

# Vzdělávací soustředění studentů

v rámci projektu KOSOAP

Kooperující síť v oblasti astronomických odborně-pozorovatelských programů

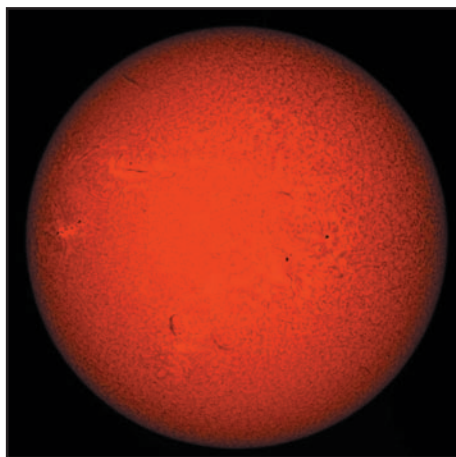
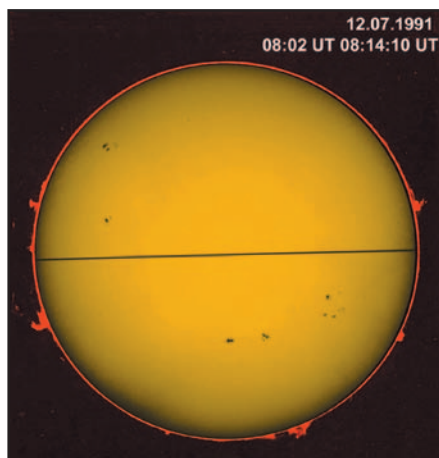


## METODICKÝ A VZDĚLÁVACÍ MATERIÁL

Hvězdárna Valašské Meziříčí 11. – 13. listopadu 2011

# SLUNCE, PROJEVY SLUNEČNÍ AKTIVITY A VYUŽITÍ SPEKTROSKOPIE V ASTROFYZIKÁLNÍM VÝZKUMU

Eva Marková, Pavol Rapavý, Jan Zahajský, Libor Lenža



Tento mikroprojekt je spolufinancován Evropskou unií, z prostředků Fondu mikroprojektů spravovaného Regionem Bílé Karpaty



# 1. Slunce – nejbližší hvězda

Eva Marková, Sluneční sekce České astronomické společnosti

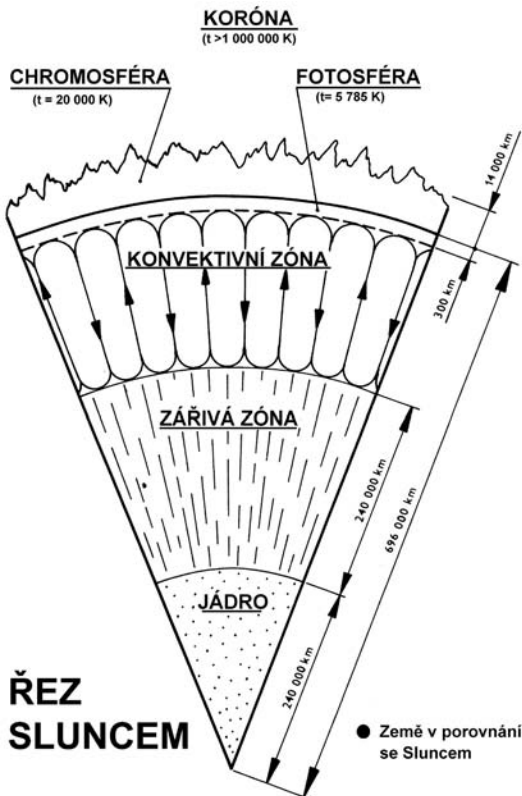
Slunce je **centrální hvězdou Sluneční soustavy** a naší nejbližší hvězdou s průměrnou vzdáleností od Země 150 milionů km (1 astronomická jednotka - AU). Světlo od Slunce k nám doletí za necelých 8 minut, zatímco z druhé pro nás nejbližší hvězdy, kterou je Proxima Centauri, za 4,3 roku.

Slunce je **koule plazmatu** složená převážně z vodíku a hélia, jejíž průměr činí 109 průměrů Země. **Teplota v nitru** dosahuje 15 milionů K (Kelvinů), zatímco na povrchu necelých 6 000 K. Hustota od nitra směrem k povrchu klesá. Povrch Slunce, vlastně to, co z něho vidíme, se nazývá **sluneční fotosférou**. Ve skutečnosti to je nejnižší část sluneční atmosféry. Dalšími vrstvami sluneční atmosféry jsou **chromosféra**, kterou tvoří poměrně úzký proužek o tloušťce cca 16 000 km a **sluneční koróna**, která je naopak velmi rozsáhlá, dosahuje prakticky až na hranici Sluneční soustavy. Její hustota se vzdáleností od Slunce klesá, ale její teplota od

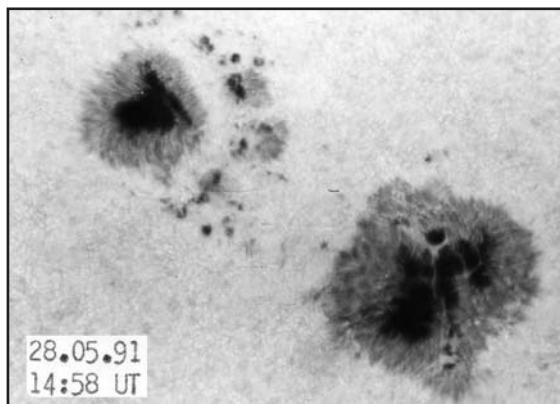
povrchu Slunce až do vzdálenosti několika poloměrů Slunce stoupá až na několik milionů stupňů.

Slunce je **hvězda spektrální třídy G2**, což jsou žluté hvězdy s povrchovou teplotou 5 000 – 6 000 K. Hvězd podobných Slunci je ve vesmíru (tedy nejen v naší galaxii) velké množství. Ve srovnání s ostatními hvězdami co do velikosti není Slunce ničím výjimečné, existuje velké množství mnohem větších, ale i mnohem menších hvězd.

Slunce **rotuje kolem své osy** podobně jako Země, jedna otočka trvá v průměru **27 dní**. Slunce ale nerotuje jako pevné těleso; rychlost rotace se mění od rovníku (cca 24 dní) k pólům (cca až 35 dní). Rotace se ale mění i s hloubkou, povrchová vrstva rotuje pomaleji. Jádro Slunce rotuje jako pevné těleso.



Důležitým projevem v chování Slunce vedle toho, že nám dává teplo a světlo, je **sluneční aktivita**. Nejtypičtějším a nejlépe sledovatelným projevem sluneční aktivity je výskyt **slunečních skvrn** (je nejčastěji charakterizován relativním nebo **Wolfovým číslem**) a s nimi spojených aktivních oblastí, dále pak **sluneční erupce**, sluneční protuberance, ale i změny rádiového nebo rentgenového záření. Tyto změny probíhají cyklicky, **cyklus sluneční aktivity** trvá v průměru 11 let. To je doba, která uplyne mezi minimy resp. maximy sluneční aktivity. V **minimu sluneční aktivity** je Slunce relativně v klidu. V té době mohou trvat i několikaměsíční období, kdy není na Slunci pozorována žádná sluneční skvrna, tj. relativní číslo slunečních skvrn je rovno nule a i další projevy sluneční aktivity jsou minimální. Naopak v době **maxima sluneční aktivity** se může na Slunci nacházet velký počet slunečních skvrn, může docházet i k několika velkým slunečním erupcím denně a rovněž další parametry sluneční aktivity vykazují vysoké hodnoty. Tyto cykly se na základě některých dalších projevů skládají na delší cykly, jako je **22letý cyklus** – souvisí se změnou polarit magnetického pole, ale i delší, jako je 80letý, 200letý, 800letý a možná ještě i delší.

