

# Malé praktikum fyziky Slnka



**Július Koza**  
**Astronomický ústav SAV**  
**Tatranská Lomnica**



# Nevstupuj, kto neovládaš geometriu!



Rafaelo Santi, 1509-1511: Aténska akadémia



# Vercajk slnečného fyzika

- angličtina (nemečina, španielčina, francúzština)
- matematika, fyzika
- programovanie, operačné systémy (Linux)

# Vercajk slnečného fyzika

- angličtina (nemečina, španielčina, francúzština)
- matematika, fyzika
- programovanie, operačné systémy (Linux)

**Kým je slnečný fyzik?**

**Programátor a žiadateľ o granty.**

# Vercajk slnečného fyzika

- angličtina (nemečina, španielčina, francúzština)
- matematika, fyzika
- programovanie, operačné systémy (Linux)

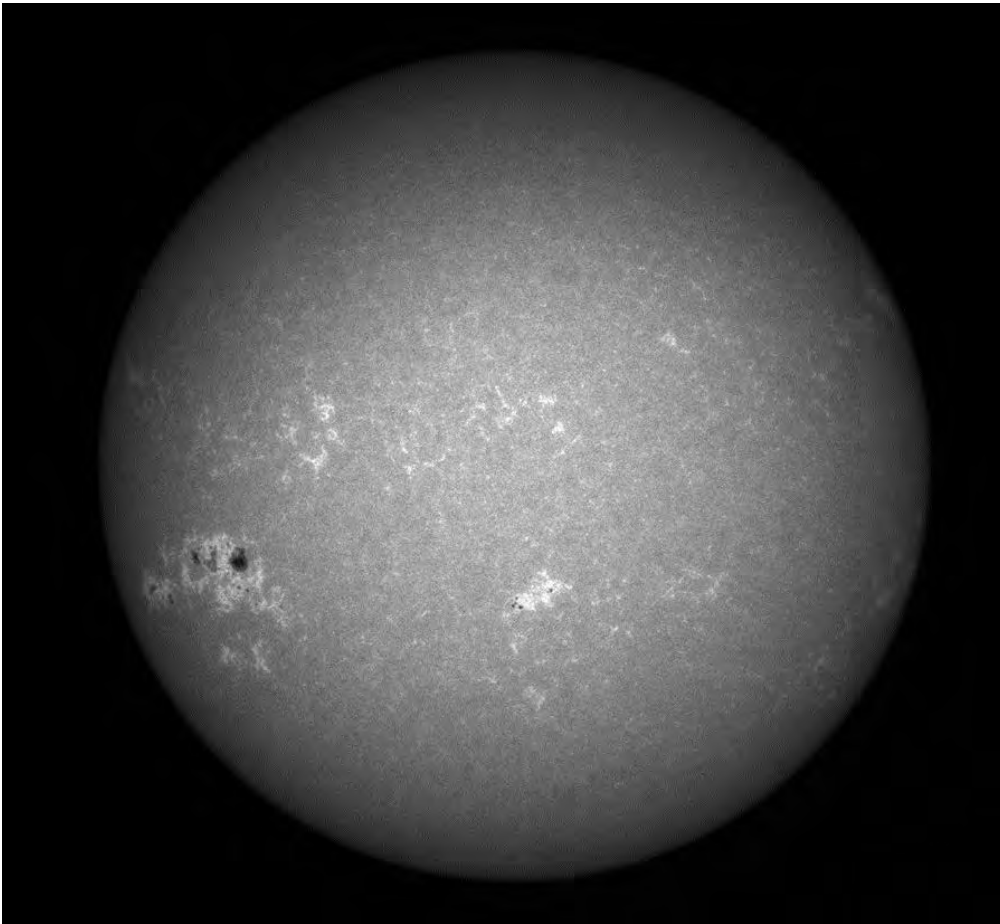
**Kým je slnečný fyzik?**

**Programátor a žiadateľ o granty.**



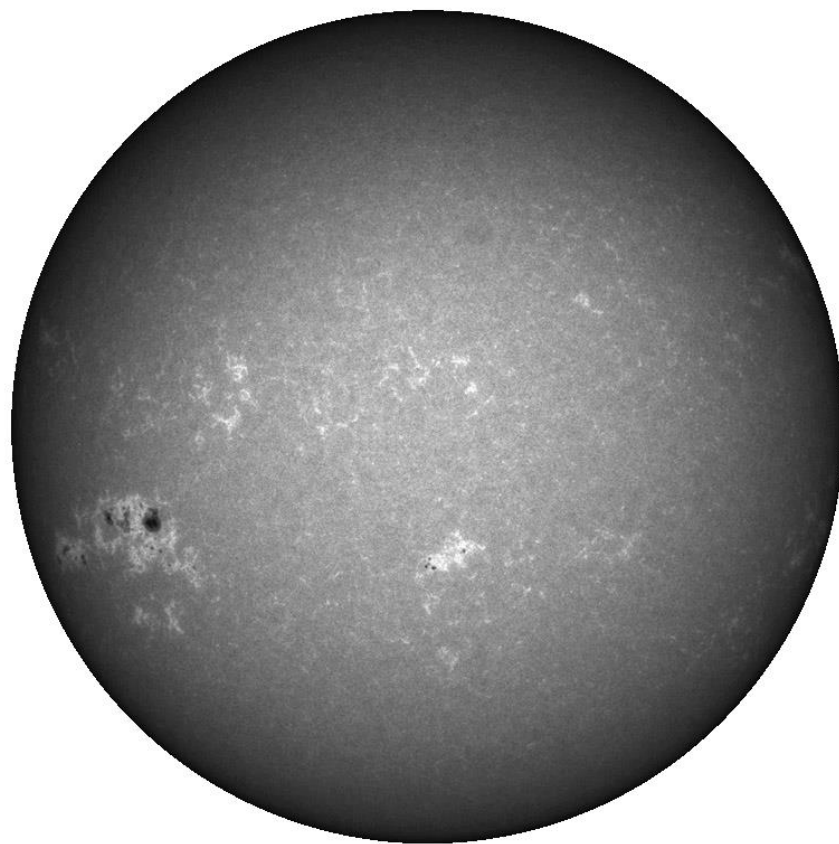
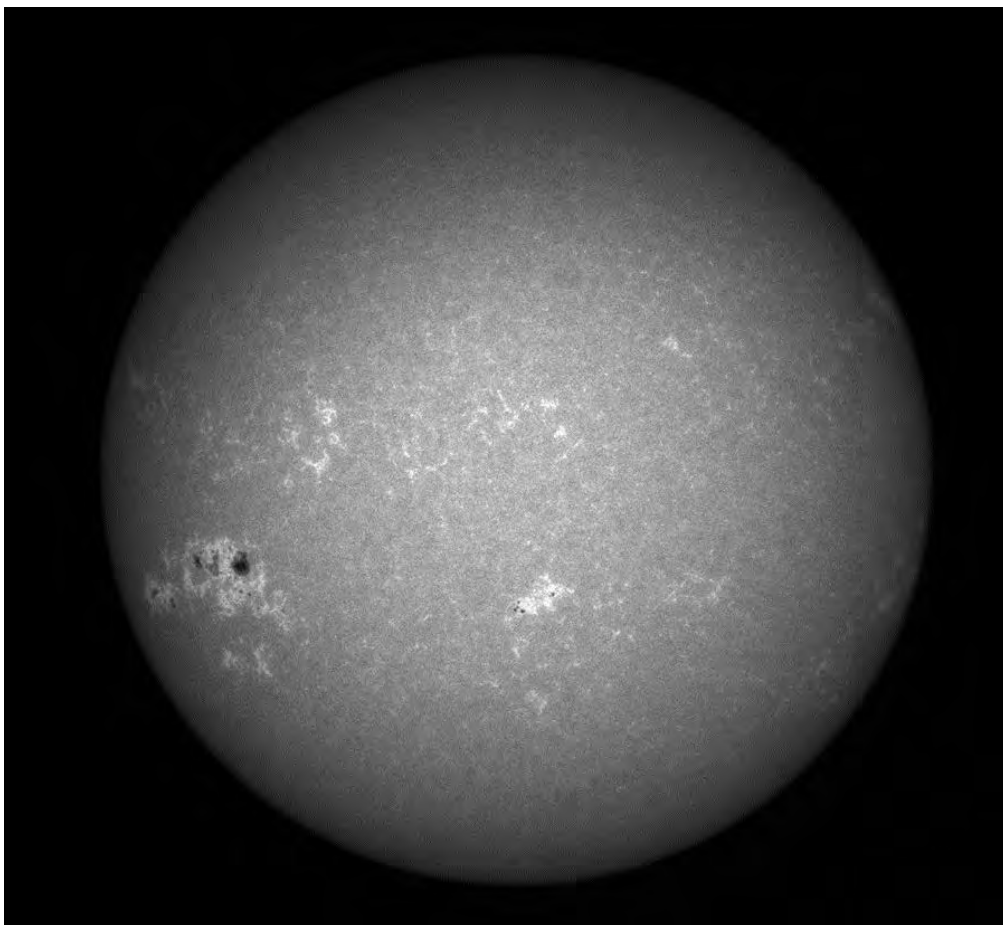
- materský jazyk (lingua franca) fyziky Slnka: Interactive Data Language
- IDL – komerčný skriptovací jazyk na prácu s obrázkami (používaný aj v medicíne a kartografii)
- SolarSoft - voľne dostupná bohatá knižnica IDL programov, hlavne pre prácu s datami z kozmických observatórií
- hlavná nevýhoda IDL: vysoká cena (pre bežného jednotlivca nedostupné)
- bezplatné alternatívy:
  - študentská verzia IDL (výrazne obmedzená funkčnosť)
  - GNU Data Language (GDL)
  - Python

