme získat z materiálu, který popisuje rychle se měnící dění čtyřminutovým pozorováním jednou za osmnáct měsíců? Dobře zorganizovaná mezinárodní kampaň, která by stejnou metodou a technikou pořizovala snímky vnitřní koróny po celou dobu letu měsíčního stínu po zeměkouli, napozorovaná data by pak byla konzistentně zpracována a vyhodnocena a změřena přesná fotometrie zajímavých částí koróny, by odpovědi na některé z otázek dát mohla. A nebo, jak již bývá zvykem, naopak otevřít další otázky.

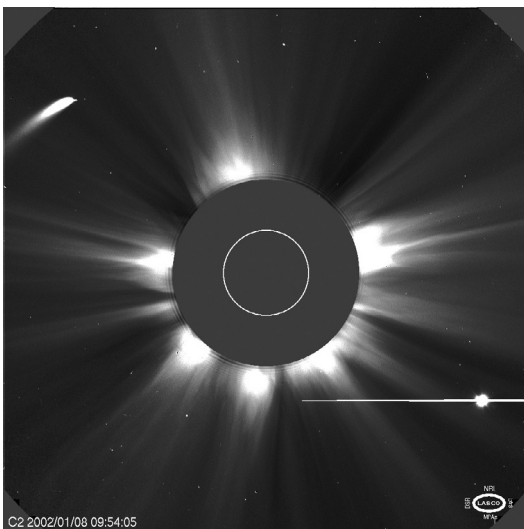
Úplné sluneční zatmění nepochybně patří do kategorie astronomických úkazů, které by pravověrný astronom chtěl alespoň jednou za život vidět, stejně jako denní bolid, výbuch supernovy nebo meteorický déšť. Na rozdíl od posledně uváděných jevů lze sluneční zatmění předpovědět, a to s ohromující přesností. Třeba víme, že další pro středoevropany zajímavé zatmění se odehraje už příští rok, 1. srpna 2008 na Sibiři. Mnohem zajímavější bude ale zatmění 22. července 2009, jehož pás totality projde přes jihovýchodní Asii a západní Oceánii. Půjde přitom o nejdelší zatmění 21. století – délka úplné fáze bude až 6 minut a 38 sekund. Co ovšem samozřejmě předpovědět nelze, je místní počasí v době zatmění.

Průzkum dat pořizovaných „kombajn“

Opomíjenou disciplínou, do níž ovšem amatéři mohou snadno zapojit, je zpracování a průzkum dat pořizovaných automatickými přístroji. Takové přístroje totiž chrlí gigabajty dat denně, z nichž mnohá ale zůstanou neprohlédnuta ležet v datových archívech. Profesionálové si prostě nestačí dostatečně důkladně prostudovat každíčký pořízený snímek, amatéři ale občas mají toho času více a někdy se na ně prostě usměje štěstí.

V minulosti se amatéři osvědčili například při prohlížení snímků pořízených koronografy LASCO na palubě družice SoHO a pomohli tak objevit přes tisíc komet padajících do Slunce, tzv. komet Kreuzovy rodiny. Paradoxně se tak stala sluneční sonda bezkonkurenčně nejúspěšnějším hledačem komet v historii! Většina z nich byla odhalena pečlivými amatéry, systematicky sledujícími snímky v datových archívech, které jsou běžně veřejně dostupné. Škoda jen, že komety objevené na snímcích z družice nejsou pojmenovány po jejich objeviteli, ale po projektu, do jehož síť ledový kousek jdoucí na smrt zapadl.

Amatéři mohou též přispět k výzkumu bílých erupcí. Ne úplně každá erupce je profesionálními astronomy detailně prozkoumána, spory se vedou i o mechanismech jejich vzniku a vývoje. Je třeba možné, že i u slabších, nezajímavých chromosférických erupcí může vzniknout svazek částic, který zasáhne až do fotosféry a dá vzniknout vzácnější bílé erupci. Na systematický průzkum datových archívů obsahujících širokospektrální pozorování z několika přístrojů současně nemají profesionálové čas ani prostředky. Avízo pozorného amatéra, který si při sledování



Kometa 96P Machholz sice nepatří do komet Kreuzovy rodiny, ale přesto se pohybovala v přísluní natolik blízko Slunce, že byla zachycena koronografy observatoře SoHO. S pomocí amatérů byla na snímcích koronografů LASCO objeveno přes 1000 komet, pro něž byl objevený průlet současně tím posledním v jejich životě.