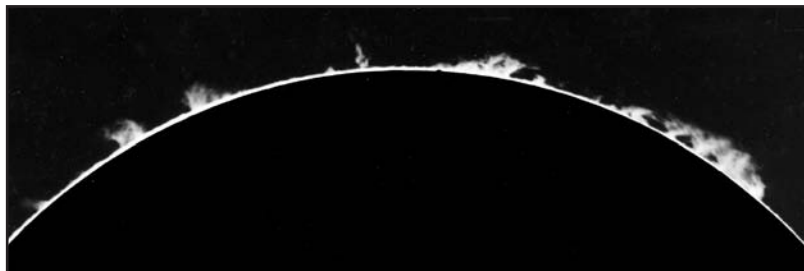


**Sluneční skvrny** jsou tmavé útvary ve sluneční fotosféře zpravidla kruhového, popř. nepravidelného tvaru. Mají tmavší střed – **umbru** neboli stín a světlejší okraj – **penumbru** neboli polostín. Je to oblast, kde je velmi **silné magnetické pole**. To zabraňuje přenosu energie směrem nahoru, což má za následek, že teplota skvrny je nižší než teplota okolního

povrchu Slunce – asi 4 000 K. Okolo skvrn jsou velmi teplé aktivní oblasti, tzv. **fakulová pole**. V nich je naopak teplota vyšší. V důsledku toho Slunce v době minima vyzařuje mnohem méně energie než v době maxima. S tím souvisí např. Maunderovo minimum v 17. století (tzv. malá doba ledová), kdy byla prakticky nulová aktivita a naopak Velké maximum v cca 10. – 11. století, kdy teplota na zeměkouli byla tak vysoká, že Grónsko bylo zelenající se zemí.

**Životní doba skvrn** se pohybuje od několika hodin u nejmenších skvrn až po několik měsíců u nejvyvinutějších. Jejich průměr dosahuje rozměrů od cca 100 km u těch nejmenších až po 20 000 km u těch největších, které mohou být pozorovatelné i pouhým okem. Skvrny mohou vytvářet **skupiny skvrn**. Množství skvrn na Slunci se mění v závislosti na fázi slunečního cyklu. Vyskytují se pouze

v nižších heliografických šířkách, tj od 40 až 50 stupňů heliografické šířky až po rovník, v polárních oblastech se sluneční skvrny nevyskytují. Poloha jejich výskytu se během cyklu mění. Na začátku cyklu vznikají ve vyšších heliografických šířkách a postupně v průběhu cyklu v nižších a nižších šířkách, až se na konci cyklu vyskytují v oblasti rovníku. Cykly se ale mohou překrývat, což dokazuje to, že jsou pozorovány skvrny jak v okolí rovníku (končící cyklus), tak ve vyšších heliografických šířkách (začínající cyklus).



**Protuberance** jsou útvary vyskytující se ve sluneční chromosféře a koróně. Jsou to výrony hmoty, která oproti okolní koronální látce má 200 – 300krát vyšší hustotu a nízkou teplotu. Ta na rozdíl od sluneční koróny, kde teplota dosahuje hodnoty až několika milionů K, se pohybuje od 10 000 K do zhruba miliónu stupňů. Nad okrajem Slunce je můžeme pozorovat jako jasné útvary, při promítání na sluneční povrch jako tmavé jazyky, které nazýváme filameny. Existují **dva základní typy protuberancí**. **Klidné protuberance** trvají několik dní až měsíců, kdy se po celou dobu prakticky nemění. Dosahují výšky 15 000 – 100 000 km. **Aktivní nebo také eruptivní protuberance** mohou být různého tvaru (smyčky, vějíře, spreje, apod.). Dochází v nich k poměrně rychlým změnám. Jejich životnost je od několika minut do několika hodin.

Důležitou roli ve sluneční aktivitě hraje **sluneční koróna**, což je nejvyšší vrstva sluneční atmosféry. Mění se rovněž podle fáze cyklu sluneční aktivity – v době minima je protáhlá kolem rovníku ve tvaru dlouhých silných tzv. přílbicových paprsků, zatímco v okolí pólů se nacházejí tenké polární paprsky. V době maxima má téměř kruhový tvar, silné přílbicové paprsky jsou kolem celého slunečního disku. Navíc bylo zjištěno, že se liší i v různých cyklech sluneční aktivity. Je v ní silné magnetické pole, které hraje velkou, ne-li rozhodující roli při šíření projevů sluneční aktivity do meziplanetárního prostoru a k Zemi.

**Sluneční aktivita ovlivňuje řadu dějů na Zemi**. Velké erupce s výronem vysokoenergetických částic interagujících s elektromagnetickým polem Země nám poskytují nádherný úkaz, kterým jsou **polární záře**. Ovšem společně s tím bývají i **poruchy geomagnetického pole**, které mohou způsobit poruchy na rádiovém

spojení. **Vysokoenergetické částice** mohou být zdrojem indukce vysokých proudů a napětí na dálkových vedeních, což může způsobit jejich poruchy a s tím spojené značné finanční škody (známý je případ z r. 1989, kdy v Kanadě podobné vedení zkolabovalo a vzniklé škody dosahovaly přímo astronomických hodnot). Sluneční aktivita nepříznivě ovlivňuje i kosmické lety – při pilotovaných letech by mohlo dojít k ozáření a tím poškození zdraví pilotů, vysokoenergetické částice mohou poškodit zařízení na družicích.

## Pozorování Slunce

Vzhledem k tomu, že od Slunce přichází mnohem více světla než od jiných vesmírných objektů, mohou být dalekohledy a další přístroje monitorující Slunce podstatně menších rozměrů. Na druhé straně ale současně s **velkým množstvím světla přichází i velké množství tepelné energie**, která by mohla poškodit oko pozorovatele popř. registranční jednotku; proto tyto přístroje musí mít proti tomu určité zabezpečení.

Pokud je Slunce pozorováno klasickým dalekohledem, který míří přímo na Slunce, musí být část energie odvedena mimo pozorovatele a navíc dalekohled musí být vybaven příslušnými **filtry**. Ale ani tak se velmi často pozorovatel nedívá do dalekohledu, ale **obraz Slunce je promítán za dalekohledem** nebo se zobrazuje na film. Při pozorování Slunce se ale daleko více používají přístroje umístěné horizontálně, do nichž je sluneční světlo přiváděno jedním (siderostat) nebo dvěma (coelostat) zrcadly.

Přístroje jsou pak ještě vybaveny podle toho, kterou část Slunce pozorujeme. **Projekčními dalekohledy** se zpravidla pozoruje sluneční fotosféra se skvrnami, fakulovými poli a granulací. **Monochromatickými filtry** se v příslušné spektrální čáře (H alfa, kalciová čára apod.) pozorují erupce a chromosféra. Sluneční koróna se pozoruje **koronografy**, což je dalekohled, kde je sluneční kotouč uměle zastíněn, neboť jeho světlo je natolik silné, že korónu přesevětluje. Klasické korunografy pro pozorování sluneční koróny se používají především na družicích, pozemská pozorování umožňují pozorovat sluneční korónu pouze v určité spektrální čáře. Výjimkou je **úplné sluneční zatmění**, což je jediný případ, kdy je možné sluneční korónu pozorovat na Zemi v bílém světle jako celek, navíc s vyšším rozlišením, než na družicích. Z toho důvodu je pozorování sluneční koróny v době úplných zatmění pro sluneční fyziku velmi důležité. Dalším velmi důležitým přístrojem na pozorování Slunce je **spektrograf**, který umožňuje rozložení slunečního světla na spektrum.

## Současné i budoucí problémy sluneční fyziky

Ve sluneční fyzice přesto, že Slunce je naše nejbližší a tím i nejsledovanější hvězda, existuje ještě stále spousta nevyjasněných věcí, spousta záhad. Z pozorování víme, jaké děje na Slunci probíhají, ale zdaleka nám nejsou jasné jejich mechanismy. Jsme schopni si řadu procesů namodelovat, pozorováním pak ověřovat, zda model odpovídá či ne. Čím dokonalejší bude softwarové vybavení a výkonnější počítače, tím přesnější modely budou. A čím více se zlepší pozorovací technika, tím lépe se budou ověřovat. Mnoho nového hlavně v otázce dějů ve slunečním nitru učinil poměrně mladý obor sluneční fyziky, a tím je **helioseismologie**. Ta např. přispěla k možnému vysvětlení **deficitu slunečních neutrin**. Bylo zjištěno, že existují tři typy slunečních neutrin, které se vzájemně přeměňují. My jsme ale schopni dosavadními metodami registrovat jen jeden z nich. Dále umožňuje nepřímé pozorování aktivních oblastí na odvrácené straně Slunce.