# Pozorování projevů sluneční aktivity v čáře CaK vápníku



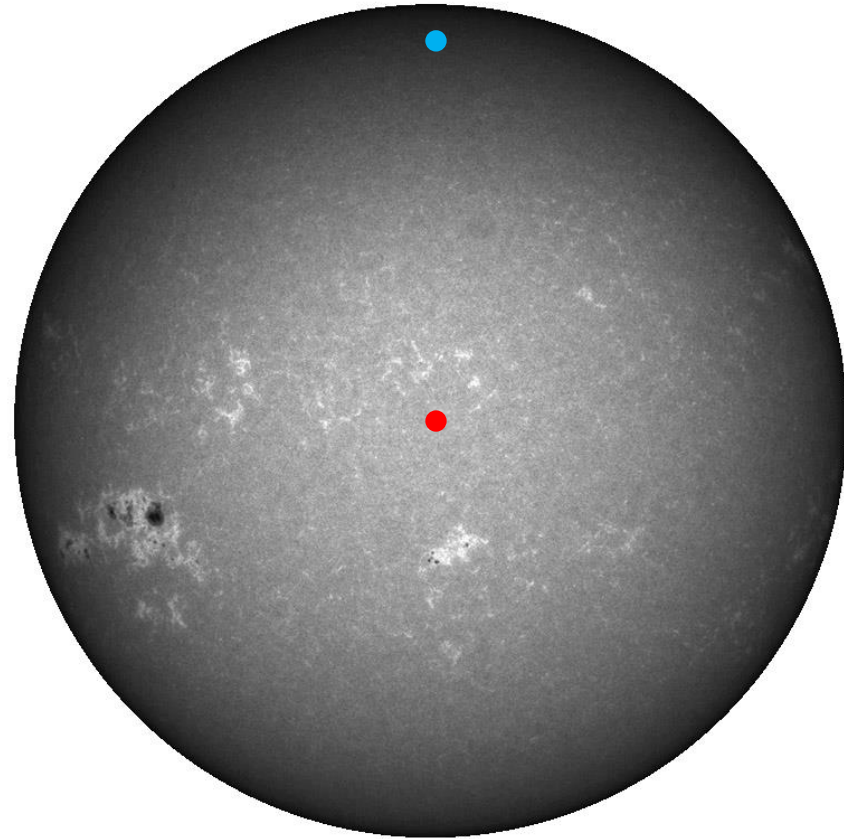
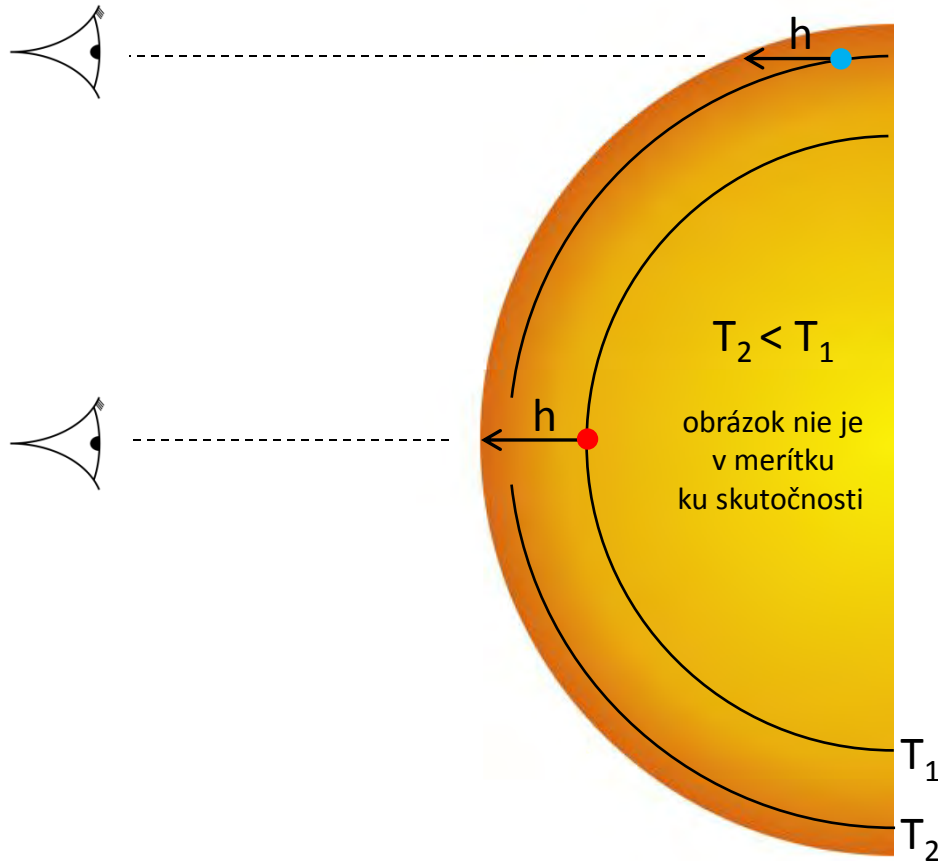
Filetergram v spektrálnej čiare Ca II K  
Hvězdárna Valašské Meziříčí, 4. července 2013

# Pozorování projevů sluneční aktivity v čáře CaK vápníku



Filetergram v spektrální čáře Ca II K  
Hvězdárna Valašské Meziříčí, 4. července 2013

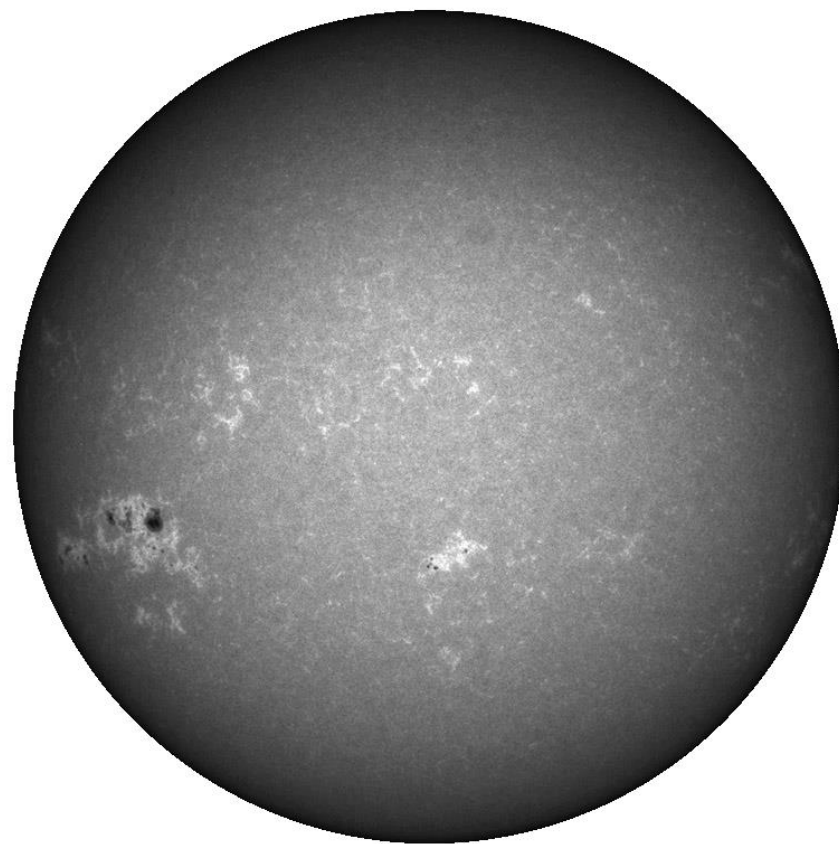
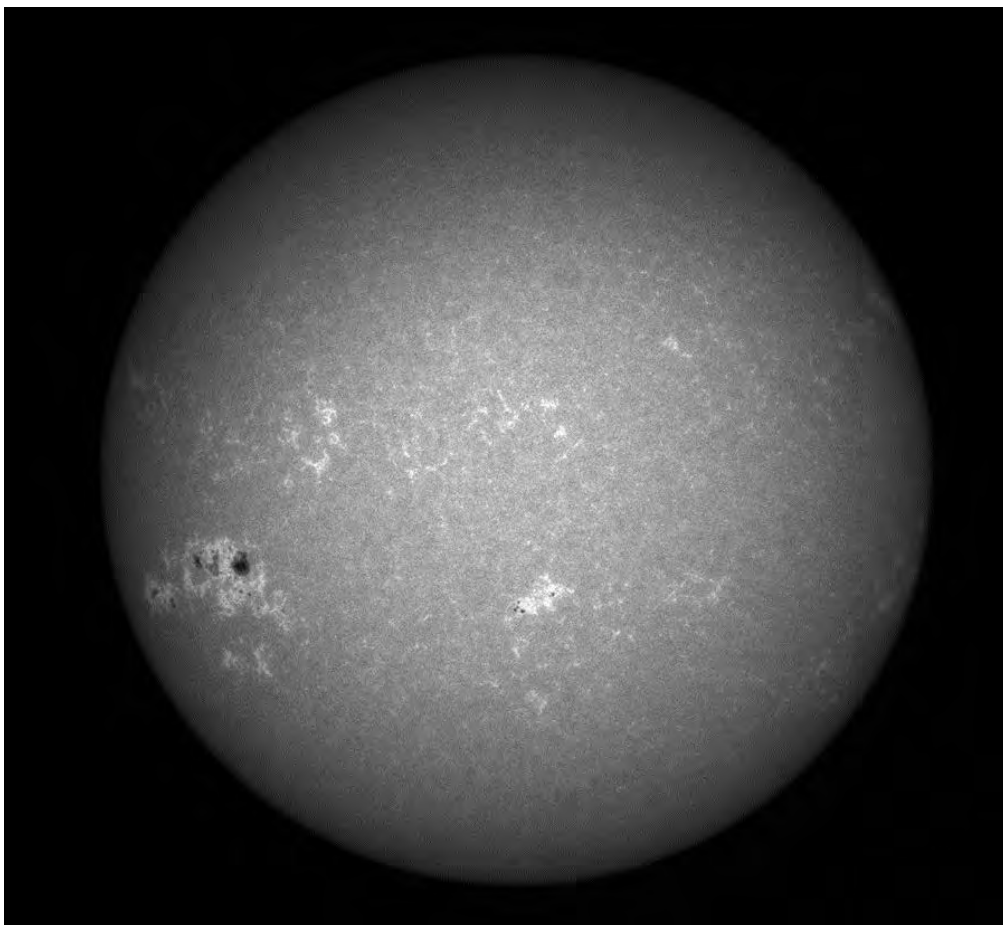
# Okrajové stmnenie disku



- okrajové stmnenie je dôsledkom poklesu teploty v atmosfére s výškou
- stred disku sa javí jasnejší, vidíme hlbšie do horúcejších vrstiev
- okraj disku sa javí tmavší, vidíme vyššie a chladnejšie vrstvy