Slunce všiml neobvyklého, krátkého zjasnění fotosféry by profesionálové celkem určitě ocenili, stejně jako pomoc při výběru vhodných kandidátů pro detailní studie.

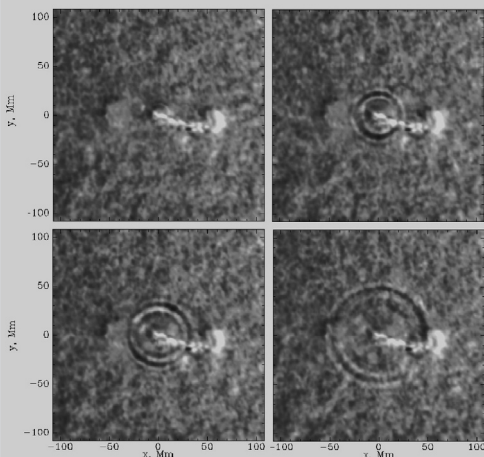
Jinak se zdá, že už teď může profesionálům konkurovat spíše ten amatér, který má dobrý počítač a internet s rychlým připojením, než romantický pozorovatel se soukromou hvězdárnou na zahradě.

Třesoucí se Slunce

Všechny odstavce doposud sepsané na stránkách této publikace se týkaly pozorování sluneční fotosféry a vyšších vrstev atmosféry – chromosféry a koróny. Nabízí se ale otázka, jestli je možné příslušně vybaveným přístrojem, např. s pomocí nějakého filtru podobně jako při pozorování chromosféry, pozorovat i hlubší vrstvy slunečního tělesa.

Bohužel, tou nejhlubší vrstvou, jež lze přímo pozorovat, je fotosféra. Nicméně již byly vyvinuty techniky, které umožňují děnit pod fotosférou studovat metodami tzv. helioseismologie.

Helioseismologie se zabývá sledováním a interpretací tzv. slunečních oscilací. Ty jsou odezvami mechanických vln šířících se slunečním nitrem. Oscilace lze v principu pozorovat v libovolné vrstvě sluneční atmosféry nebo i v celkovém zářivém výkonu. Teorie oscilací se odvíjí od znalosti stavových parametrů ve slunečním nebo hvězdném nitru. Na jejich základě lze z hydrodynamických rovnic odvodit, jakým způsobem se bude chovat vnesená porucha, jakou může být například element plazmatu vychýlený ze své rovnovážné pozice. Ze stejných rovnic lze odvodit, zda se element bude ve svém pohybu utlumovat nebo zda se tento vzruch bude šířit dál a budit při svém pohybu spektrum mechanického vlnění. Z rovnic lze dokonce i odvodit, jaký typ vln a jaké frekvence bude taková porucha budit. V případě Slunce poskytují nejsilnější signál zvukové mody s periodou kolem 300 sekund, které jsou ovšem konstruktivní interferencí cca 10 milionů různých druhů zvukových oscilací, odlišených frekvencí a vlnovou délkou.



Sluneční erupce způsobují propagaci seismických vln ve sluneční fotosféře. Analýza pozorování přístroje MDI z 9. července 1996 krátce po slabší sluneční erupci ukázala rozbíhající se zemětřesené vlny. Energie seismických vln je ekvivalentní stupni 11,3 Richterovy škály.