Velký pokrok ve výzkumu sluneční atmosféry učinil **družicový výzkum**. Družice **TRACE** a **SOHO** přinesly některé novinky v otázce ohřevu sluneční koróny, kdy byla potvrzena vysoká termální vodivost horkého koronálního plynu. Rovněž objevily možnost pozorování slunečních skvrn na odvrácené straně Slunce díky bublině ionizovaného plynu, která vzniká kolem Slunce a jejíž okraj tvoří jakousi „obrazovku“. Družice **Stereo** umožňují získání 3D snímků a měly by přispět k objasnění některých jevů na Slunci, např. k pochopení mechanismu vzniku koronálního výronu hmoty.

Přesto ale **zůstává řada nevyjasněných otázek**, ať už se týkají slunečních skvrn, erupcí a dalších jevů na Slunci, slunečního cyklu, ohřevu sluneční koróny, doplňování hmoty do koróny, přítomnost neutrální hmoty v koróně, změny struktury sluneční koróny v závislosti na slunečním cyklu a v různých cyklech apod., jejichž objasnění vyžaduje ještě velké množství práce, a to jak teoretické tak pozorovatelské. A bylo by omylem si myslet, že rozvoj družicových pozorování nahradí pozorování pozemská. Naopak, pozemská pozorování jsou stále nezbytná a tvoří nedílnou součást sluneční fyziky

Oborem, který má v poslední době zelenou, je **výzkum kosmického počasí**. Je to soubornější název pro dřívější problém týkající se **vztahů Slunce – Země** a jeho cílem je řešení tohoto problému komplexněji, kdy je objektem zkoumání i kosmický prostor. Tento obor by mohl mít značný přínos pro hospodářství, ať už při zabraňování různých katastrof a při ochraně družic a lidí v kosmickém prostoru v souvislosti s vysokou sluneční aktivitou, ve spojovací technice, při hledání nových energetických zdrojů apod. Značný důraz je přitom kladen na zpřesňování a vylepšování předpovědní služby při předpovídání sluneční aktivity.

## 2. Základní poznámky k pozorování Slunce

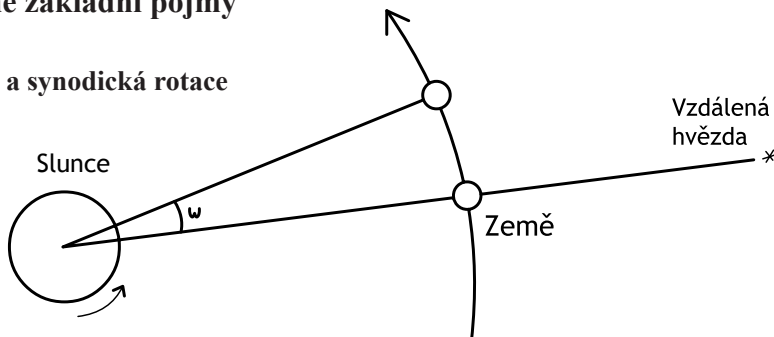
Libor Lenža, Hvězdárna Valašské Meziříčí

### Slunce - základní veličiny

- |   |   |
|---|---|
| • Střední vzdálenost Slunce-Země                      | $1,4960 \pm 0,0003 \times 10^{11} \text{ m}$      |
| • Zdánlivý poloměr Slunce                             | $15' 59,63''$                                     |
| • Skutečný střední poloměr                            | $6,960 \pm 0,001 \times 10^8 \text{ m}$           |
| • Hmotnost Slunce                                     | $1,991 \pm 0,002 \times 10^{30} \text{ kg}$       |
| • Sklon slunečního rovníku k ekliptice                | $i = 7^\circ 15' 00''$                            |
| • Doba rotace bodu na Slunci ( $\varphi = 15^\circ$ ) | siderická 25,380 dne<br>synodická 27,2753 dne     |
| • Zdánlivá vizuální velikost (jasnost)                | - 26,73 mag                                       |
| • Absolutní jasnost (hvězdná velikost)                | 4,84 mag  |
| • Úniková rychlost ze Slunce                          | $6,177 \times 10^5 \text{ m}\times\text{s}^{-1}$  |
| • Celkové magnetické pole                             | $1\text{-}5 \times 10^{-4} \text{ T}$             |
| • Průměrná hustota                                    | $1,408 \times 10^3 \text{ kg}\times\text{m}^{-3}$ |

### Vybrané základní pojmy

#### Siderická a synodická rotace

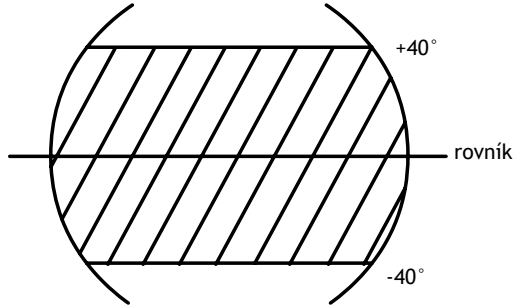


- vzhledem ke hvězdám se Slunce otočí jednou za 24,96 dne na rovníku (**siderická doba rotace**). Vyšší heliografické šířky rotují s delší periodou (průměrně 25,38 dne), neboť Slunce není pevné těleso.

Při pozorování rotace Slunce ze Země se zdá být sluneční rotace pomalejší, neboť Země obíhá kolem Slunce ve stejném směru, v jakém rotuje Slunce. Tato tzv. **synodická rotace** na slunečním rovníku je 26,9 dne.

### Královská zóna

Oblast, ve které se téměř výhradně vyskytují skupiny slunečních skvrn ( $\pm 40^\circ$  heliografické šířky).

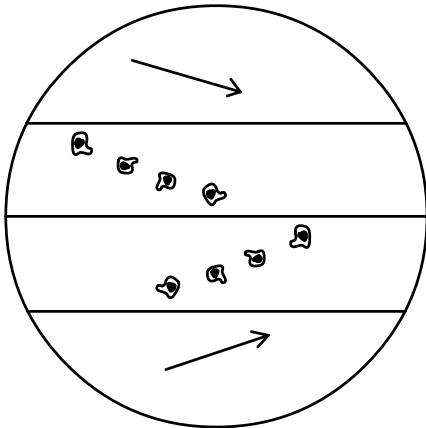


### Slunce rotuje jako plynné těleso

- 0° heliografické šířky 25,1 dne
- 15° heliografické šířky 25,38 dne
- 35° heliografické šířky 26,6 dne

### Wolfovo relativní číslo $R = k(10g + f)$ ; $k = 1$

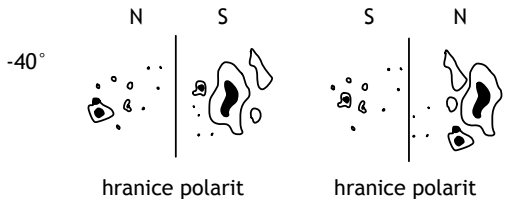
(koeficient  $k$  - rozlišovací schopnost, chyby pozorovatele)



### Spörerův zákon

čím „starší“ cyklus, tím se skvrny vyskytují blíže k rovníku.

Z **polarity lokálního magnetického pole** zjistíme, zda skupina bude patřit do nového či starého cyklu.