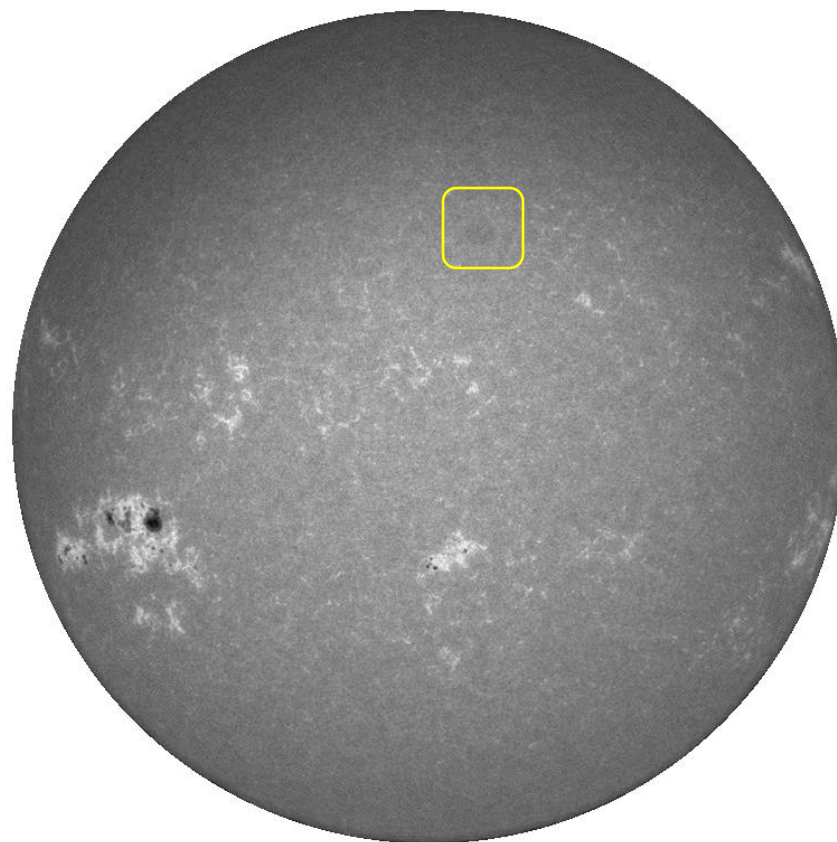
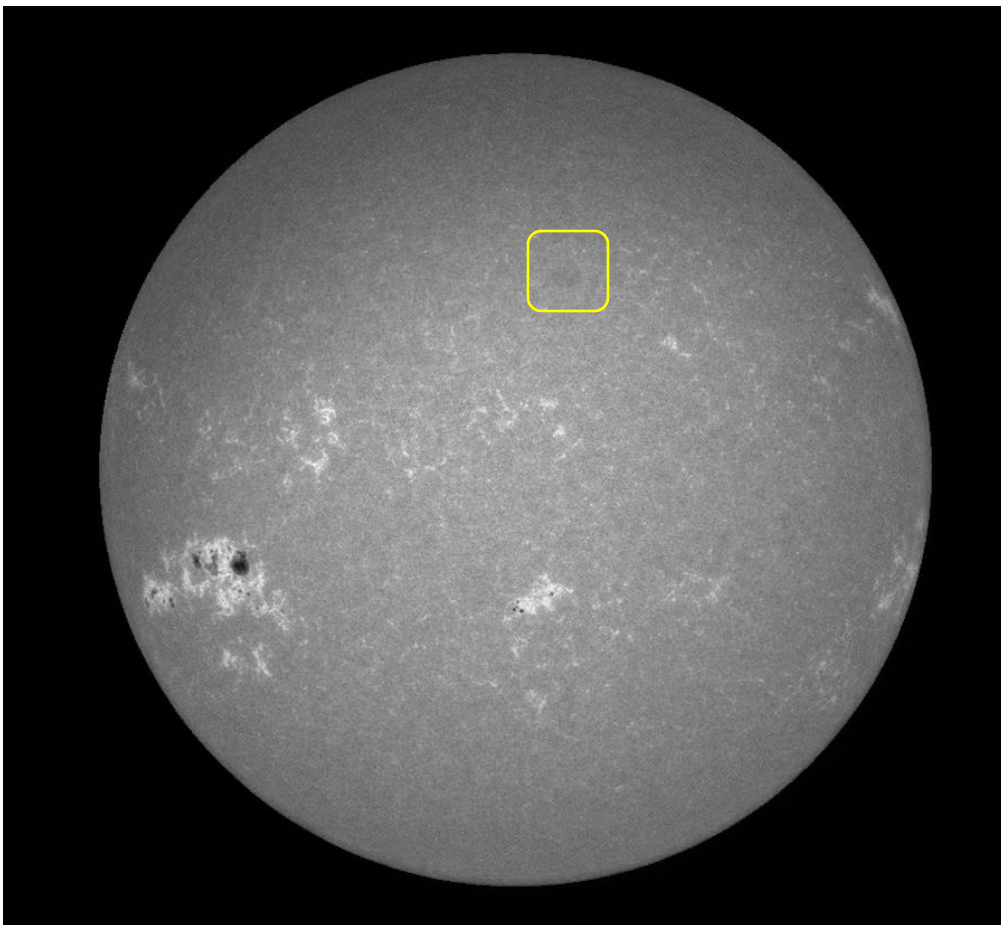


## Filtergram s okrajovým stemnením disku



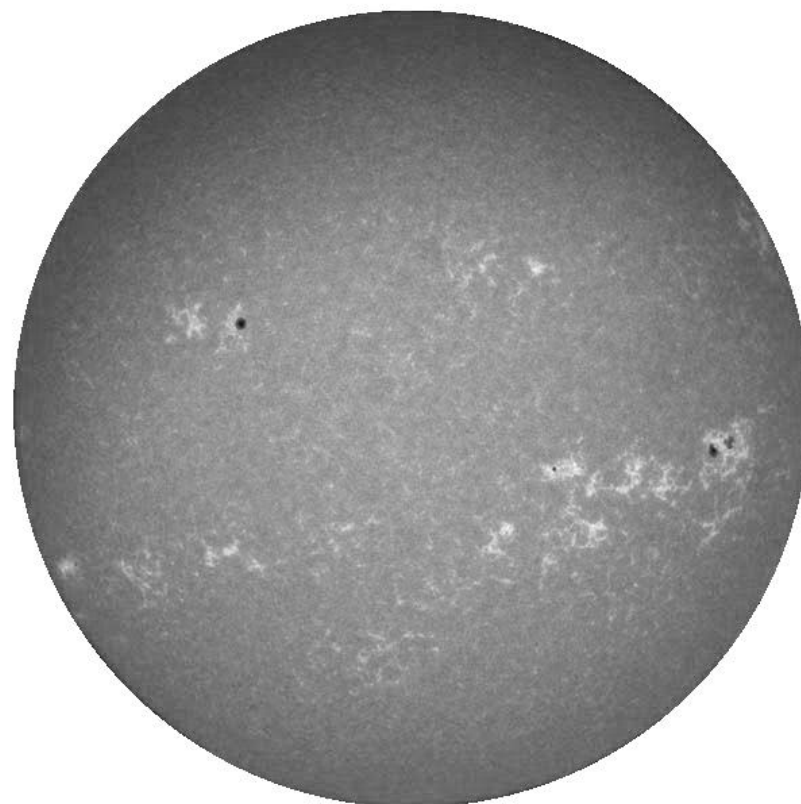
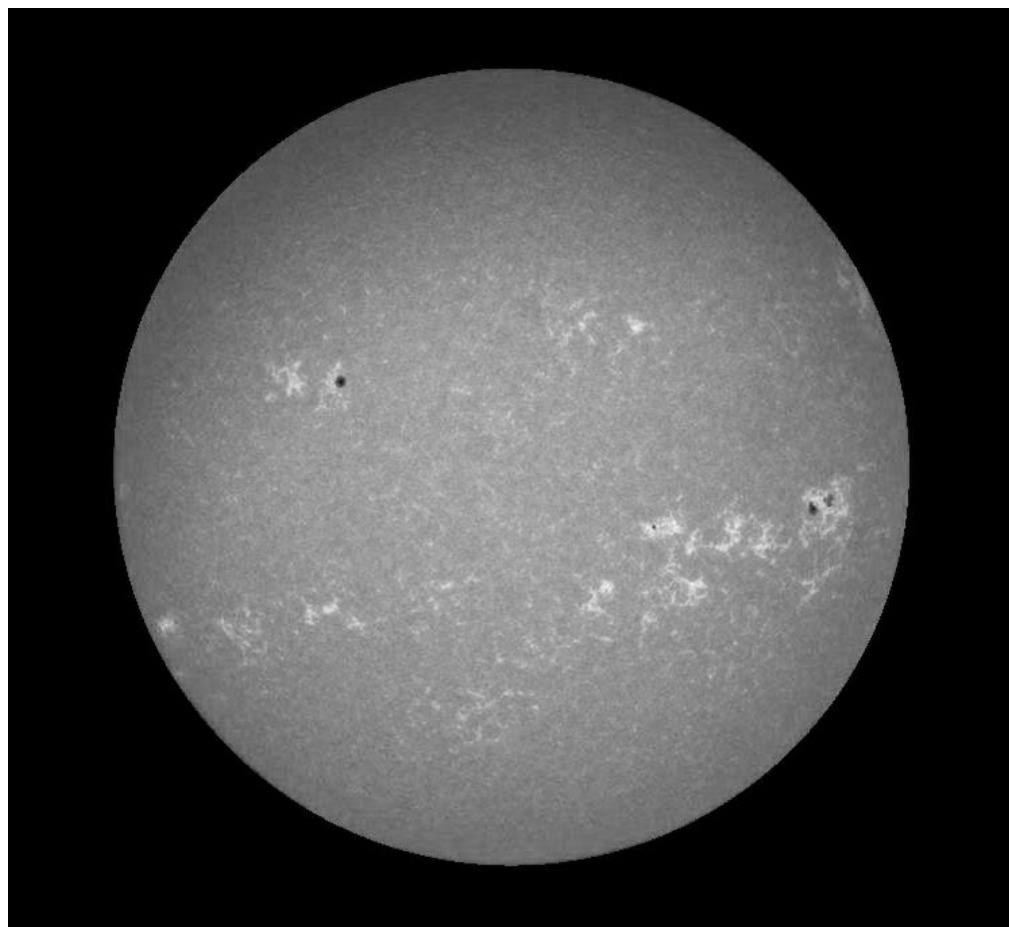
Filtergram v spektrálnej čiare Ca II K  
Hvězdárna Valašské Meziříčí, 4. července 2013

# Filtergram po odstránení okrajového stemnenia disku



použitý: Interactive Data Language IDL  
darklimb\_correct.pro z IDL knižnice SolarSoft