Výpočet teoretického spektra oscilací na základě znalosti slunečního modelu – přímá úloha – je dobře definovaným problémem, jehož přesnost závisí na podrobnostech použitého modelu a přesnosti a výpočetní kapacitě počítače, na němž jsou výpočty prováděny. Již jednoduchá měření prováděná v šedesátých letech minulého století ukázala, že spektrum

slunečních oscilací není spojité, ale diskrétní (tedy že se v něm vyskytují izolované frekvence) a že diagram vlnová délka-frekvence má charakter hřbetů. Modely ukázaly, že je to důsledek vzniku stojatého vlnění, které se jako jediné dlouhodobě uchová, zatímco ostatní kombinace vlnové délky a frekvence, které nedokáží vytvořit stojatou vlnu, se velmi rychle utlumí.

Problémem je však neznalost přesného modelu Slunce. Naštěstí lze v případě oscilací řešit úlohu opačnou – inverzní, pro jejíž řešení jsou vyvinuty matematické metody. V popisných rovnicích použitých pro konstrukci modelu se vyskytují volné parametry, které je možné s použitím inverzních metod na základě měřených frekvencí oscilací zafixovat.

Výhodou zejména zvukových modů oscilací je jejich lokalizace v hloubce. Mody s kratší vlnovou délkou pronikají relativně mělce do nitra, zatímco mody s delší vlnovou délkou pronikají hlouběji. Studium vln s konkrétní vlnovou délkou pak můžeme provádět hloubkovou sondáž slunečního tělesa.

Popsaným způsobem víceméně funguje tzv. globální helioseismologie. Ta využívá měřeného spektra oscilací pocházejících z velké oblasti slunečního disku ke stanovení globálních parametrů slunečního modelu a průběhu stavových funkcí. Ve své podstatě zachází se Sluncem jako s hvězdou, a proto je v poslední době tato metoda úspěšně aplikována i na další různé typy hvězd.

Oproti tomu lokální helioseismologie potřebuje obecný sluneční model jako vstupní údaj. Její úlohou je využít měření oscilací v malé lokalizované oblasti a vytěžit popis struktury slunečního nitra pod sledovanou oblastí. Metoda umožňuje získat informace o existujících magnetických polích, měnící se rychlosti zvuku a nebo měřit pohyby plazmatu.

Zvláštní odrůdou lokální helioseismologie je helioseismická holografie. Ze sledování oscilací na přivrácené straně lze usoudit na jejich fázové poruchy, které lze přímo převést na informace o magnetickém poli na odvrácené straně. Metoda je v rámci rozlišení velmi úspěšná a dnes jsou její výsledky platným pomocníkem při předpovídání sluneční aktivity.

Slunce v jiných oborech

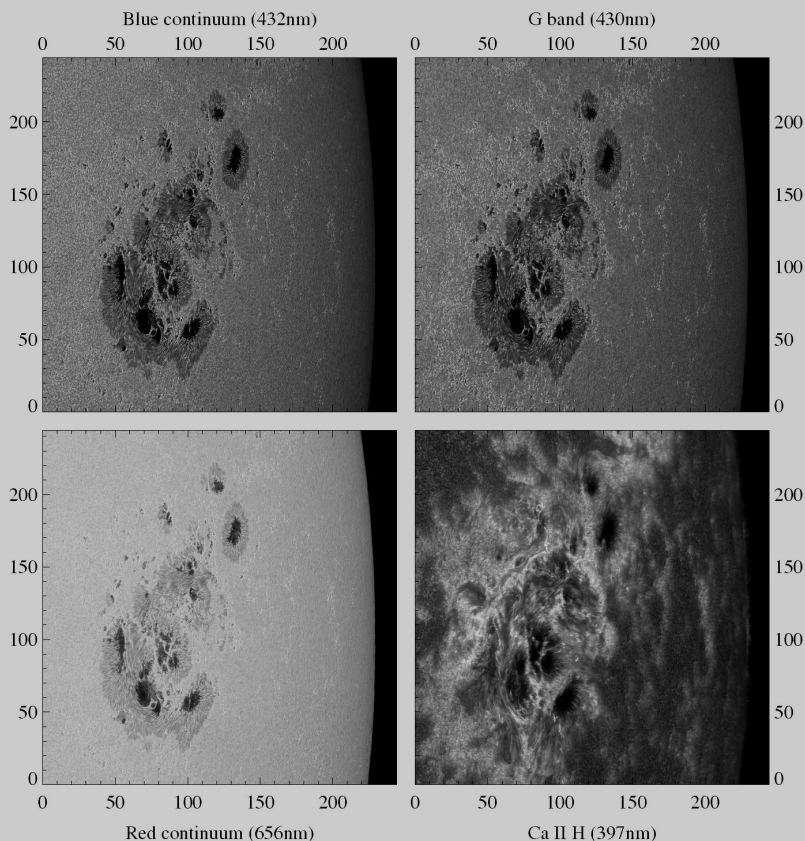
Jak vypadá Slunce v neoptických oborech elektromagnetického spektra?