### Wilsonův efekt



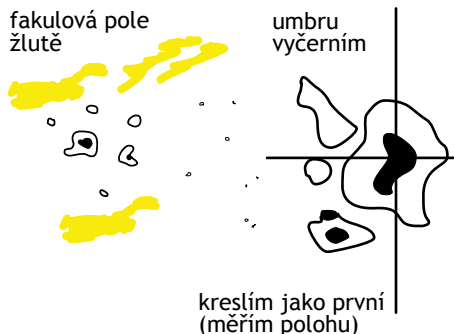


## Metody pozorování Slunce

1. Pouhým okem
2. Dalekohledem - přímo
3. Dalekohledem - metoda projekce
4. Fotograficky (různé vlnové délky)
5. Elektronické (CCD, radio, detektory)
6. Sondy - elektronicky, in situ

## Poznámky k pozorování metodou projekce

- odpovídající dalekohled (vůbec nemusí být velký) - od 60 mm průměru objektivu
- pravidelnost pozorování (nejlépe ráno později po východu Slunce - lokální vlivy)
- průměr zákesru - v principu libovolný, ale standart je 250 mm
- orientace Slunce na kresbě - dva způsoby určení denního pohybu
- čas pozorování (střed intervalu, v SEČ nebo UT)
- Q - kvalita pozorování (okraj Slunce může být jasný, ostrý a kontrastní, ale také „zubatý“, nejasný a s velkým chvěním obrazu)
- zakreslování (jeden bod kreslím vždy první (pro pozici))
- číslování skupin (podle toho, jak se na disku objeví, NOAA, od západu k východu)
- jednu kresbu by měl dělat jeden autor



## Souřadnice - heliografická souřadná síť

**Heliografická šířka  $b$**  - od rovníku  $\pm 90^\circ$

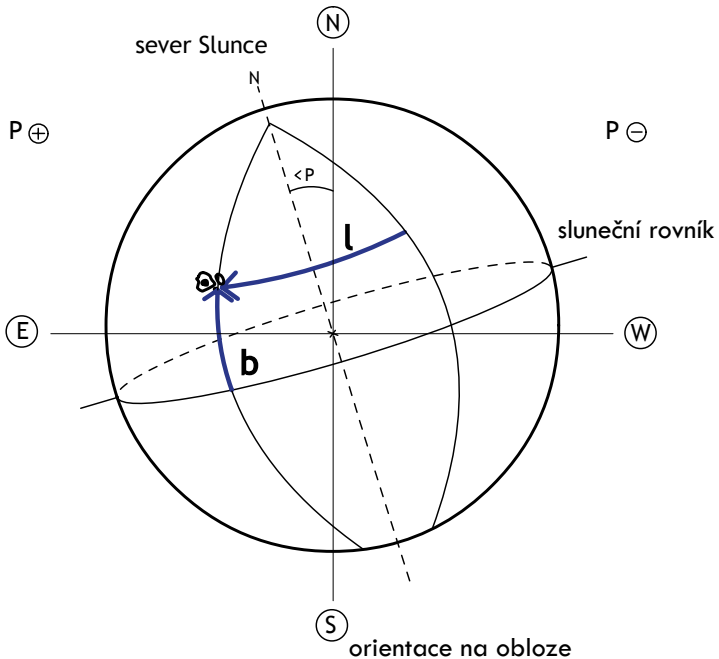
**Heliografická délka  $l$**  - od meridiánu  $0^\circ$  heliografické délky (s časem klesá -  $360^\circ - 0^\circ$ ) -  $0^\circ$  meridián se určil začátkem 2. poloviny 19. století

### Další potřebné parametry:

**$P$  - poziční úhel** - úhel, který svírá rovina místního meridiánu s rotační osou Slunce ( $\pm 26,4^\circ$ )

**$B$  - úhel**, který svírá rovina slunečního rovníku s rovinou ekliptiky ( $\pm 7,2^\circ$ ) (heliografická šířka středu polokoule)

Polohy jednotlivých útvarů na Slunci (sluneční skvrny, sluneční erupce, ...) se určují v **heliografických souřadnicích**. Slunce se otáčí, a tak je možné určit jeho póly i rovník a obě souřadnice - heliocentrickou šířku a heliocentrickou délku.



### 3. Vizuálne pozorovanie Slnka

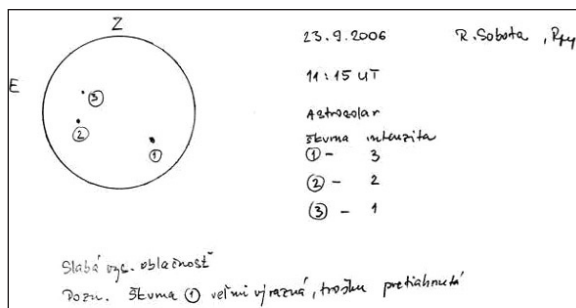
Pavol Rapavý, Hvezdáreň v Rimavskej Sobote

#### 3.1 Pozorovanie voľným okom

Výhodou tohto pozorovania je skutočnosť, že nepotrebujeme žiadny prístroj a tak ho môžeme robiť na ľubovoľnom mieste, ak to dovoľia pozorovacie podmienky. Jedinou podmienkou je, že jas slnečného disku musíme zoslabiť **vhodným filtrom**. Výnimočne je možné škrvny pozorovať aj bez filtra – pri východe či západe Slnka, pri hmle, vhodnej oblačnosti, dymne a pod.

Vhodným filtrom na pozorovanie voľným okom je zväčškový filter č. 12 až 14 (jeho náklonom ešte môžeme intenzitu meniť), osvetlený a vyvolaný čb film, disketa, tenká hliníková fólia (Baader Astrosolar – V) alebo špeciálny filter.

Pozorovanie je nenáročné, nevýhodou je relatívne malé využitie pozorovania. Tieto pozorovania je možné použiť na doplnenie štatistiky takýchto pozorovaní



v minulosti a ich naviazanie do súčasnosti. Pri tomto druhu pozorovania si musíme uvedomiť, že aj negatívne pozorovanie má svoju cenu. Zo všetkých škvŕn je voľným okom pozorovateľných asi len 6 %, viac ich je v okolí maxima slnečnej činnosti, no výnimkou nie sú ani mohutné

skupiny blízko minima.

**Z pozorovania vyhotovíme protokol, ktorý má obsahovať (obrázok hore):**

- orientovanú kresbu (zenit je hore) s priemerom 3-5 cm, na ktorej vyznačíme polohy škvŕny/škvŕn, ktoré sme videli
- miesto pozorovania
- dátum a čas (UT)
- použitý filter
- intenzitu viditeľnosti jednotlivých škvŕn
- pozorovacie podmienky (jasno, zákal, slabá oblačnosť, silná oblačnosť, pozorovanie tesne pri obzore a pod.).

**Intenzita viditeľnosti škvŕny:**

- 1 - škvŕna je na hranici viditeľnosti voľným okom
- 2 - škvŕnu je vidieť bez problémov
- 3 - škvŕna je viditeľná veľmi zreteľne

### 3.2 Pozorovanie d'alekohľadom

Pri pozorovaní d'alekohľadom musíme dbať na **vhodné zoslabenie intenzívneho slnečného svetla vhodným filtrom** (aj krátky pohľad d'alekohľadom bez filtra na Slnko môže spôsobiť trvalé poškodenie zraku, prípadne slepotu!) **umiestneným pred objektivom**. Zoslabenie filtrom v blízkosti okúľaru je nebezpečné, filter sa prehreje a ľahko praskne. Filter musí byť dostatočne kvalitný, aby nám neznižil kvalitu obrazu. Na vizuálne pozorovanie je veľmi dobrá špeciálna fólia (Baader Astrosolar) určená na vizuálne pozorovanie.

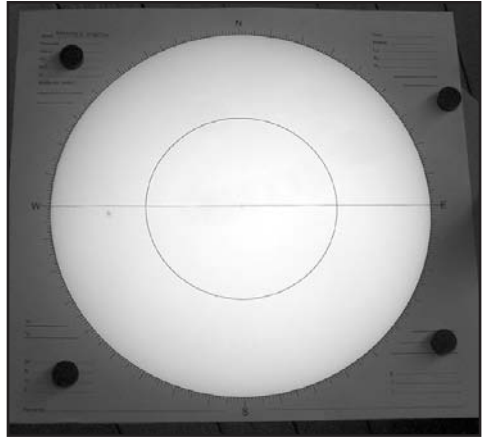
**Priame pozorovanie**

Pri priamom pozorovaní počítame počet skupín a počet škvŕn, všimame si faku-

lové polia. Tento druh pozorovania je najjednoduchší, no aj najmenej vhodný na určovanie relatívneho čísla.

### Projekcia

Projekcia je jednoduchá, dostatočne presná a zároveň z hľadiska možného poškodenia zraku aj bezpečná metóda. Obraz Slnka sa premieta na vhodné tienidlo na ktorom je upevnený pozorovací protokol. Štandardne je používaný **priemer kresby 25 cm** (vpravo), ak to je z technického hľadiska problematické, používa sa priemer 12,5 cm.