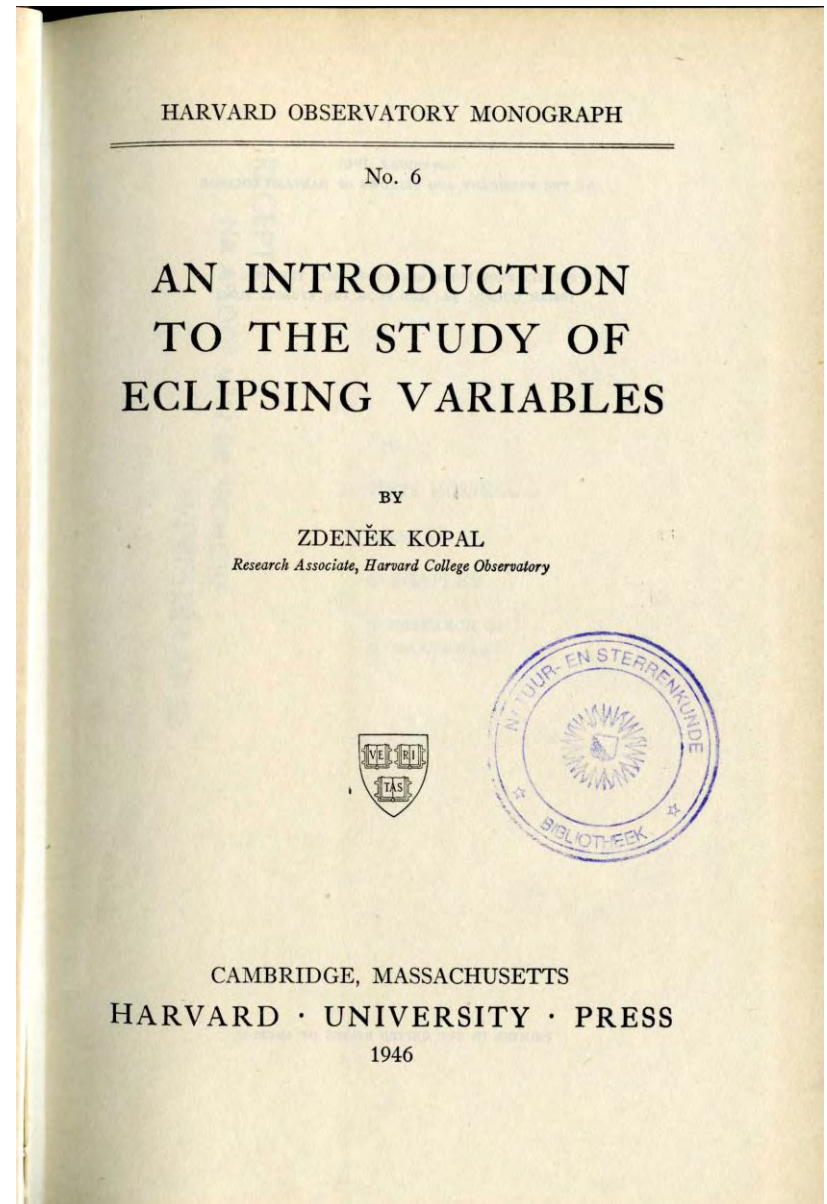
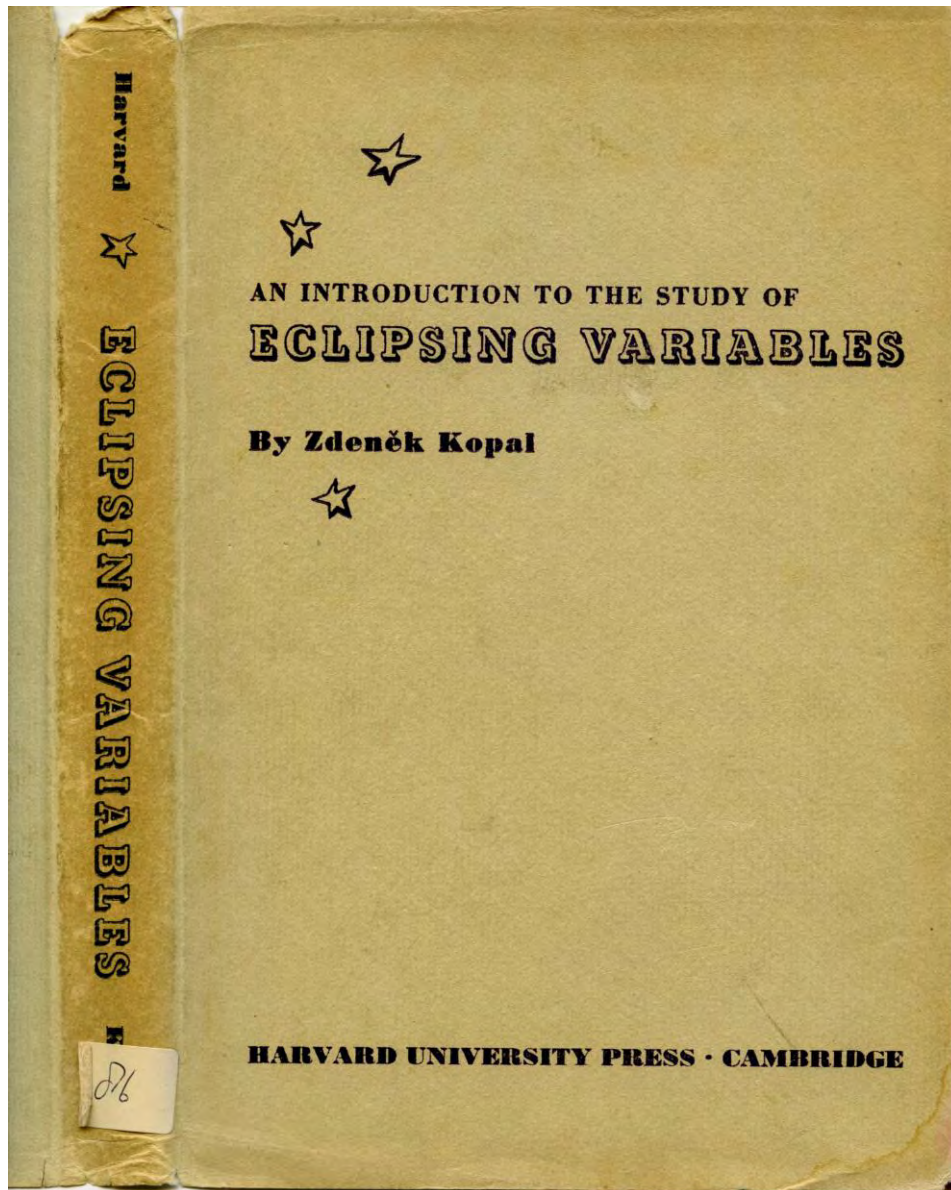
# Filtergram po odstránení okrajového stemnenia disku



použitý: Interactive Data Language IDL  
darklimb\_correct.pro z IDL knižnice SolarSoft



# Trochu historie



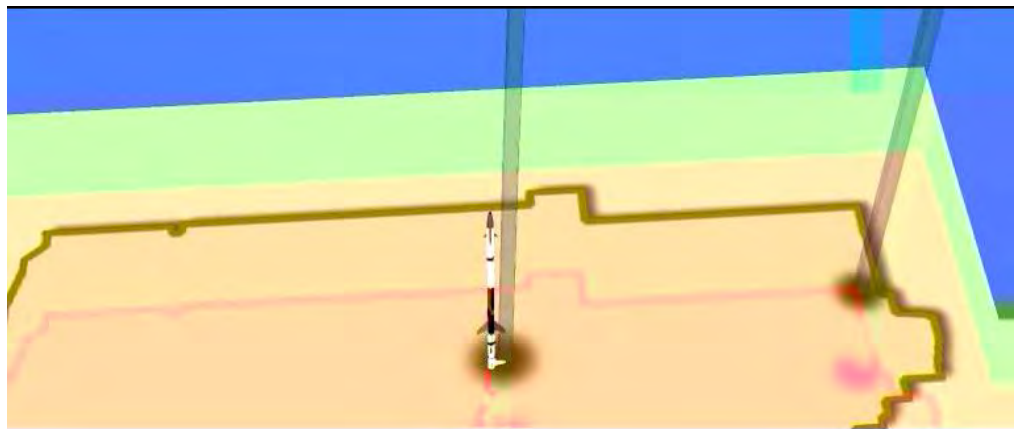


# Trochu histórie

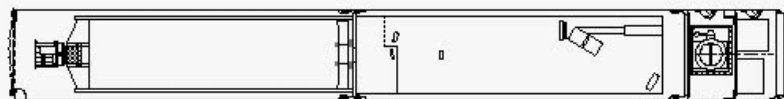
- 1612
  - pravdepodobne prvá zmienka o okrajovom stemnení
  - taliansky matematik Luca Valerio (1553 - 1618)
- 1613
  - Galileo Galilei spochybňoval reálnosť tohto javu, ako vyplýva z jeho listu z januára 1613
- 1626
  - opis okrajového stemnenia Slnka uvádza Christoph Scheiner v knihe *Rosa Ursina sive Sol*
- 1729
  - prvé kvantitatívne meranie okrajového stemnenia
  - francúzsky matematik, geofyzik, geodet a astronóm Pierre Bouguer (1698 - 1758)
  - vynálezca fotometra, zakladateľ astronomickej fotometrie
- 1906
  - prvé fyzikálne vysvetlenie okrajového stemnenia
  - nemecký astrofyzik Karl Schwarzschild (1873 - 1916)

