

Eruptivní procesy na Slunci a jejich optická, radiová a EUV diagnostika



Miroslav Bárta

Astronomický ústav AV ČR, Ondřejov

barta@asu.cas.cz



PROGRAM
CEZHRANIČNEJ
SPOLUPRÁCE
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA
SPOLOČNE BEZ HRANÍC



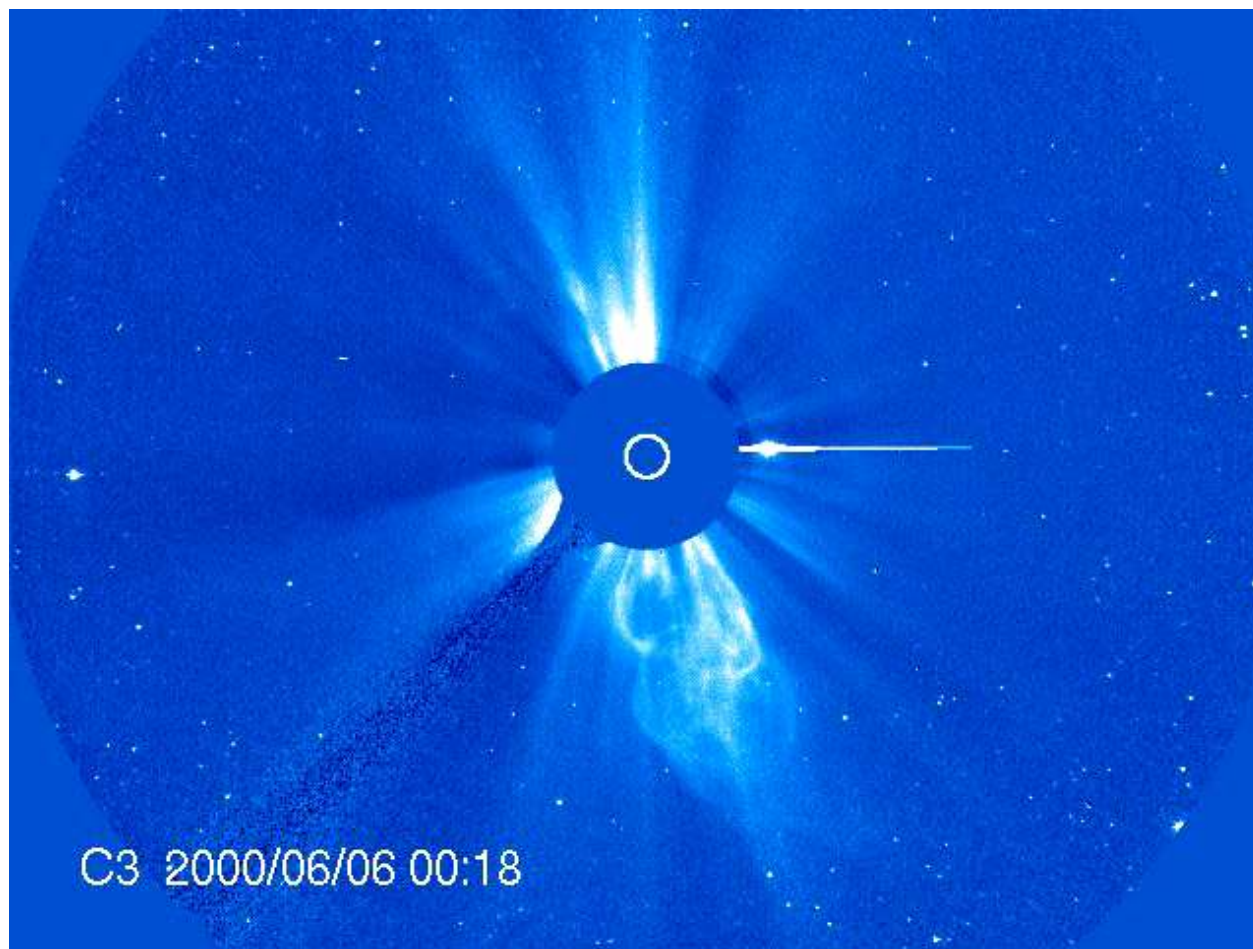
FOND MIKROPROJEKTŮ