Najvhodnejšie je, ak pri pozorovaní používame paralaktickú montáž s pohonom. Pozorovaciu dobu volíme podľa toho, kedy je vhodné počasie (nekl'ud vzduch) – individuálne podľa jednotlivých pozorovacích miest.

### Postup zakresľovania:

- ďalekohľad namierime na Slnko, okolie kresby (miestnosť) zatemníme
- zakresľovací protokol zorientujeme (pozor na smer E-W!)
- zakreslíme všetky útvary na povrchu slnečného disku
- zapíšeme potrebné údaje (čas – stačí s presnosťou 5 min., miesto pozorovania, meno pozorovateľa, ocenenie pozorovacích podmienok). Tabuľky ocenení pozorovacích podmienok sú v prílohe.

### Spracovanie pozorovania – doplnenie údajov

- číslo rotácie (napr. z Astronomickej ročenky)
- $L_0$  heliografická dĺžka v čase pozorovania
- $B_0$  heliografická šírka
- $P_0$  pozíčný uhol rotačnej osi Slnka
- číslo kresby (napr. porad. číslo kresby v roku/celkový počet kresieb)

Do protokolu nakreslíme rotačnú os Slnka a slnečný rovník, u skupín slnečných škvŕn určíme ich typy (v prílohe) a zapíšeme počet škvŕn.

Vypočítame **Wolfove relatívne číslo**  $R = 10g + f$  (prípadne ďalšie indexy)

g – počet skupín (aj jedna osamotená škvŕna je považovaná za skupinu)

f – počet všetkých škvŕn

Určíme relativné číslo v centrálnej oblasti, prípadne severnej a južnej pologule.

Po skončení mesiaca vyhotovíme mesačný protokol a zašleme koordinátorom daného typu pozorovania. Forma protokolov je rôzna podľa požiadaviek jednotlivých koordinátorov (SIDC, Sonne, Prešov, Slunečná sekcia ČAS a pod.).

**Ďalšie možné spracovanie kresby** - určenie súradníc škvŕn pomocou heliografickej sieťky alebo výpočtom, prípadne určenie indexov aktivity.

## Určenie niektorých indexov

### Wolfove relatívne číslo (R)

Relatívne číslo je najzaužívavejším ukazovateľom slnečnej činnosti.

Je vyjadrené vzťahom:  $R_i = k(10g + f)$ ,  $k = R_i/R$

R – relatívne číslo za daných pozorovacích podmienok, koeficient  $k = 1$  pre refraktor 80/1100 (Zürich) za ideálnych podmienok. Súbor pozorovaní redukovaných na zürišský prístroj je „medzinárodná zürišská škála“. V súčasnosti je centrum v Bruseli (SIDC - Solar Influences Data Analysis Center).

### Pettisov index (SN – Sunspot Number)

SN index je číslo slnečných škvŕn, ktoré charakterizuje početnosť škvŕn s penumbrou a je dané vzťahom:  $SN = 10p + s$

p - počet penumbrier s - škvŕny bez penumbry

Zürišská klasifikácia

A				
B				
C				
D				
E				
F				
G				
H				
J				

0° 10° 20° 30°

McIntoshova klasifikácia

Upravený Zürichský typ	Penumbra najväčšej škvŕny	Rozloženie škvŕn v skupine
A	x	x
B	r	o
C	s	j
D	a	c
E	h	
F	k	
H		

15"

## Beckove číslo (RB)

RB zahŕňa plošnú charakteristiku jednotlivých typov slnečných škvŕn a je dané vzťahom

$$RB = \sum W_i f_i$$

$W_i$  – váhové číslo typu skupiny  $f_i$  – počet škvŕn v danom type skupiny

Jednotlivým typom zürišskej klasifikácie (obr. Zurisska klasifikacia) priradzuje hodnotové čísla:

A = 4; B = 4; C = 8; D = 18; E = 25; F = 36; G = 50; H = 44; J = 37.

**CV index** (*Classification Value* - klasifikačná hodnota)

CV index vychádza z McIntoshovej klasifikácie slnečných škvŕn (obrázok McIntoshova klasifikacia); každému typu tejto klasifikácie je priradená hodnota podľa tabuľky. CV index pre celý disk je daný vzťahom

$$CV = \sum CV_i$$

$CV_i$  – tabuľkové CV hodnoty McIntoshovej klasifikácie jednotlivých typov škvŕn.

## Prečo kresliť Slnko

Pravidelné pozorovanie fotosféry s nástupom kozmických sond stratili čiastočne na význame, no zmysel stále majú, predovšetkým štatistický, pretože dlhé rady pozorovaní sú vhodné na skúmanie zmien slnečnej aktivity. Je ešte jeden veľmi jednoduchý dôvod, prečo kresliť: **pretože Slnko je** a táto činnosť je nielen pekná, ale aj prospešná.

Kvalitné pozorovania sústreďuje centrum v Bruseli (predtým v Zürichu) – SIDC - Solar Influences Data Analysis Center, kde ich niektoré pozorovacie stanice posielajú denne online. Pozorovania Slnka od nás sústreďuje Hvezdáreň a planetárium v Prešove a slneční sekce ČAS, vážnym záujemcom poskytnú podrobnejšie informácie.

## 4. CCD pozorovania Slnka v Rimavskej Sobote

Pavol Rapavý, Hvezdáreň v Rimavskej Sobote

### 4.1 Úvod

Pri čiastočnom zatmení Slnka 31. 5. 2003 bola otestovaná CCD kamera SHT 1.3 a v nasledujúcich mesiacoch fotosférická aktivita celého disku sporadicky dokumentovaná objektívom 4/300 a detaily slnečných škvŕn refraktorom Coudé 150/2250. V roku 2004, po čiastočných úpravách ovládacieho programu kamery, sa začali pravidelné pozorovania slnečnej aktivity v samostatnej kupole učenej pre odborné pozorovania.



### 4.2 Prístrojové vybavenie

Na **pozorovanie** Slnka je na paralaktickej montáži s pohonom AWR Technology: (obr.2)

- refraktor 160/2450 (Gajdušek, Kozelský)
- protuberančný ďalekohľad 100/1200 (Gajdušek, Otavský, Kozelský)
- refraktor Zeiss 50/540 s webkamerou
- fotografický objektív Sonnar 4/300.

Na **snímkovanie** sa používa starší typ CCD kamery SHT 1.3:

- 1280 x 1024 pixlov 6,7 x 6,7  $\mu\text{m}$  (8,6 x 6,9 mm)
- čip Sony ICX085AL (8/12/16 bit), framegrabber Shark (PCI karta)
- live režim max. 12,5 obr/s, teplotná stabilizácia 10 °C.

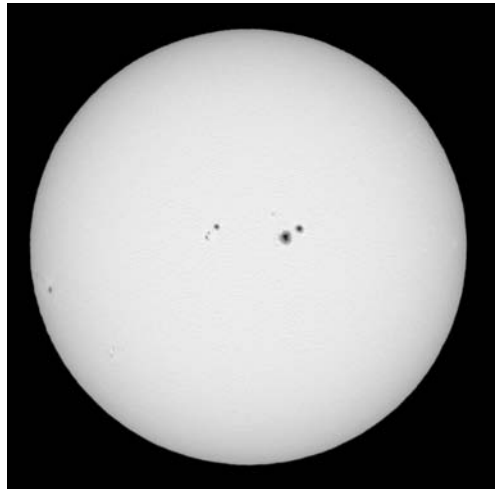
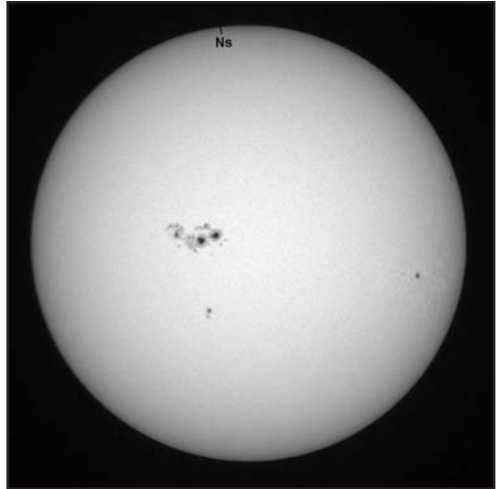


Výhodou CCD kamery je relatívne rýchle včítanie (~0,2 s), čo s vhodnou voľbou expozície zvyšuje šancu pozorovateľa získať kvalitné snímky aj pri značnom neklúde vzduchu. Obrázky (16 bit) sa ukladajú vo formáte súboru YYMMDD\_HHMMSS\_sss.tif (YY - posledné dvojčísle roka, MM – mesiac, DD – deň, HH – hodina, MM – minúta, SS\_sss – sekunda). Časový údaj (systémový čas PC) je v UT, pravidelne synchronizovaný s časovým signálom.