Ukazuje se, že převážná část veškerého záření od Slunce, je vyzářena právě v optické oblasti. To ovšem neznamená, že jsou příspěvky slunečního záření mimo ni zcela zanedbatelné či nezajímavé. Zatímco ve viditelné oblasti spektra pozorujeme převážně tepelné záření vycházející z opticky husté fotosféry, tak v jiných oblastech se setkáváme se zářením netepelného původu, které nejčastěji vzniká jako důsledek různých více či méně dramatických projevů sluneční aktivity.

Sluneční erupce se projevují na téměř všech vlnových délkách. Specifický odraz mají na rádiových vlnových délkách, přímo pozorovatelné a jednoznačně identifikovatelné jsou pak v ultrafialovém nebo rentgenovém oboru. Obě je důsledkem netepelných procesů – především srážek svazků částic s pozadovou látkou – které v erupci probíhají. Měkký rentgenový obor

(0,1–0,8 nm) se využívá při klasifikaci erupcí. Celkový tok v tomto pásu umožní stanovit třídu erupce a odhadnout ji písmenkem B, C, M nebo X a příslušnou silou v rámci třídy.

Zatímco rádiové Slunce lze pozorovat i z povrchu zemského, za získáním rentgenových a ultrafialových obrazů musíme jednoznačně do kosmického prostoru, neboť tyto oblasti jsou téměř stoprocentně blokovány atmosférickou ozónovou vrstvou. První rentgenové fotografie Slunce tak přišly až v polovině dvacátého století z výškových raket.



Aktivní oblast NOAA 10486 pozorovaná v čtyřech spektrálních pásmech 2. listopadu 2003 holandským dalekohledem DOT na Kanárských ostrovech. Každé ze spektrálních pásem ukazuje jiný pohled na fyziku skrývající se v pozadí slunečních skvrn. Snímek ve spektrálním pásu G zachycuje jako zjasnění i ty nejmenší magnetické elementy, zjasnění ve snímku pořízeném v čáře ionizovaného vápníku naopak podává celkovou informaci o přítomnosti koncentrací magnetického pole. (c) DOT

Slunce je při pohledu ve vysokoenergetické oblasti spektra více strukturované. Zdůrazněny jsou především aktivní oblasti, v nichž probíhají netermální procesy a celé smyčky magnetického pole, podél nichž typicky tečou silné elektrické proudy, jenž stojí do značné míry za ohřevem koróny. Rozsvícená místa odpovídají zjasněním pozorovaným v čáře H- α .

Svá specifika má též pozorování Slunce v rádiovém oboru. Tím nejdůležitějším je skutečnost, že díky difrakčním principům je rozlišení v rádiovém oboru o několik řádů menší než v oboru optickém. Desetimetrová anténa pozorující v pásmu decimetrových vln (přibližně v této oblasti shodou okolností též vysílají mobilní sítě GSM) má úhlové rozlišení přibližně jeden stupeň. Proto údaje získané z takového pozorování poskytují informaci o Slunci jako takovém. V průběhu erupce tedy víme, že erupce nastala, ale nedokážeme už říci, v které části slunečního disku. Největší používané radioteleskopy s průměrem několik desítek metrů dokáží na disku Slunce rozlišit jen pár desítek oblastí. Přesto jsou tyto údaje pro pochopení plazmových procesů, které se při erupcích a jiných energetických událostech realizují, důležité.