Přehled

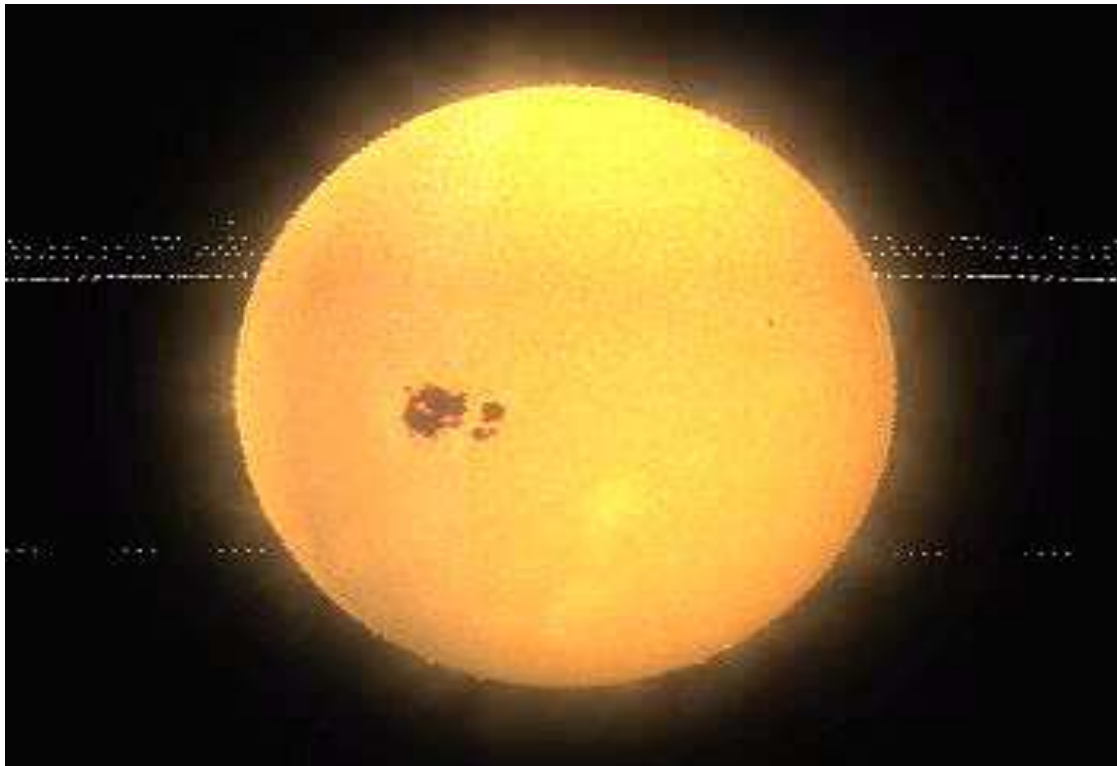
- Proč zkoumat sluneční erupce?
- Co nám o eruptivních procesech říkají pozorování?
- Jak tomu všemu rozumět – modelování slunečních erupcí
- Co na naše modely říká Sluníčko – vztah modelu a pozorování
- Kde je pole pro „amatérské“ pozorovatele?
- Shrnutí