# Pohľad na ultrafialové Slnko sondážnou raketou

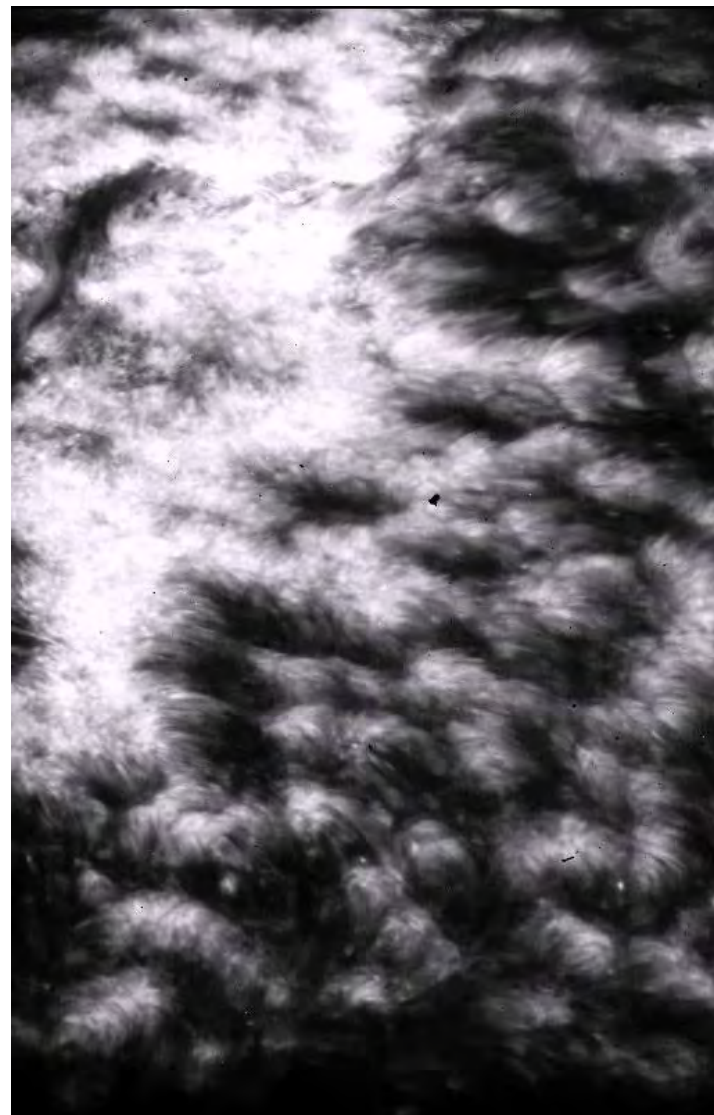
Lyman  $\alpha$  121,6 nm



- balistická dráha s vrcholom 300 km nad povrchom
- doba trvania letu asi 15 min
- návrat teleskopu VAULT na padáku
- lety v r. 1999, 2002 a 2005

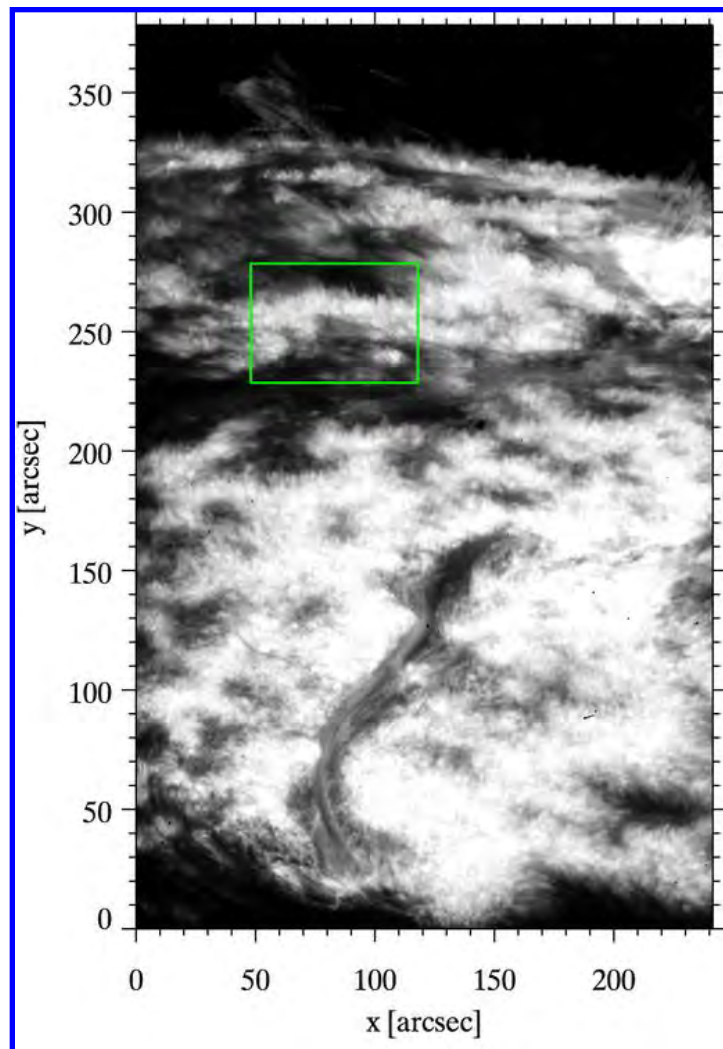


- ultrafialový raketový teleskop VAULT
- Cassegrain s priemerom zrkadla 30 cm

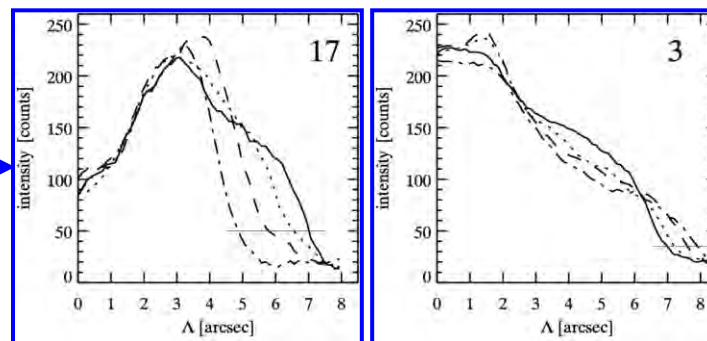


# Pozorovaním to len začína

Pozorovacie dáta

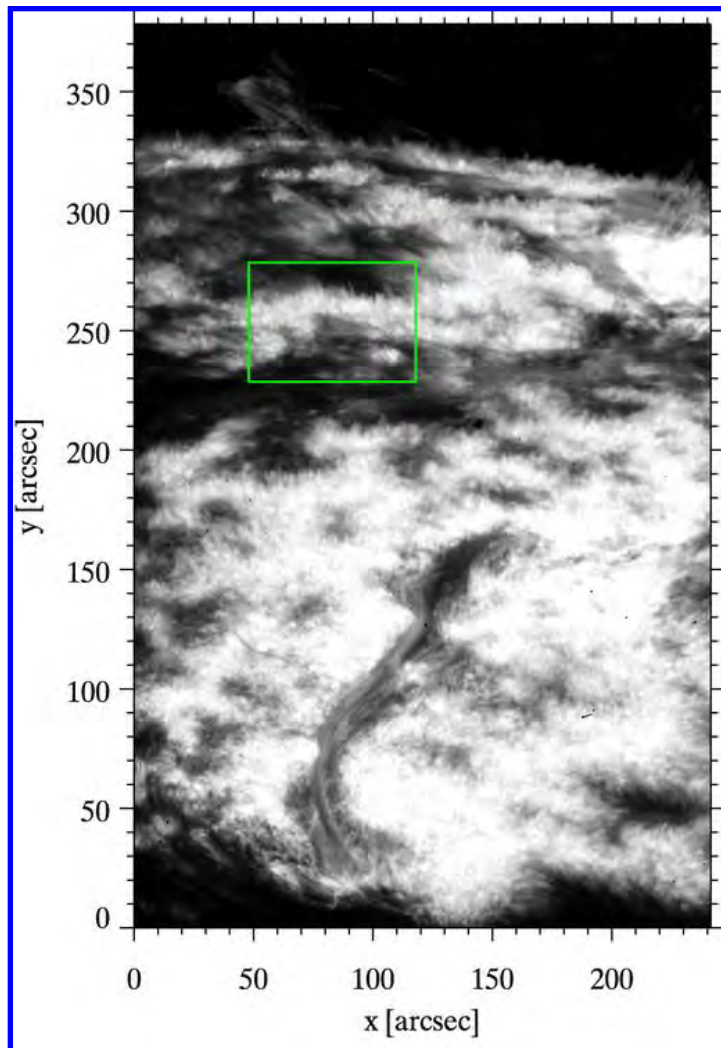


Merania

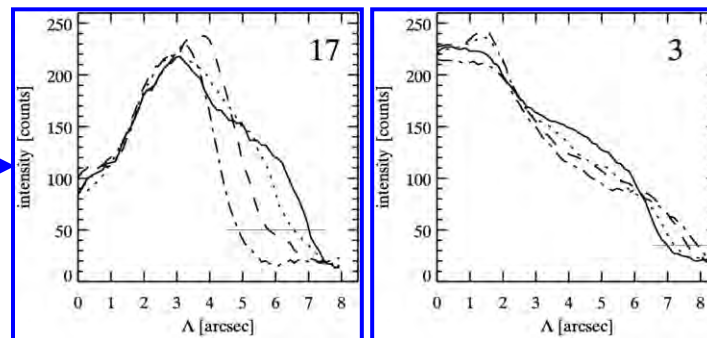


# Pozorováním to len začíná

## Pozorovací data



## Merania



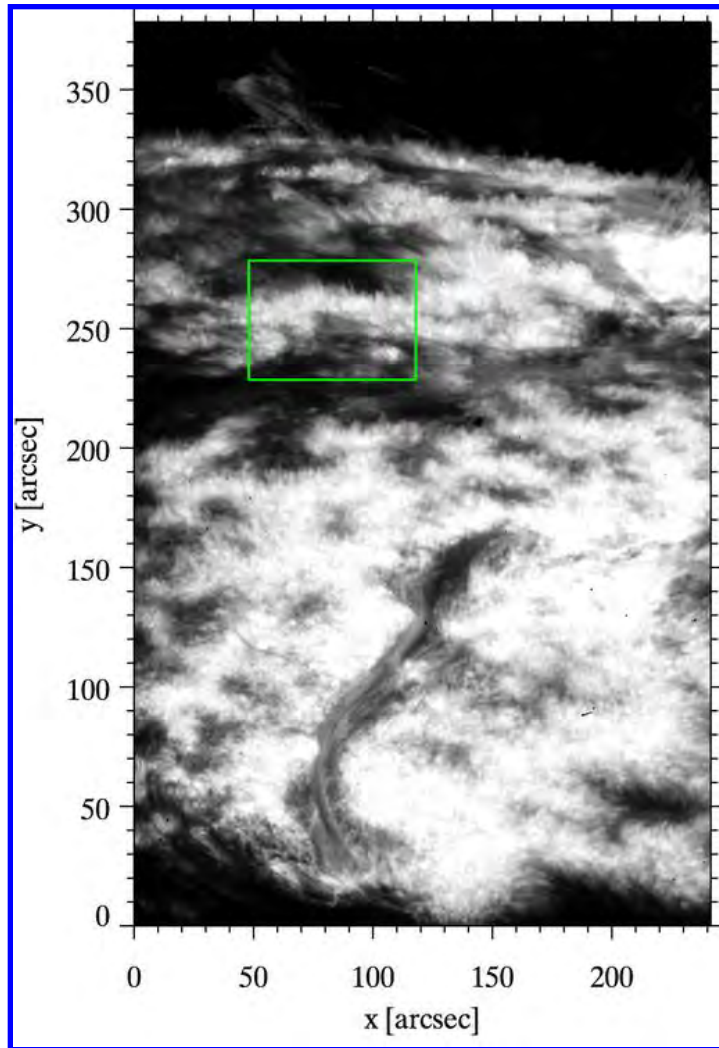
## Matematický model

$$\Lambda_{\text{top}}(t) = \Lambda_1 + v_1 (t - t_1) + \frac{a}{2} (t - t_1)^2$$