Specifická pozorování jsou prováděna v spektrálních čarách některých iontů, zejména jednou ionizovaného vápníku (Ca II). Ionizovaný vápník se koncentruje v chladnějších oblastech magnetického pole. A protože je magnetické pole ve fotosférickém plazmatu zmrzlé, je unášeno povrchovými pohyby, zejména vnitřními pohyby v supergranulích. To jsou konvektivní buňky s charakteristickým rozměrem kolem 30 000 km a typickou dobou života kolem jednoho dne, které jsou odpovědné za přerozdělování povrchového magnetického pole. Protože je magnetické pole toky unášeno, přirozeně se koncentruje v místech styku dvou a více supergranulí. Právě na těchto místech se koncentruje ionizovaný vápník a zvýrazňuje tak strukturu celkových magnetických polí. V tzv. kalciogramech vytváří vápníková emise strukturu sítě, která lemuje hranice supergranulí. Podobná pozorování lze provádět v některých čarách kyslíku nebo křemíku.

Na vzhledu profilu spektrální čáry se podepisuje mnoho fyzikálních procesů, přičemž jedním z nich je i pohyb látky, v níž spektrální čára vzniká. Uplatňuje se zde tzv. Dopplerův efekt, jenž způsobuje to, že záření zdroje, jenž se od nás vzdaluje, se posouvá k červené oblasti, při přibližování pak naopak do modré. Zcela obdobný princip platí i v akustice: posloucháme-li u přejezdu blížící se a posléze se vzdalující vlak.

S pomocí nepříliš složitých technik lze pro vybranou spektrální čáru změřit, o kolik je posunuta oproti své laboratorní (klidové) vlnové délce. Posun lze interpretovat jako důsledek pohybu plazmatu vůči pozorovateli v místě slunečního disku, kde pozorování provádíme. Mapy celých oblastí, kde v každém bodě je místo intenzity zaznamenána změněná rychlost vůči pozorovateli, se nazývají dopplergramy, a jsou dnes nezbytným doplňkem slunečních pozorování. Ostatně celá lokální helioseismologie vychází právě z pozorování slunečních oscilací projevujících se v dopplergramech.

Spektrální čáry se v magnetickém poli štěpí na více komponent. Jejich rozestup je přitom úměrný indukci magnetického pole působící v látce, v němž příslušná čára vzniká. Tohoto chování si všiml v roce 1896 holandský profesor Pieter Zeeman, po němž se tento fyzikální jev jmenuje. Z pozorované velikosti zeemanovského rozštěpu a polarizace jeho složek v různých místech slunečního povrchu lze sestavit podrobné mapy indukce lokálního magnetického

pole, kterým se též říká magnetogramy. Ty jsou nezbytnou pomůckou každého slunečního pozorovatele, neboť umožňují např. rozhodnout, zda určité nahloučení slunečních skvrn není ve skutečnosti překryvem dvou či více samostatných skupin skvrn.

Závěrečné poznámky

Bezpečnost především

Při pozorování Slunce si můžeme i docela citelně ublížit. Kromě obvyklých nehod spojených s přístupem k přístroji, jako je pád na často příkrých schodech do kopule nebo ze schůdků k dalekohledu, či uklouznutí po podlaze nebo možnosti přinejmenším bolestivého úderu o některý z výčnělků dalekohledu, zde přichází nebezpečí jiného typu, které si zejména laik hned neuvedomí.