Proč se věnujeme výzkumu sluneční aktivity
aneb rozmary kosmického počasí

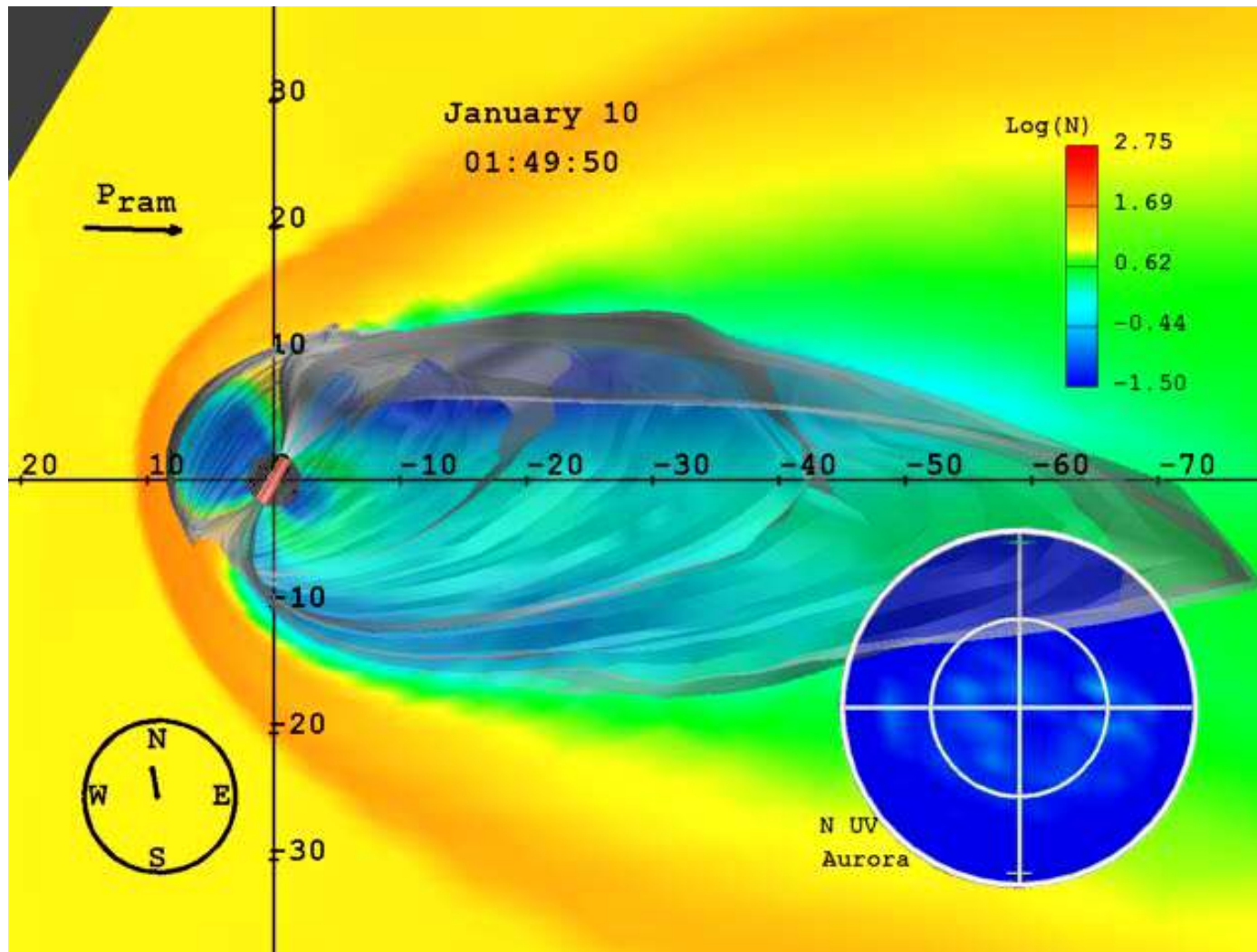
Vliv eruptivních procesů na Slunci na Zemi a okolí: Kosmické počasí