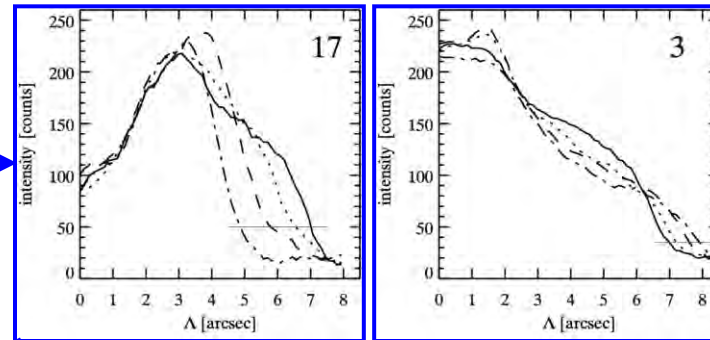


# Pozorováním to len začíná

## Pozorovací data



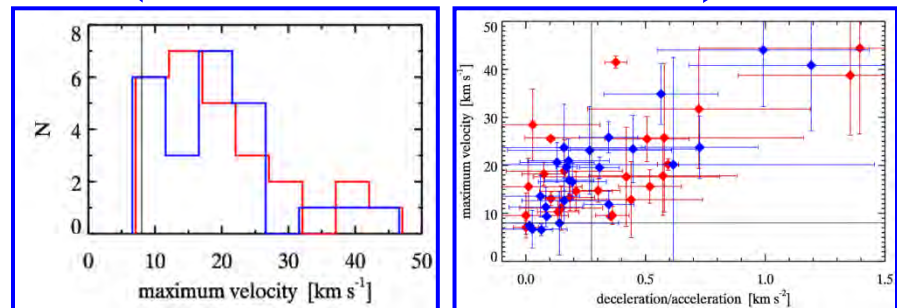
## Merania



## Matematický model

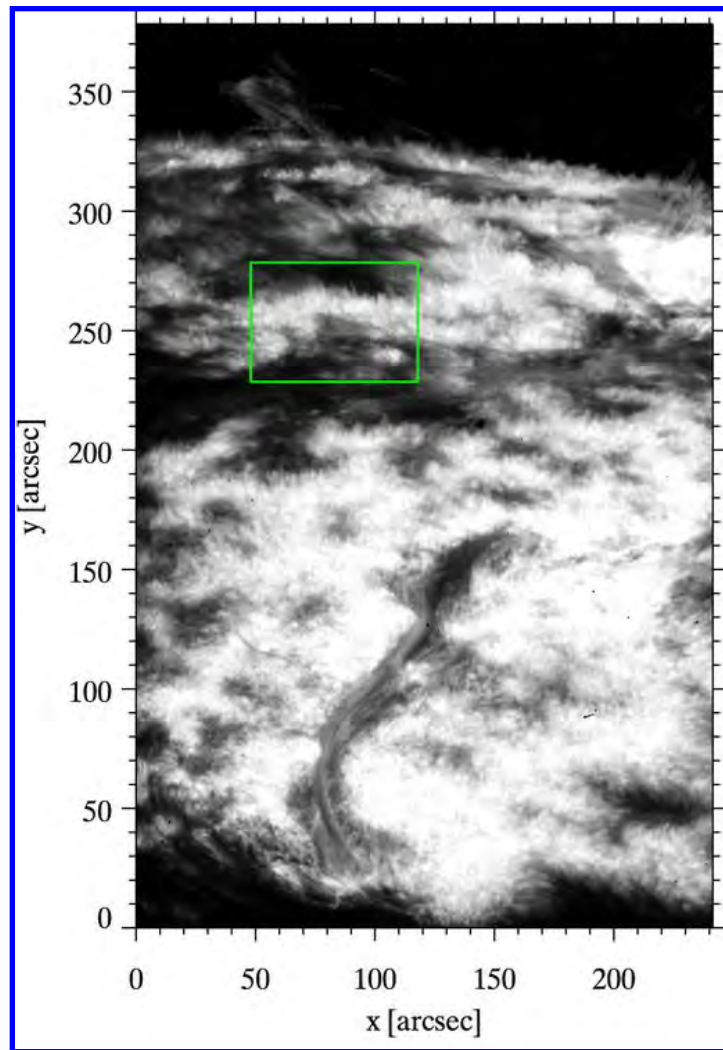
$$\Lambda_{\text{top}}(t) = \Lambda_1 + v_1 (t - t_1) + \frac{a}{2} (t - t_1)^2$$

## Výsledky

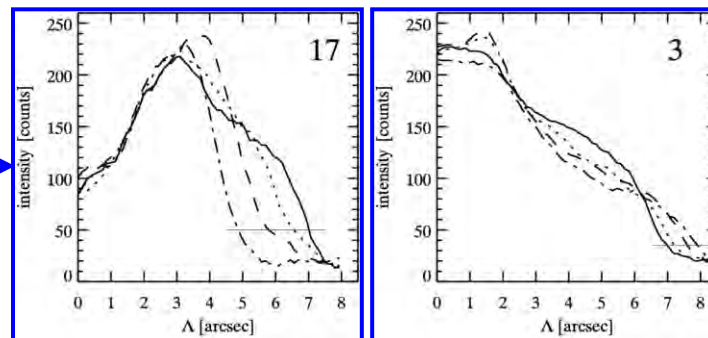


# Pozorováním to len začíná

## Pozorovací data



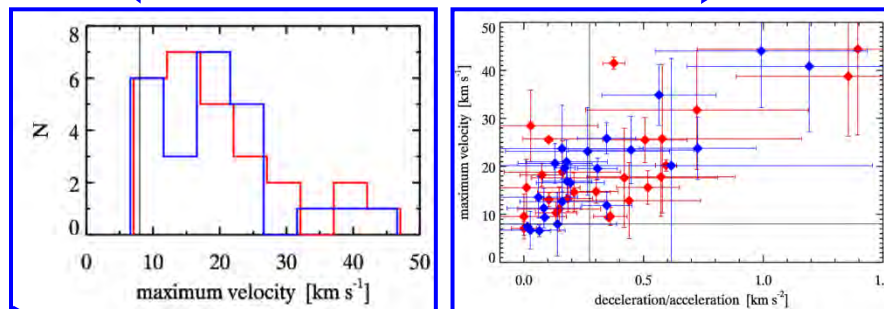
## Merania



## Matematický model

$$\Lambda_{\text{top}}(t) = \Lambda_1 + v_1 (t - t_1) + \frac{a}{2} (t - t_1)^2$$

## Výsledky



**Odborný článok**

# Astrofyzikálny model

Nástroj pre objasnenie pozorovania

matematicko-fyzikálna teória

$$\begin{aligned}\frac{\partial \rho}{\partial t} &= -\nabla \cdot \rho \mathbf{u}, \\ \frac{\partial \rho \mathbf{u}}{\partial t} &= -\nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{u} + \underline{\underline{\tau}}) - \nabla P + \mathbf{J} \times \mathbf{B} + \mathbf{F}_e, \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} &= -\nabla \cdot (\varepsilon \mathbf{u}) - P \nabla \cdot \mathbf{u} + Q_{\text{Joule}} + Q_{\text{visc}},\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} &= -\nabla \times \mathbf{E}, \\ \mathbf{E} &= -(\mathbf{u} \times \mathbf{B}) + \eta \mathbf{J}, \\ \mathbf{J} &= \nabla \times \mathbf{B}\end{aligned}$$
$$\begin{aligned}\frac{\partial \varrho}{\partial t} + \nabla \cdot (\varrho \mathbf{v}) &= 0, \\ \frac{\partial \varrho \mathbf{v}}{\partial t} + \nabla \cdot (\varrho \mathbf{v} \otimes \mathbf{v}) &= -\nabla p + \varrho \mathbf{g} + \nabla \cdot \underline{\underline{\tau}}, \\ \frac{\partial \varrho \varepsilon}{\partial t} + \nabla \cdot \left( \varrho \mathbf{v} \left[ \varepsilon + \frac{p}{\varrho} + \frac{1}{2} |\mathbf{v}|^2 \right] \right) &= \\ \nabla \cdot (\mathbf{v} \cdot \underline{\underline{\tau}}) + \nabla \cdot (K \nabla T) + \varrho (\mathbf{g} \cdot \mathbf{v}) + Q_{\text{rad}}\end{aligned}$$

# Astrofyzikálny model

## Nástroj pre objasnenie pozorovania

### matematicko-fyzikálna teória

$$\begin{aligned}\frac{\partial \rho}{\partial t} &= -\nabla \cdot \rho \mathbf{u}, \\ \frac{\partial \rho \mathbf{u}}{\partial t} &= -\nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{u} + \underline{\underline{\tau}}) - \nabla P + \mathbf{J} \times \mathbf{B} + \mathbf{F}_e, \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} &= -\nabla \cdot (\varepsilon \mathbf{u}) - P \nabla \cdot \mathbf{u} + Q_{\text{Joule}} + Q_{\text{visc}},\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} &= -\nabla \times \mathbf{E}, \\ \mathbf{E} &= -(\mathbf{u} \times \mathbf{B}) + \eta \mathbf{J}, \\ \mathbf{J} &= \nabla \times \mathbf{B}\end{aligned}$$
$$\begin{aligned}\frac{\partial \varrho}{\partial t} + \nabla \cdot (\varrho \mathbf{v}) &= 0, \\ \frac{\partial \varrho \mathbf{v}}{\partial t} + \nabla \cdot (\varrho \mathbf{v} \otimes \mathbf{v}) &= -\nabla p + \varrho \mathbf{g} + \nabla \cdot \underline{\underline{\tau}}, \\ \frac{\partial \varrho \varepsilon}{\partial t} + \nabla \cdot \left( \varrho \mathbf{v} \left[ \varepsilon + \frac{p}{\varrho} + \frac{1}{2} |\mathbf{v}|^2 \right] \right) &= \\ \nabla \cdot (\mathbf{v} \cdot \underline{\underline{\tau}}) + \nabla \cdot (K \nabla T) + \varrho (\mathbf{g} \cdot \mathbf{v}) + Q_{\text{rad}}\end{aligned}$$