### 4.3 Disk Slnka

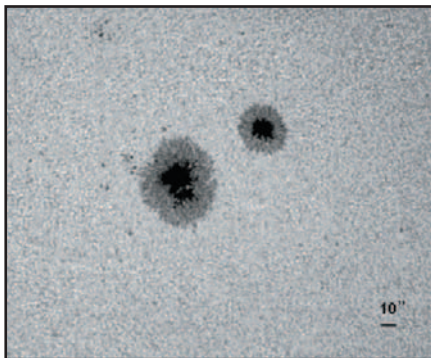
Aktivita celého slnečného disku je snímaná štandardným fotografickým objektivom Sonnar 4/300 s telekonvertorom Zeiss 2× (výsledné ohnisko 600 mm). Zorné pole sústavy je  $0,82 \times 0,66^\circ$ , rozlišovacia schopnosť  $1,52''$  ( $2,3''/\text{px}$ ). Pred objektivom, čiastočne cloneným, je fólia Baader Astrosolar viz., typická expozícia 10 – 15 ms.

Snímky disku sú orientované k severnému svetovému pólu, (vpravo) pre ďalšie spracovanie je nutné ich pootočiť podľa aktuálneho pozíčního uhla. Exponovaných je vždy niekoľko sérií po 10 obrázkov, archívujú sa 2 – 3 najlepšie. Programovo je možné pri spracovaní odčítať flatfield a masku okrajového stmernenia disku (dole).



### 4.4 Detaily fotosféry

Detaily fotosféry sú exponované v ohnisku refraktora 160/2450 s telekonvertorom Zeiss 2×. Výsledné ohnisko sústavy je 4900 mm, zorné pole  $4,8 \times 6,0'$ , rozlišovacia schopnosť  $0,7''$  ( $0,28''/\text{px}$ ) (dole). Pred objektivom je



fólia *Baader Astrosolar* fot. a objektivový determálny oranžový filter. Kombináciou fólie a filtra sa dosahuje krátka expozičná doba (3 – 5 ms). Filter eliminuje farebnú chybu objektivu a hlavne zabráňuje zaprášeniu fólie (zníženie kontrastu). Fólia je na znečistenie veľmi citlivá a prakticky je nemožné ju čistiť.

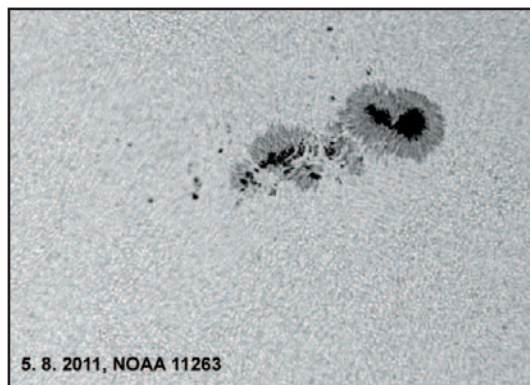
Orientácia snímok detailov fotosféry je k severnému svetovému pólu. Pre rých-



lejšiu orientáciu na disku je pozorovateľovi k dispozícii web kamera v ohnisku objektívu 50/540, zjustovaná s refraktorom, určeným na pozorovanie detailov, kde je na obrazovke monitora takmer celý slnečný disk. Z každej aktívnej oblasti je exponovaných niekoľko sérií detailov, archivuje sa niekoľko najlepších. Jednotlivé snímky aktívnych oblastí sa ukladajú do samostatných adresárov s príslušným označením aktívnej oblasti NOAA. Archivovanie je na CD/DVD, výpisy pozorovaní sú na <http://www.astrors.sk/Slnko.html>.

#### 4.4.1 Detaily fotosféry – použitie filtrov

Na zoslabenie intenzity slnečného svetla pri pozorovaní je možné použiť chrómové filtre, ktoré sú pomerne finančne náročné. Riešením je použitie relatívne lacnej fólie *Astrosolar* (Baader Planetarium GmbH) s hustotou  $D = 5,0$  (vizuálna) alebo  $D = 3,8$  (fotografická). Hrúbka fólie je  $12 \mu\text{m}$ , presnosť povrchu  $1/20 \lambda$ . Čistenie fólie je prakticky nemožné, pri znečistení je vhodnejšie fóliu vymeniť za novú.

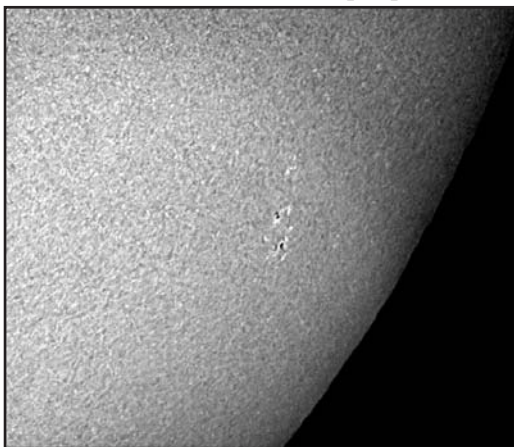


**Filter Baader continuum** (540 nm) má pološírku priepustnosti asi 10 nm, je veľmi vhodný na vizuálne aj fotografické pozorovanie. Obraz je kontrastný s množstvom detailov (vľavo).

Filter Baader CaII K line (393 a 396 nm) umožňuje pozorovanie vo vápnikovej čiare (dole). Jeho použitie je komplikované použitím šošovkového objektívu s neznámou priepustnosťou

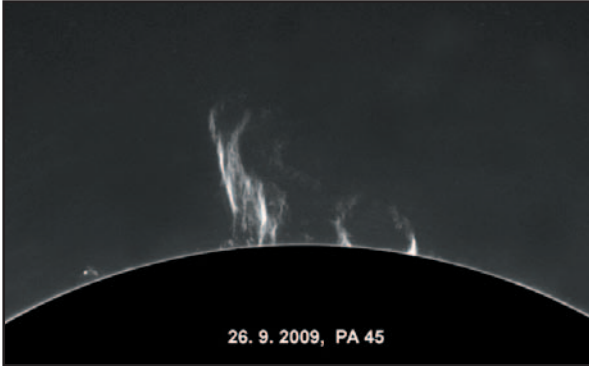
v danej spektrálnej oblasti a malou citlivosťou kamery, ktorú pre dané vlnové dĺžky výrobca neudáva. Aby expozičné časy boli čo najkratšie (2–4 ms) pred objektívom nie je filter a vysoká teplota v ohnisku je eliminovaná použitím determálneho filtra umiestneného pred kamerou.

Aby bolo možné snímky exponované cez rôzne filtre porovnávať, bol zhotovený prípravok, ktorý umožňuje výmenu filtrov pri zachovaní orientácie kamery.



## 4.5 Protuberancie

Protuberancie sú exponované protuberančným ďalekohľadom 100/1200. Efektívne ohnisko je 1800 mm, rozlišovacia schopnosť  $1''$  ( $0,8''/\text{px}$ ), zorné pole je  $13 \times 16'$ , typická expozícia 13 ms. Používaný je *Baader Ha filter* (656,3 nm, 0,4 nm).



Pred pozorovaním sa kamera zorientuje podľa aktuálneho pozičného uhla, celý okraj Slnka sa exponuje v 9 sériách po  $40^\circ$ . Obrázok celého limbu sa získa zložením vo vhodnom grafickom programe.