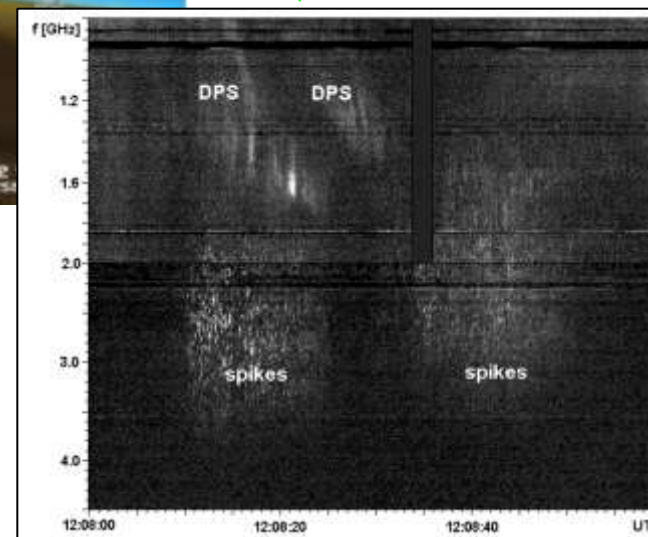
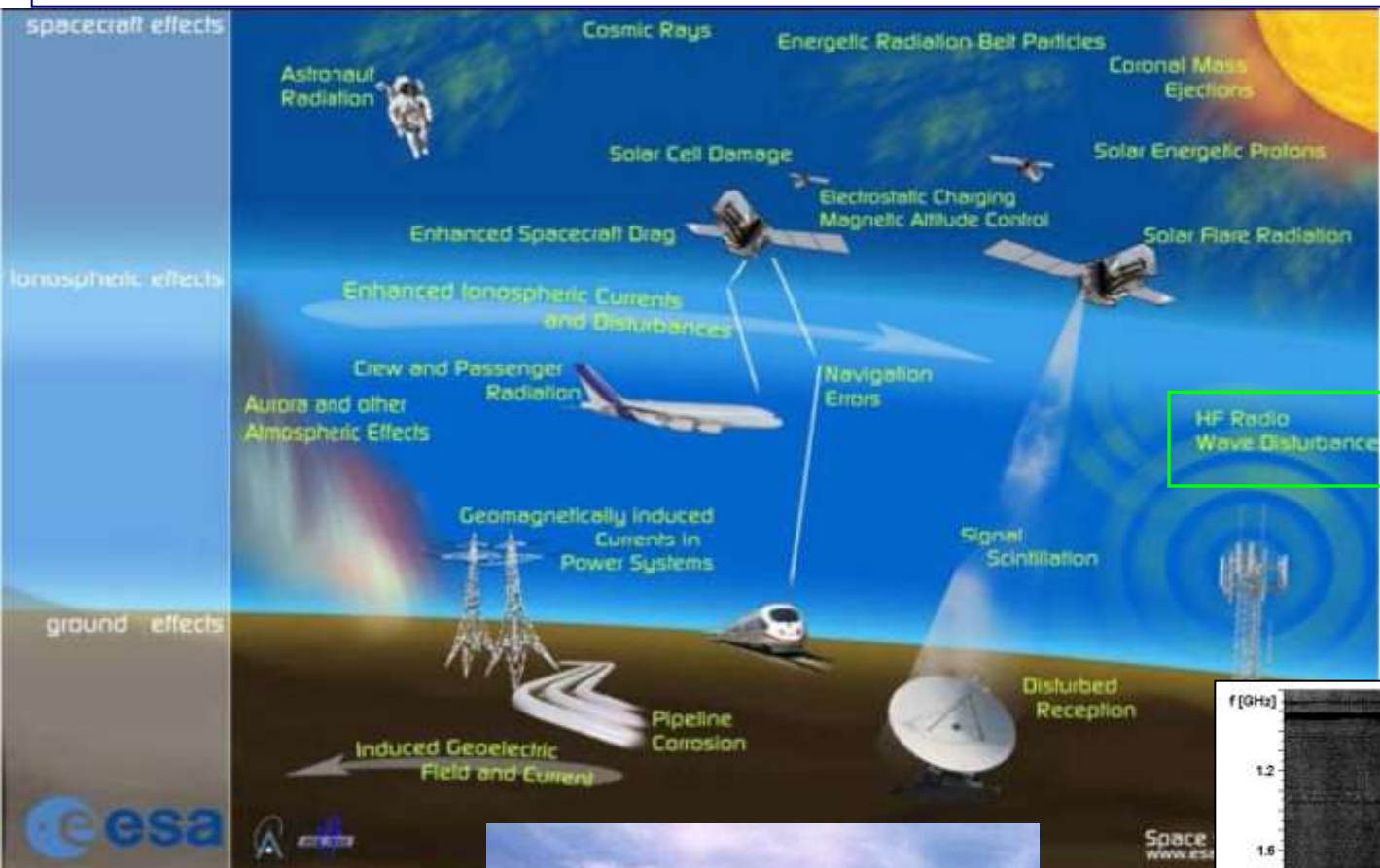
Vliv eruptivních procesů na Slunci na Zemi a okolí: Kosmické počasí