### počítačový program

```
getCPU(2, TIME_START, NULL);
initGamma();

/* --- Formal solution for all wavelengths --- */
solveSpectrum(eval_operator=TRUE, FALSE);

/* --- Solve statistical equilibrium equations --- */
dpopsmax = updatePopulations(niter);

/* --- Redistribute intensity in PRD lines if necessary */
if (atom && atom->Nprd > 0) {
    if (input.PRDiterLimit < 0.0)
        PRDiterlimit = MAX(dpopsmax, -input.PRDiterLimit);
    else
        PRDiterlimit = input.PRDiterLimit;
    Redistribute(atom, input.PRD_NmaxIter, PRDiterlimit);
}
sprintf(messageStr, "Total Iteration %3d", niter);
getCPU(2, TIME_POLL, messageStr);

if (dpopsmax < iterLimit) break;
niter++;
}

if (atom) {
    freeMatrix((void **) atom->Gamma);
    NgFree(atom->Ng_n);
} else if (molecule) {
    freeMatrix((void **) molecule->Gamma);
    NgFree(molecule->Ng_nv);
}
getCPU(1, TIME_POLL, "Iteration Total");
```



# Astrofyzikálny model

## Nástroj pre objasnenie pozorovania

matematicko-fyzikálna teória

výkonný superpočítač

$$\begin{aligned}\frac{\partial \rho}{\partial t} &= -\nabla \cdot \rho \mathbf{u}, \\ \frac{\partial \rho \mathbf{u}}{\partial t} &= -\nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{u} + \underline{\underline{\tau}}) - \nabla P + \mathbf{J} \times \mathbf{B} + \mathbf{F}_e, \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} &= -\nabla \cdot (\varepsilon \mathbf{u}) - P \nabla \cdot \mathbf{u} + Q_{\text{Joule}} + Q_{\text{visc}}, \\ \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} &= -\nabla \times \mathbf{E}, \\ \mathbf{E} &= -(\mathbf{u} \times \mathbf{B}) + \eta \mathbf{J}, \\ \mathbf{J} &= \nabla \times \mathbf{B}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \varrho}{\partial t} + \nabla \cdot (\varrho \mathbf{v}) &= 0, \\ \frac{\partial \varrho \mathbf{v}}{\partial t} + \nabla \cdot (\varrho \mathbf{v} \otimes \mathbf{v}) &= -\nabla p + \varrho \mathbf{g} + \nabla \cdot \underline{\underline{\tau}}, \\ \frac{\partial \varrho \varepsilon}{\partial t} + \nabla \cdot \left( \varrho \mathbf{v} \left[ \varepsilon + \frac{p}{\varrho} + \frac{1}{2} |\mathbf{v}|^2 \right] \right) &= \\ \nabla \cdot (\mathbf{v} \cdot \underline{\underline{\tau}}) + \nabla \cdot (K \nabla T) + \varrho (\mathbf{g} \cdot \mathbf{v}) + Q_{\text{rad}}\end{aligned}$$

počítačový program

```
getCPU(2, TIME_START, NULL);
initGamma();

/* --- Formal solution for all wavelengths --- */
solveSpectrum(eval_operator=TRUE, FALSE);

/* --- Solve statistical equilibrium equations --- */
dpopsmax = updatePopulations(niter);

/* --- Redistribute intensity in PRD lines if necessary */
if (atom && atom->Nprd > 0) {
    if (input.PRDiterLimit < 0.0)
        PRDiterlimit = MAX(dpopsmax, -input.PRDiterLimit);
    else
        PRDiterlimit = input.PRDiterLimit;
    Redistribute(atom, input.PRD_NmaxIter, PRDiterlimit);
}
sprintf(messageStr, "Total Iteration %3d", niter);
getCPU(2, TIME_POLL, messageStr);

if (dpopsmax < iterLimit) break;
niter++;
}

if (atom) {
    freeMatrix((void **) atom->Gamma);
    NgFree(atom->Ng_n);
} else if (molecule) {
    freeMatrix((void **) molecule->Gamma);
    NgFree(molecule->Ng_nv);
}
getCPU(1, TIME_POLL, "Iteration Total");
```



# Astrofyzikálny model

## Nástroj pre objasnenie pozorovania

matematicko-fyzikálna teória

$$\begin{aligned}\frac{\partial \rho}{\partial t} &= -\nabla \cdot \rho \mathbf{u}, \\ \frac{\partial \rho \mathbf{u}}{\partial t} &= -\nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{u} + \underline{\underline{p}}) - \nabla P + \mathbf{J} \times \mathbf{B} + \mathbf{F}_e, \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} &= -\nabla \cdot (\varepsilon \mathbf{u}) - P \nabla \cdot \mathbf{u} + Q_{\text{Joule}} + Q_{\text{visc}}, \\ \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} &= -\nabla \times \mathbf{E}, \\ \mathbf{E} &= -(\mathbf{u} \times \mathbf{B}) + \eta \mathbf{J}, \\ \mathbf{J} &= \nabla \times \mathbf{B}, \\ \frac{\partial \varrho}{\partial t} + \nabla \cdot (\varrho \mathbf{v}) &= 0, \\ \frac{\partial \varrho \mathbf{v}}{\partial t} + \nabla \cdot (\varrho \mathbf{v} \otimes \mathbf{v}) &= -\nabla p + \varrho \mathbf{g} + \nabla \cdot \underline{\underline{\tau}}, \\ \frac{\partial \varrho \varepsilon}{\partial t} + \nabla \cdot \left( \varrho \mathbf{v} \left[ \varepsilon + \frac{p}{\varrho} + \frac{1}{2} |\mathbf{v}|^2 \right] \right) &= \\ \nabla \cdot (\mathbf{v} \cdot \underline{\underline{\tau}}) + \nabla \cdot (K \nabla T) + \varrho (\mathbf{g} \cdot \mathbf{v}) + Q_{\text{rad}}\end{aligned}$$

počítačový program

```
getCPU(2, TIME_START, NULL);
initGamma();

/* --- Formal solution for all wavelengths --- */
solveSpectrum(eval_operator=TRUE, FALSE);

/* --- Solve statistical equilibrium equations --- */

dpopsmax = updatePopulations(niter);

/* --- Redistribute intensity in PRD lines if necessary */
if (atom && atom->Nprd > 0) {
    if (input.PRDiterLimit < 0)
        PRDiterlimit = MAX(dpopsmax, -input.PRDiterLimit);
    else
        PRDiterlimit = input.PRDiterLimit;
    Redistribute(atom, input.PRD_NmaxIter, PRDiterlimit);
}
sprintf(messageStr, "Total Iteration %3d", niter);
getCPU(2, TIME_POLL, messageStr);

if (dpopsmax < iterLimit) break;
niter++;
}

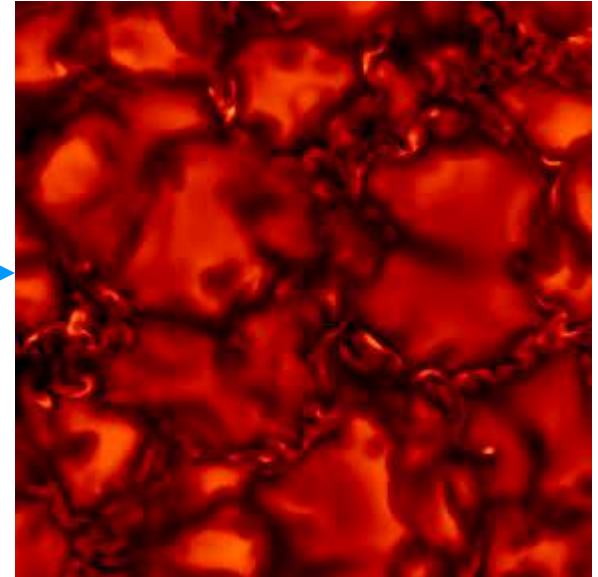
if (atom) {
    freeMatrix((void **) atom->Gamma);
    NgFree(atom->Ng_n);
} else if (molecule) {
    freeMatrix((void **) molecule->Gamma);
    NgFree(molecule->Ng_nv);
}
getCPU(1, TIME_POLL, "Iteration Total");
```