Jednotlivé exponované série sa ukladajú do samostatných adresárov (PA 0–PA 320). V prípade výraznejších a aktívnych protuberancií (obrázok hore) sa zhotovujú snímky v pravidelných intervaloch, čo umožňuje sledovať ich časový vývoj. Orientácia kamery v tomto prípade zodpovedá skutočnému pozičnému uhlu protuberancie v čase pozorovania.

## 4.6 Záver

CCD pozorovania Slnka sú k dispozícii všetkým záujemcom. Okrem využitia pri polarizácii je možné aj ich ďalšie využitie, napríklad:

- disk** – dokumentácia aktivity, v obmedzenej miere (vzhľadom na rozlíšenie) polohy škvŕn,
- detaily** – vývoj slnečných škvŕn/aktívnych oblastí, vlastné pohyby, rotácia, rýchle zmeny...
- protuberancie** – dokumentácia aktivity, vývoj protuberancií, relatívna fotometria, doplnenie katalógu protuberancií AsÚ SAV (pozičný uhol, intenzita, plocha).

Pozorovacia technika sa v rámci finančných možností bude zlepšovať. Plánované je zautomatizovanie pozorovaní a uverejňovanie v CESAR (*Central European Solar ARchives*).

## Přílohy k článku 3. Vizuální pozorování Slunka:

### Kresby Slunka - ocenění pozorovacích podmínek

Q - ocenění/obraz	Charakteristika
<b>1</b> 5/2, 5/1, 4/1	<b>Podmínky velmi nepříznivé</b>
	Velmi silné kmitání obrazu, pozorování často rušené hustou oblačností, obraz Slunka se takmer nedá zaostrit, malé škvřny nejsou identifikovatelné, přesná poloha škvřin a přesný tvar penumbry se nedá určit, identifikovatelné jsou iba velmi jasné fakulové polia
<b>2</b> 4/3, 4/2, 2/3, 2/2, 3/2	<b>Podmínky nepříznivé</b>
	Značné kmitání obrazu, pozorování občas rušené oblačností, zaostření Slunka je problematické, malé škvřny jsou těžko identifikovatelné, přesná poloha škvřin a přesný tvar penumbry se s istotou nedá určit, slabšie fakulové polia jsou těžko identifikovatelné
<b>3</b> 3/3, 3/4	<b>Podmínky průměrné</b>
	Mierne kmitanie obrazu, pozorovanie nerušené oblačnosťou, zaostrenie obrazu nie je problematické, malé škvřny jsou identifikovatelné, v stredovej oblasti je pozorovateľná granulácia, poloha škvřin a tvar penumbry sa dá určit s dostatočnou istotou, fakulové polia jsou dobre identifikovatelné
<b>4</b> 2/4, 1/4	<b>Podmínky dobré</b>
	Nepatrné kmitanie obrazu, pozorovanie nerušené oblačnosťou, malé škvřny jsou dobre viditeľné, dobre pozorovateľná granulácia, presná poloha škvřin a tvar penumbry sa dá určit s istotou, fakulové polia jsou dobre viditeľné
<b>5</b> 1/5, 2/5	<b>Podmínky vynikajúce</b>
	Ideálne pozorovacie podmienky s takmer nepostrehnuteľným kmitaním obrazu, pozorovanie nerušené oblačnosťou, veľmi dobrá ostrosť obrazu, škvřin, penumbier a granulácie, všetky detaily jsou veľmi dobre pozorovateľné, zvlášť dobre vynikne štruktúra fakúl
<b>0<sub>exp-exp</sub></b>	<b>Podmínky značne premenlivé</b>
	Počas pozorovania jsou pozorovacie podmienky výrazne premenlivé. Exponenty označujú stupeň kvalít pozorovacích podmienok, v ktorých sa zmena uskutočnila. Napríklad 01-3 znamená, že pozorovacie podmienky sa menili v rozmedzí hodnotenia 1 – 3. Premennivé pozorovacie podmienky značne uberajú z kvality pozorovania (napr. nehomogénny zákres). Preto takémuto stavu počasie je potrebné sa vyhnúť. Keď však to nie je možné, použijeme toto hodnotenie.

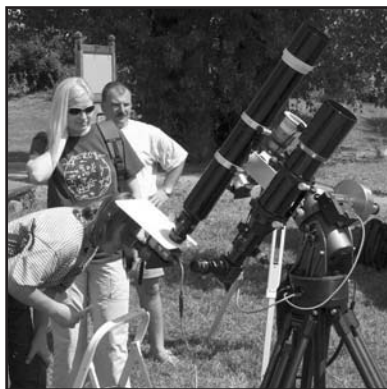
**CV hodnoty McIntoshovej klasifikácie**

Axx = 1					
Bxo = 2 Bxi = 3					
	Hrx = 4	Cro = 5 Cri = 6	Dro = 13 Dri = 16	Ero = 14 Eri = 17	Fro = 15 Fri = 18
	Hax = 7	Cao = 8 Cai = 9	Dao = 19 Dai = 22	Eao = 20 Eai = 23	Fao = 21 Fai = 24
	Hsx = 10	Cso = 11 Csi = 12	Dso = 25 Dsi = 28 Dac = 31 Dsc = 34	Eso = 26 Esi = 29 Eac = 32 Esc = 35	Fso = 27 Fsi = 30 Fac = 33 Fsc = 36
	Hkx = 37	Cko = 38 Cki = 39	Dko = 43 Dki = 46	Eko = 44 Eki = 47	Fko = 45 Fki = 48
	Hhx = 40	Cho = 42 Chi = 42	Dho = 49 Ddi = 52 Dkc = 55 Dhc = 58	Eho = 50 Ehi = 53 Ekc = 56 Ehc = 59	Fho = 51 Fhi = 54 Fkc = 57 Fhc = 60

## 5. Jak na Slunce dostupnými prostředky

Jan Zahajský, Pražská pobočka ČAS

Rozsah, způsoby a formy pozorování naší nejbližší hvězdy jsou opravdu rozmanité. Od možnosti pozorování Slunce pouhým okem, přes pozorování dalekohledem v bílém světle, až po využití speciálních dalekohledů vybavených vhodnými filtry.



### Výhody amatérského pozorování naší nejbližší hvězdy:

- možnost využít nejlevnější prostředky až po přístroje za statisíce
- na astronomické „poměry“ můžeme pozorovat dynamické jevy
- není nutno ponocovat
- není zima jako v noci
- dalekohledy se nerosí
- výrazně jednodušší zpracování elektronických pozorování

### Základní informace k pozorování Slunce:

Průměr Slunce:	1 391 000 km
Střední vzdálenost od Země:	149 600 000 km
Velikost na obloze:	0,53°, tj. 32′
Rozlišovací schopnost oka:	cca 1′ (3 cm/100 m)
Detail viditelný okem:	44 000 km/3,4 DZ
Velikost Slunce při $f = 1\,000$ mm:	9,3 mm

### Pozorování volným okem

Co můžeme pozorovat pouhým okem:

- velké jednotlivé skvrny nebo skupiny skvrn
- při zatmění jeho průběh, v případě úplného zatmění sluneční korónu
- v souvislosti se Sluncem lze pozorovat důsledky refrakce u obzoru, polární záře, zvířetníkové světlo atp.
- přechody planet nelze pozorovat okem (Venuše 0.8′, Merkur 0.2′)

### Prostředky pro pozorování volným okem:

- speciální brýle pro pozorování Slunce (většinou použita mylarová nebo polyamidová folie)
- svářečské sklo č. 13 nebo 14
- diskety, kompaktní disky, svíčkou očázené sklo – není nijak omezena propustnost v IR oblasti, omezují světlo - nikoliv teplo, pouze pro krátkodobé pozorování nebo pozorování u obzoru

### Pozorování v bílém světle

Co můžeme pozorovat dalekohledem:

- jednotlivé skvrny nebo skupiny skvrn
- detaily skvrn – umbru, penumbru, strukturu vlákem
- granulaci – jemná struktura slunečního povrchu
- fukulová pole – jasnější oblasti na povrchu

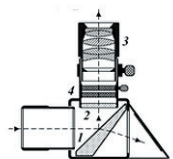
### Techniky pozorování v bílém světle

#### 1. Objektivový sluneční filtr

- Filtr je umístěn před vstupem do dalekohledu – lze použít u všech typů dalekohledů.
- Filtr je buď skleněný nebo z folie – starší mylar nebo novější polyamid (12 mikrometrů) – odrazná vrstva je nanosená pokovením.
- Pozor na bezpečné připevnění.