Vliv eruptivních procesů na Slunci na Zemi a okolí: Kosmické počasí

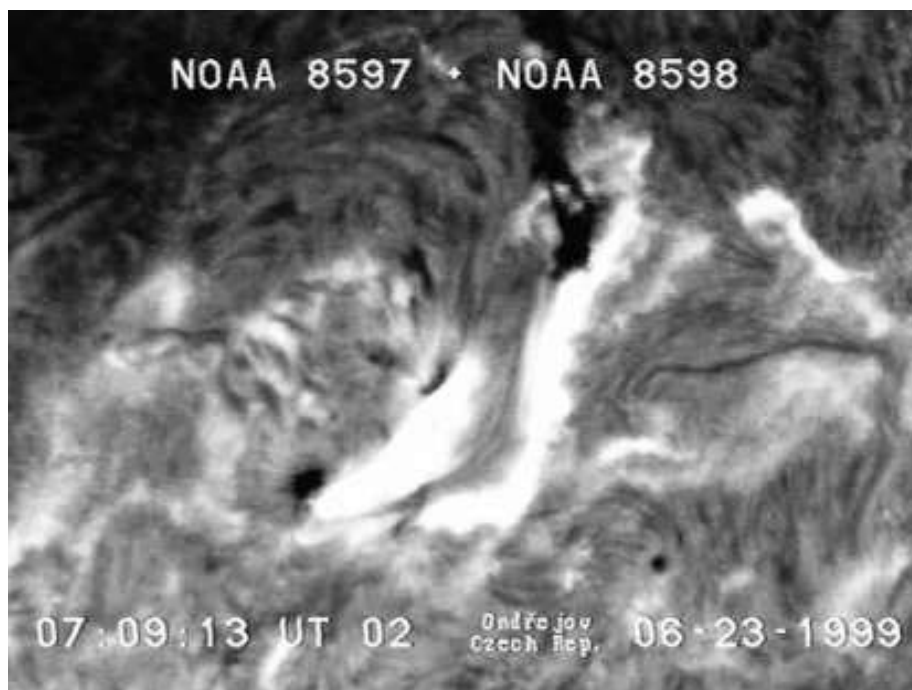


Vliv eruptivních procesů na Slunci na Zemi a okolí: Kosmické počasí