výkonný superpočítač

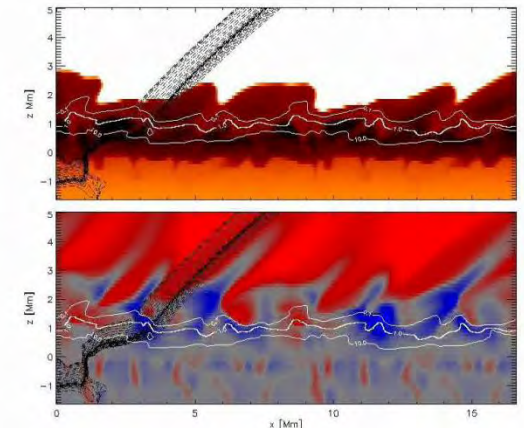


model pozorovaného javu

slnečná granulácia



chromosférické spikuly a fibrily



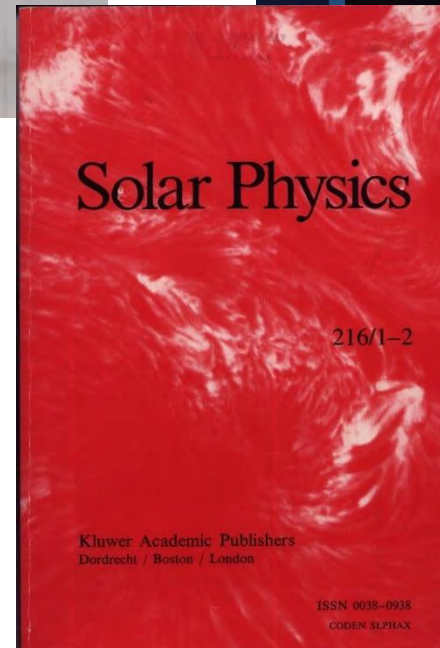
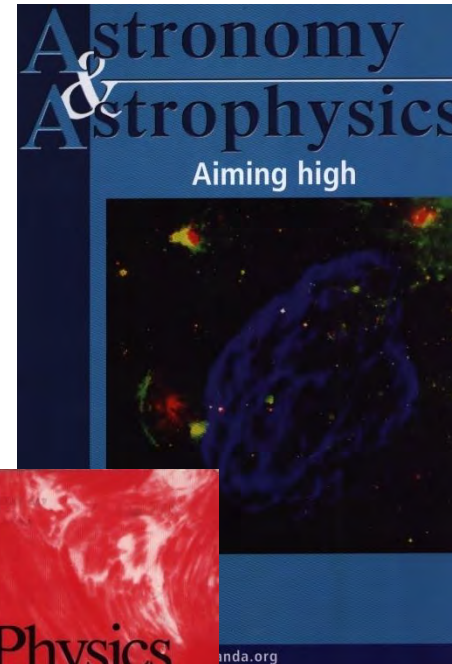
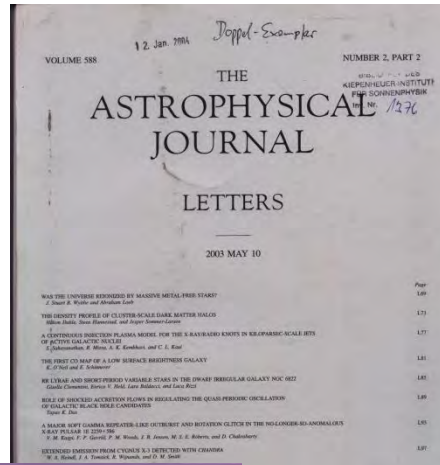
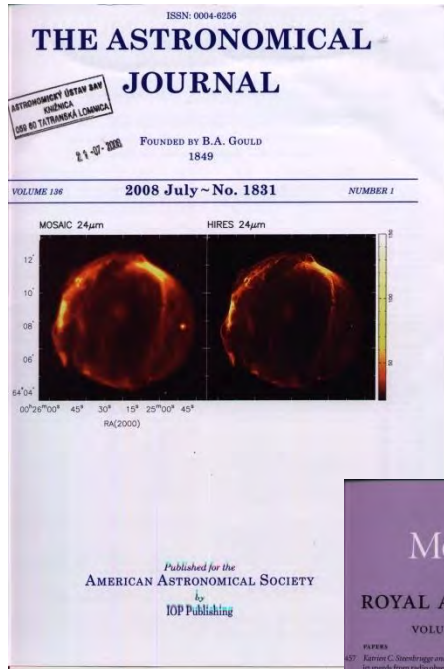






# Vybrané odborné časopisy

## Kam píše a čo číta slnečný fyzik



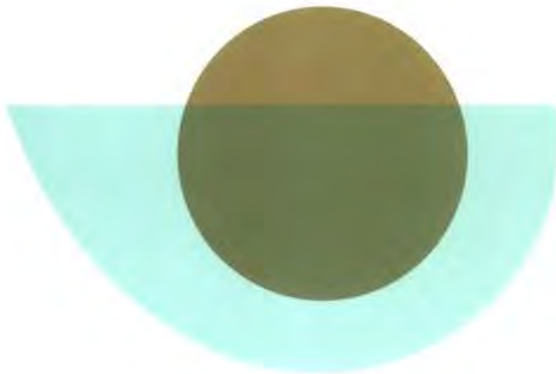


# Odporúčané čítanie

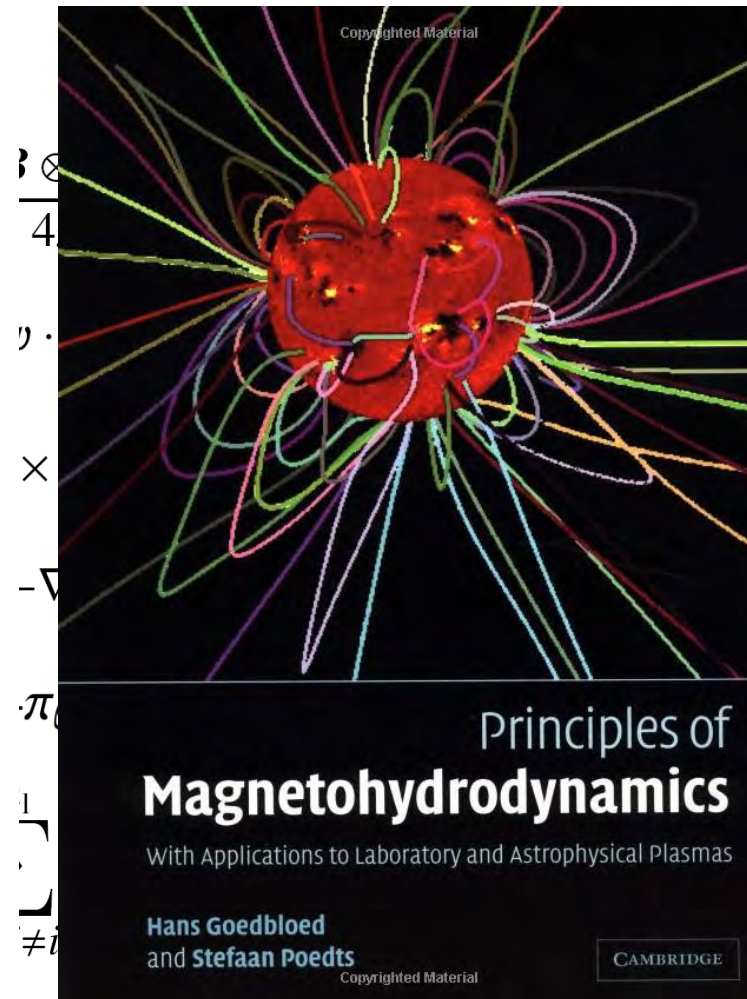
Geophysics and Astrophysics Monographs

## Solar Magnetohydrodynamics

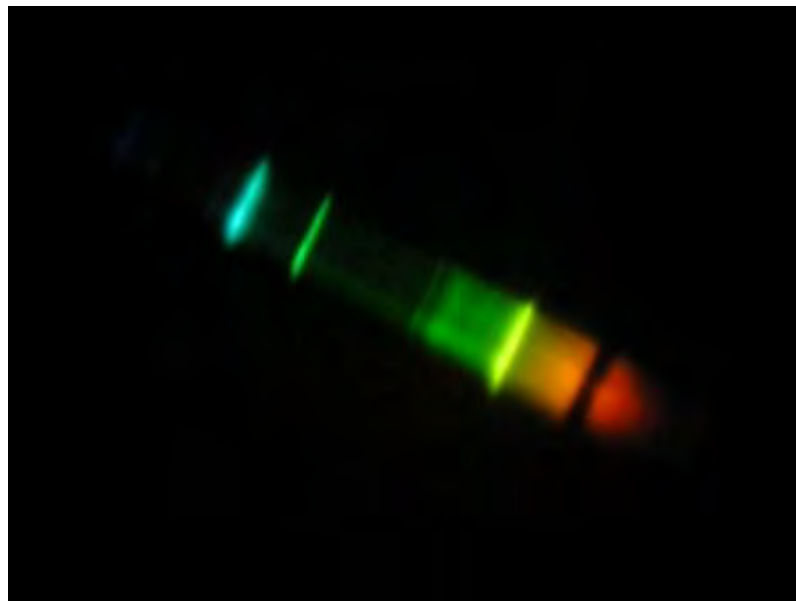
E.R. Priest



Kluwer Academic Publishers



# Spektroskop do vrečka



[Spektroskop do vrečka](#)

# Spektroskop do vrečka



[Spektroskop do vrečka](#)

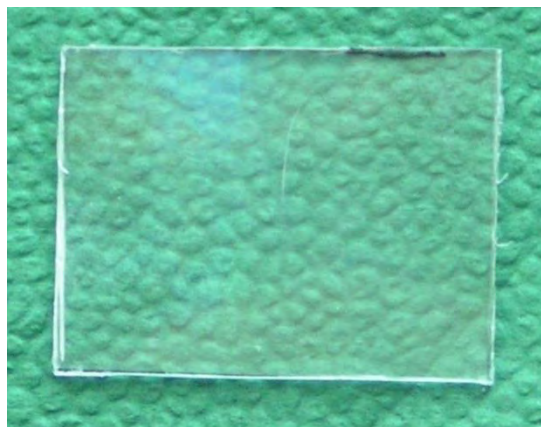
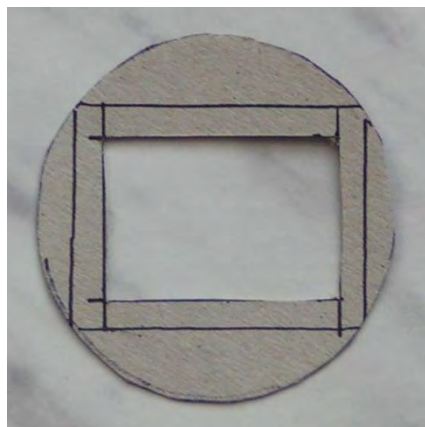
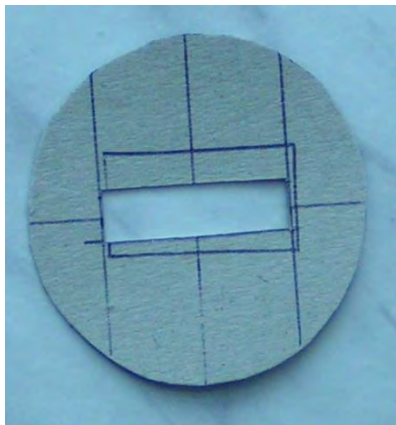
# Spektroskop do vrečka



[Spektroskop do vrečka](#)



# Spektroskop do vrečka



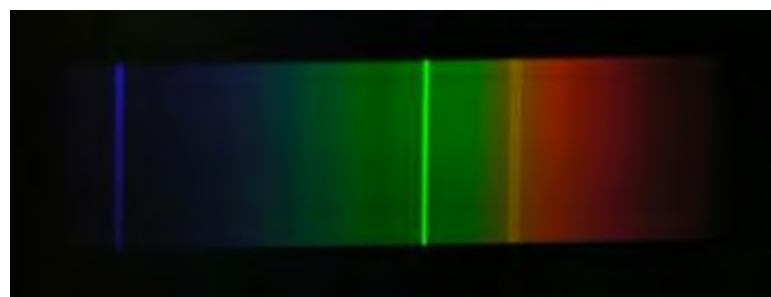
[Spektroskop do vrečka](#)

# Spektroskop do vrečka



[Spektroskop do vrečka](#)

# Spektroskop do vrecka



[Spektroskop do vrecka](#)

[Spektrá okolo nás](#)

# Odporúčané zdroje

Lukáš Král:

Spektroskopie na koleně, Bílý trpaslík, Číslo 103, únor 2001, str. 3-7.

Mária Šedivá, Hana Suchomelová:

Honba za spektrom, Bílý trpaslík, Číslo 110, září 2002, str. 1-2.

[CD spektroskop](#)