Zatímco protizávaží dalekohledu si člověk většinou všimne a instinktivně se mu pokusí vyhnout, nebezpečí plynoucí z koncentrovaného svazku energie, který navíc není přímo vidět, je již mimo zkušenosti návštěvníků a často i pozorovatelů. Je třeba mít na paměti, že se za žádných okolností nesmí návštěvníkovo oko ocitnout u okuláru nechráněného dalekohledu mířícího na Slunce. Tomu je nutné zabránit často i za cenu téměř fyzického násilí – následky by totiž mohly být přímo fatální. Nejnebezpečnější situací je ta, kdy jedním a tímž dalekohledem sledujeme jak Slunce, tak jiný objekt, např. jasnou hvězdu, planetu nebo pozemní objekt. K vyhledání a pozorování takového objektu totiž zpravidla používáme hledáček, který při přechodu na Slunce občas zapomeneme zakrýt. Neznalý návštěvník či hyperaktivní dítě se určitě bude chtít do takového hledáčku podívat, a neštěstí je hotovo. Jakkoli se světelný výkon soustředěný typickým, řekněme pěticentimetrovým, hledáčkem se nedá porovnávat s výkonem velkého dalekohledu, stačí docela dobře k trvalému poškození zraku!

Na většině hvězdáren nabízejících demonstrace Slunce se ročně vyskytne i přes veškerou ostrážitost demonstrátorů a pracovníků několik drobných popálenin ročně, zejména na ruku velmi zvědavých, nepředvídatelně reagujících dětí. Ty mají tendenci si vyzkoušet vše, co je jim řečeno, a tudíž častou reakcí na „sem nic nedávej, hodně to pálí“ je prosté vložení dlaně do ohniska dalekohledu. Následky těchto drobných poranění jsou téměř nulové, dítě se přesvědčí, pro příště si to bude pamatovat a demonstrátorova ostrážitost opět stoupne.

Co se týče odpovědnosti, jsou demonstrátoři v podobné pozicích, jako řidiči autobusů nebo piloti letadel. Bezprostřední odpovědnost za dění v kopuli při provozu mají oni. Z tohoto důvodu je více než nutné, vždy každou skupinku upozornit na možná nebezpečí a příslušným způsobem ji instruovat (zejména vyjmenováním přístrojů, do nichž se lze přímo podívat). Je dobré nenuceným způsobem během výkladu toto upozornění ještě několikrát zopakovat. Vždy je nutné během pozorování Slunce stát poblíž dalekohledu, zejména toho potenciálně nebezpečného, tedy s projekcí. Stejně nutné je být připraven na rychlou akci, pokud se přes veškerá varování některý z návštěvníků rozhodne prověřit tepelný výkon na vlastní kůži, v horším případě oči.

Výhodou slunečních pozorování je nepochybně skutečnost, že máme Slunce tak blízko. A tak na rozdíl od pozorování jiných hvězd, u nichž můžeme demonstrovat maximálně vícehvězdnost, barevné odstíny nebo příslušnost k nějaké kupě, je možné na Slunci demonstrovat povrchové podrobnosti nebo přímý vliv na život na Zemi.

Důležitou součástí demonstrace Slunce je abstrakce. Především abstrakce toho, že Slunce je jen jednou z mnoha miliard hvězd. Že útvary podobnými těm, co leží 150 milionů kilometrů od nás, je prostoupen celý vesmír. Že i kolem jiných hvězd–sluncí jsou též pozorovány planetární soustavy. Že naše Slunce, sluneční soustava, Země nejsou v kosmických měřítkách nic výjimečného. A že možná ani život není nic specifického pouze pro nepatrný kus skály obíhající v pořadí třetí kolem mírně nadprůměrné žluté hvězdy v rameni jedné z miliard spirálních galaxií.

Neutrinové Slunce

Částicový zvěřinec je mnohem komplikovanější, než jak je podáván v hodinách fyziky na základních nebo středních školách. Kromě běžně se vyskytujících elektronů, protonů a neutronů existuje desítky dalších elementárních částic. Jednou z nich jsou neutrina, neutrální částice zanedbatelného účinného průřezu s velmi nízkou klidovou hmotností, vznikající při některých jaderných reakcích. Částice mají velmi vysokou pronikavost, takže přestože od Slunce jich proudí velké množství, v těle člověka se zachytí v průměru dvě za celý život.

Neutrina poskytují přímé informace o dění ve slunečním jádře, kde vznikají při reakcích protonově-protonového řetězce. Na rozdíl od fotonů většina z nich bez odporu proniká všemi vrstvami slunečního nitra a za 8 minut se dostanou až k Zemi, kde některá z nich mohou být zachycena ve speciálních detektorech. Obří nádrže naplněné těžkou vodou nebo perchloretylenem, látkami které jsou schopny neutrina zachycovat účinněji než jiné, jsou základem detektorů umístěných hluboko pod zemským povrchem – jmenujme například japonské Kamiokande.