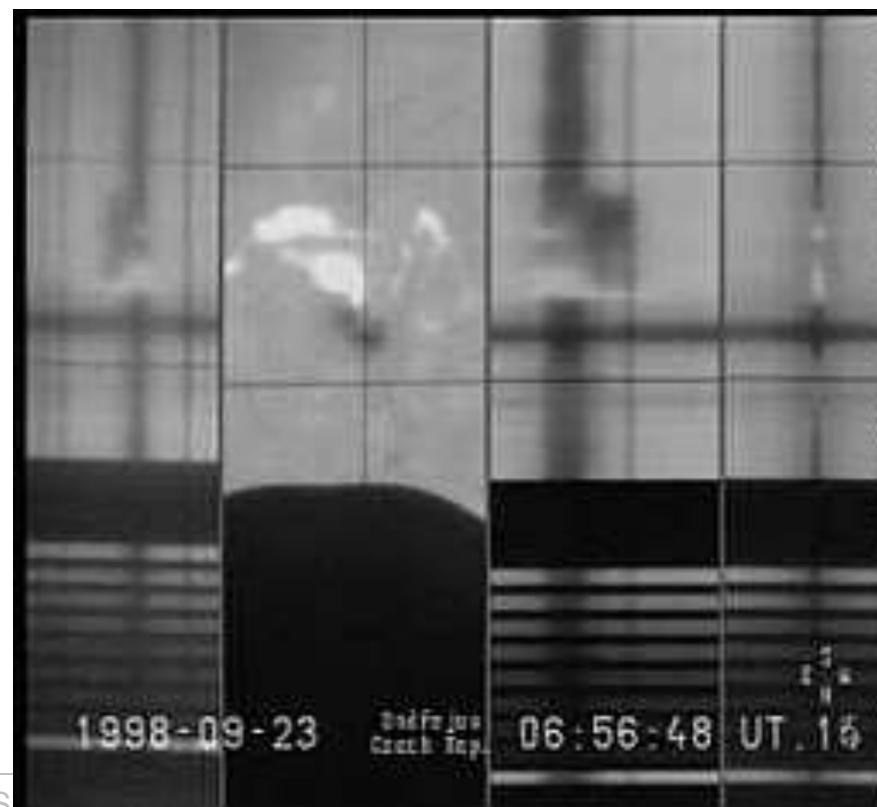


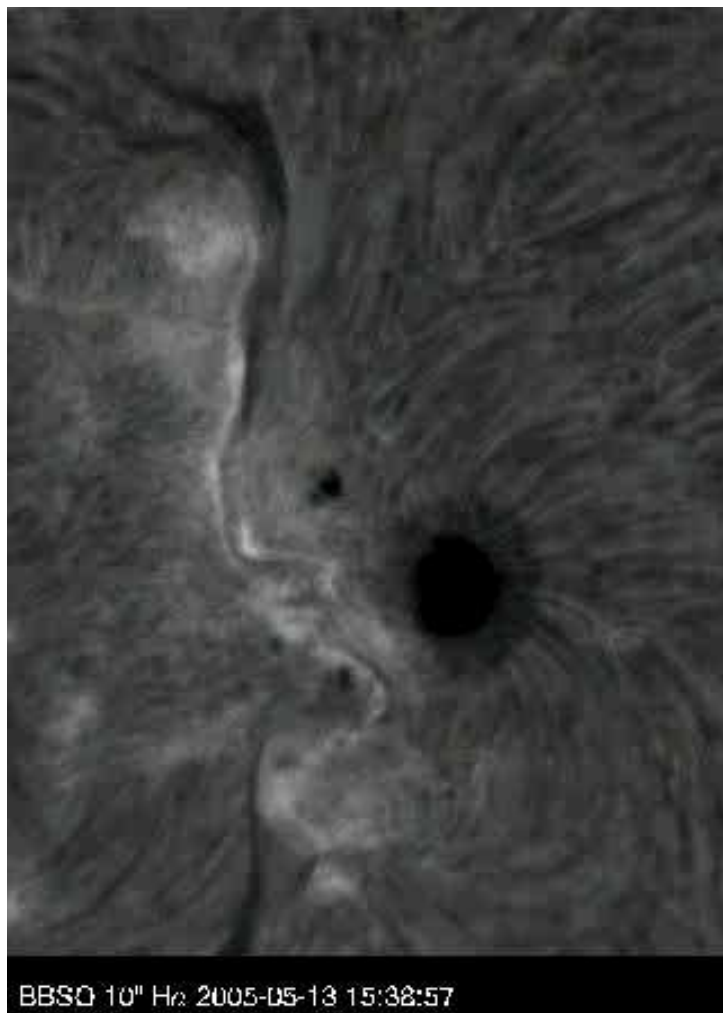
Co víme o slunečních eruptivních procesech z pozorování?