#### 2. Herschelův hranol

- Klínové sklo – hranol je umístěn za dalekohledem – vhodný jen pro určitý typ čočkových dalekohledů - refraktorů, kde nevadí hromadění tepla (bez rovnače pole).
- Odrazem od neupravené plochy se odráží okolo 8 % světla, nutnost dalších vložených neutrálních a dalších filtrů.



#### 3. Okulárová projekce

- Sluneční disk se promítá na stínítko – vhodné jen pro určitý typ dalekohledu a projekčního okuláru (ohnisko mimo optickou soustavu).
- Velikost disku je závislá na  $F_{\text{obj}}$ ,  $F_{\text{okul}}$  a povysunutí okuláru mimo ohnisko. Pro ostrý obraz se velikost slunečního disku a správná vzdálenost stínítka dopočítá.

- <http://www.jiast.cz/clanky/teleskopie-xii-projeckni-metoda-pozorovani-slunce>

## H-alfa dalekohledy

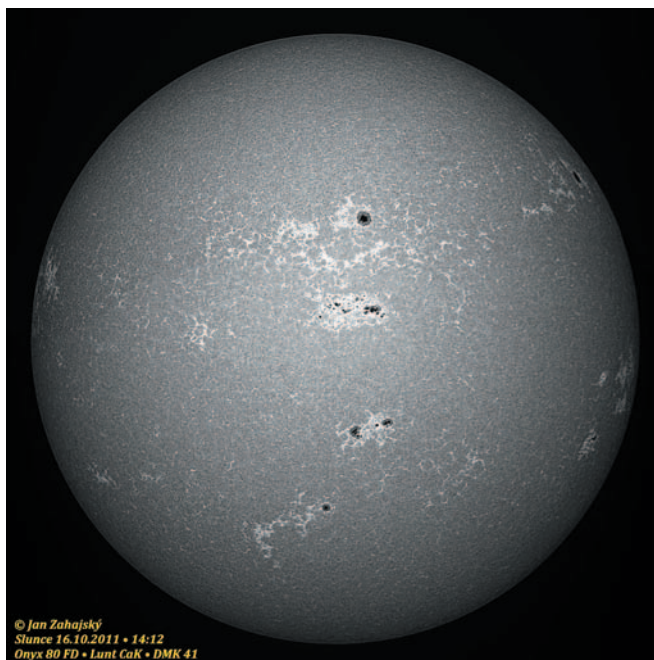
- pozorují Slunce v oblasti čáry H- $\alpha$ , tedy na 656,28 nm
- šířka propustnosti od 6 Å až 0,2 Å, tedy 0,6 nm až 0,02 nm
- umožňuje sledovat skvrny, protuberance, erupce, filamenty

## Princip

- blokační filtr, úzkopásmový filtr, širokopásmový filtr
- typy Lyot, DayStar a Coronado, speciální případ - koronograf
- možnost zúžení pásma propustnosti kombinací s dalším etalonem (double stack) – zvýšení kontrastu obrazu

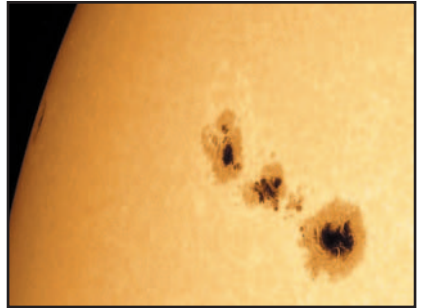
## Pozorování v čáře vápníku

- čára vápníku (Ca) je ve spektru na 385 nm v oblasti neviditelné lidskému oku
- interferenční filtry s předsazeným IR blok filtrem, odstraňujícím tepelné záření nebo s předsazeným jiným filtrem, např. astrofolie



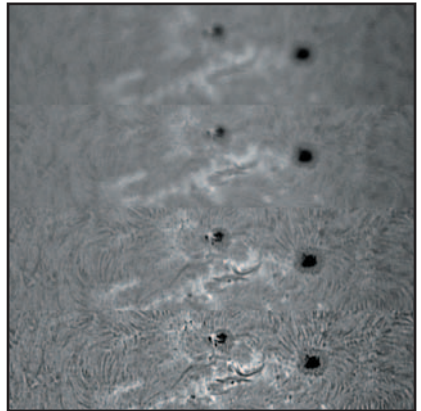
## Možnosti snímání obrazu

- fotografie kompaktem – u dalekohledu zůstává okulár, kompaktní fotoaparát má neodnímatelný objektiv – přesné zosení optických os např. pomocí držáků. Chyby optických systémů se mohou sečíst;
- digitální zrcadlovkou – z dalekohledu vyjmout okulár, ze zrcadlovky se odejme objektiv a pomocí mezikroužků se oba systémy propojí. Méně optiky – méně vad, ale menší variabilita;
- CCD kamerou - obdobně jako fotoaparátem, snímače jsou ovšem speciálně konstruované pro snímání astronomických objektů.



## Kamery pro snímání Slunce a Měsíce

- protichůdné požadavky – rychlé vyčítání kvůli seeingu, velký čip kvůli zornému poli
- ideální stav 60-100 snímků za sec., realita 15-60 snímků, u vyšších řad s velkým snímačem i méně
- vhodné typy QHY IMG-2, IS DMK 21/31/41, Point Grey Flea, MII řada G1



Praktická ukázka výsledků z H- $\alpha$  dalekohledu, z dalekohledu s vápníkovým filtrem, jednoduchá technika zpracování videosekvencí a obrazových sad pomocí *Registax*.

Praktické ukázky techniky (folie, hranol, H- $\alpha$  filtr atd.).



# Obsah

1. Slunce – nejbližší hvězda	1
Pozorování Slunce	4
Současné i budoucí problémy sluneční fyziky	5
2. Základní poznámky k pozorování Slunce	6
Slunce - základní veličiny	6
Vybrané základní pojmy	6
Poznámky k pozorování metodou projekce	8
Souřadnice - heliografická souřadná síť	8
3. Vizuálne pozorovanie Slnka	9
3.1 Pozorovanie voľným okom	9
3.2 Pozorovanie ďalekohľadom	10
Určenie niektorých indexov	12
Prečo kresliť Slnko	13
4. CCD pozorovania Slnka v Rimavskej Sobote	14
4.1 Úvod	14
4.2 Prístrojové vybavenie	14
4.3 Disk Slnka	15
4.4 Detaily fotosféry	15
4.5 Protuberancie	17
4.6 Záver	17
Přílohy k článku 3. Vizuální pozorování Slnka:	18
5. Jak na Slunce dostupnými prostředky	20
Pozorování volným okem	20
Pozorování v bílém světle	21
Techniky pozorování v bílém světle	21
H-alfa dalekohledy	22
Pozorování v čáře vápníku	22
Možnosti snímání obrazu	23



*Snímek zatmění Slunce z argentinské Patagonie. Hvězdárna v Úpici*



*Nový spektroskop s dalekohledem pořízený v rámci projektu KOSOAP.*



*Snímek skupiny slunečních skvrn (Foto Jan Zahajský)*



Jako vzdělávací a metodický materiál vydala Hvězdárna Valašské Meziříčí, p. o.

© 2011, Hvězdárna Valašské Meziříčí, p.o., Vsetínská 78, 757 01 Valašské Meziříčí

Autoři: Eva Marková, Pavol Rapavý, Jan Zahajský, Libor Lenža

Grafika a sazba: Libor Lenža

Vytiskla: Trikolora, s.r.o. Valašské Meziříčí

Materiál byl vydán v rámci projektu *Kooperující síť v oblasti astronomických odborně-pozorovatelských programů*. Partnery projektu jsou Hvězdárna Valašské Meziříčí, p. o. Zlínského kraje a Kysucká hvězdárna v Kysuckom Novom Meste.

Neprodejné!

Tento mikroprojekt je spolufinancován Evropskou unií, z prostředků Fondu mikroprojektů spravovaného Regionem Bílé Karpaty