S pozorováním neutrin začal v šedesátých letech minulého století Ray Davis v opuštěném dole poblíž amerického městečka Homestake. Bohužel už první měření ukázala, že neutrin je méně, než předpovídá teorie. Astrofyzikové dospěli k rozporu zvanému neutrinový problém. Počet zachycených neutrin odpovídal pomalejšímu tempu jaderných reakcí ve Slunci, než se očekávalo, centrální sluneční teplota by musela mít pouhých 13 milionů stupňů. Avšak helioseismická a další pozorování zatvrzele ukazovala na teplotu vyšší, na 15,7 milionu stupňů. Rozpor se pokusilo vysvětlit několik teorií měnících sluneční model tak, aby bylo možné zachovat vyšší jadernou teplotu a současně nižší tempo reakcí. Každý z těchto nestandardních modelů však měl vedlejší efekt, jehož projevy by musely být pozorovatelné dostupnou technikou.

Řešení problému přišlo o téměř čtyřicet let později, přestože navrženo bylo již v osmdesátých letech. Neutrin jsou totiž tři typy – elektronová, mionová a tauonová. Detektory jsou citlivé různě na různé typy neutrin. Částicoví teoretikové předpověděli, že pokud mají neutrina nenulovou klidovou hmotnost, tak mohou samovolně přecházet do jiného typu. Tyto tzv. neutrinové oscilace byly potvrzeny souběžným pozorováním různých typů detektorů v letech

1998 a 2002. Za objev neutrinových oscilací a vyřešení slunečního neutrinového problému byla dokonce udělena v roce 2002 Nobelova cena za fyziku.

Zdroje informací o Slunci

www.astronomie.cz – stránky Amatérské prohlídky oblohy, sdružení zabývajících se amatérským pozorováním nebeských objektů, Slunce nevyjímaje

www.ian.cz – informační server přinášející články ze všech oblastí astronomie

www.spaceweather.com – kosmické počasí pro každého, obsahuje informace a upozornění i na jevy související se sluneční aktivitou

sohowww.nascom.nasa.gov – stránky slunečního kombajnu SoHO, obsahují též přístup k on-line archívu pozorování

www.bbso.njit.edu – sluneční observatoř uprostřed Medvědího jezera v Kalifornii, poskytující svá pozorování on-line

www.spacew.com/cme/index.html – předpovědi impaktů plazmových oblaků na zemskou magnetosféru a atmosféru

www.spacew.com/www/aurora.php – pozorování polárních září z vesmíru i hlášení od pozemských pozorovatelů

sohowww.nascom.nasa.gov/spaceweather/ – „ciferníky“ indexů popisujících kosmické počasí v bezprostředním okolí Země – vhodné pro sledování nástupu očekávané geomagnetické bouře pozorovateli lačnicími po spatření polárních září

Michal Švanda

Pozorujte Slunce, zn: Amatérsky!

Recenzovali Mgr. Jiří Dušek, Ph.D., doc. RNDr. Zdeněk Pokorný, CSc. a doc. RNDr. Zdeněk Mikulášek, CSc. Publikace vychází z praktických zkušeností získaných při pozorování Slunce na Štefánikově hvězdárně v Praze a během astronomických expedic, konaných každoročně na Hvězdárně v Úpici.

Vydalo Sdružení hvězdáren a planetárií za finančního přispění Ministerstva kultury České republiky v roce 2007. Na vydání spolupracovaly občanské sdružení Amatérská prohlídka oblohy a Sluneční sekce Štefánikovy hvězdárny.

Sazba a grafická úprava: Marek Kolasa

Návrh obálky: Jiří Studnický

Náklad: 1000 kusů.

Vytiskla tiskárna CETA.

© Mgr. Michal Švanda, Ph.D., 2007