Sluneční erupce



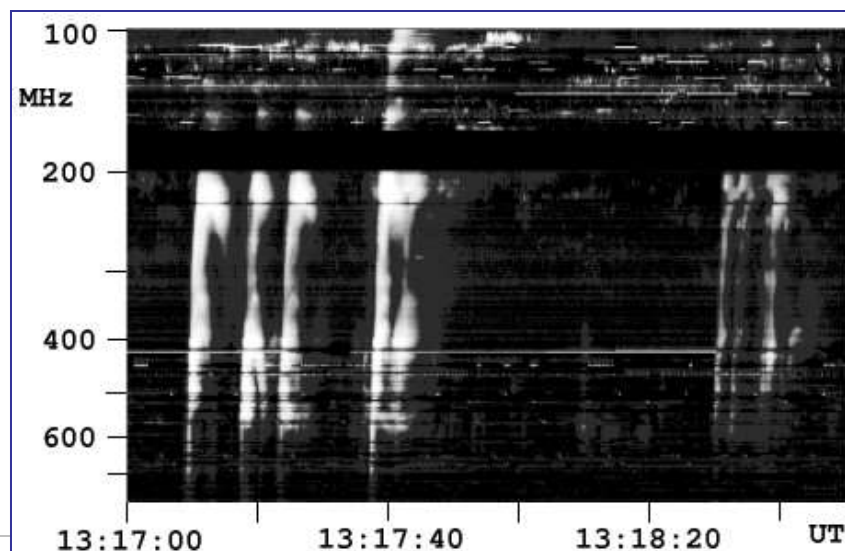
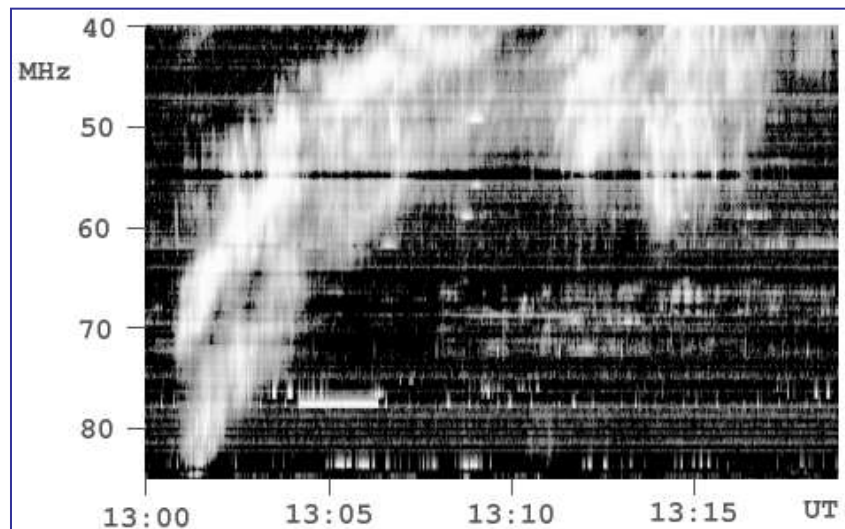
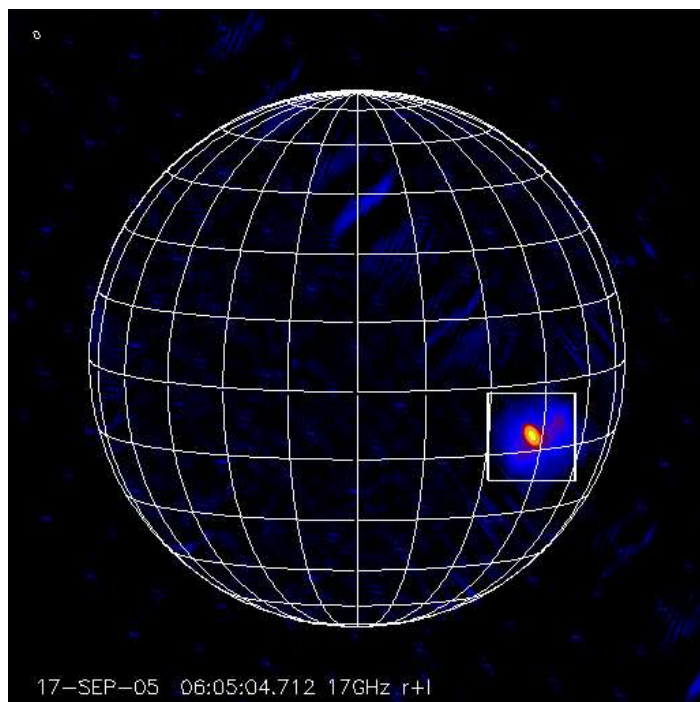
Klasický pohled (čára $H\alpha$)

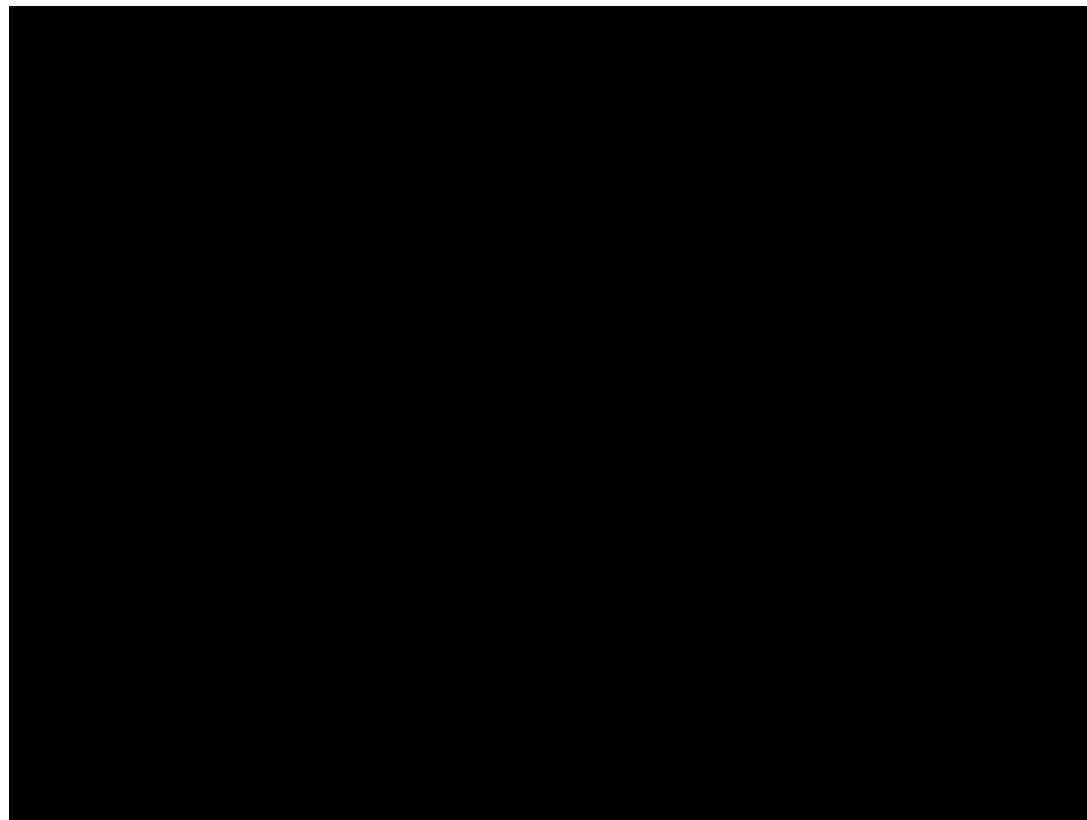




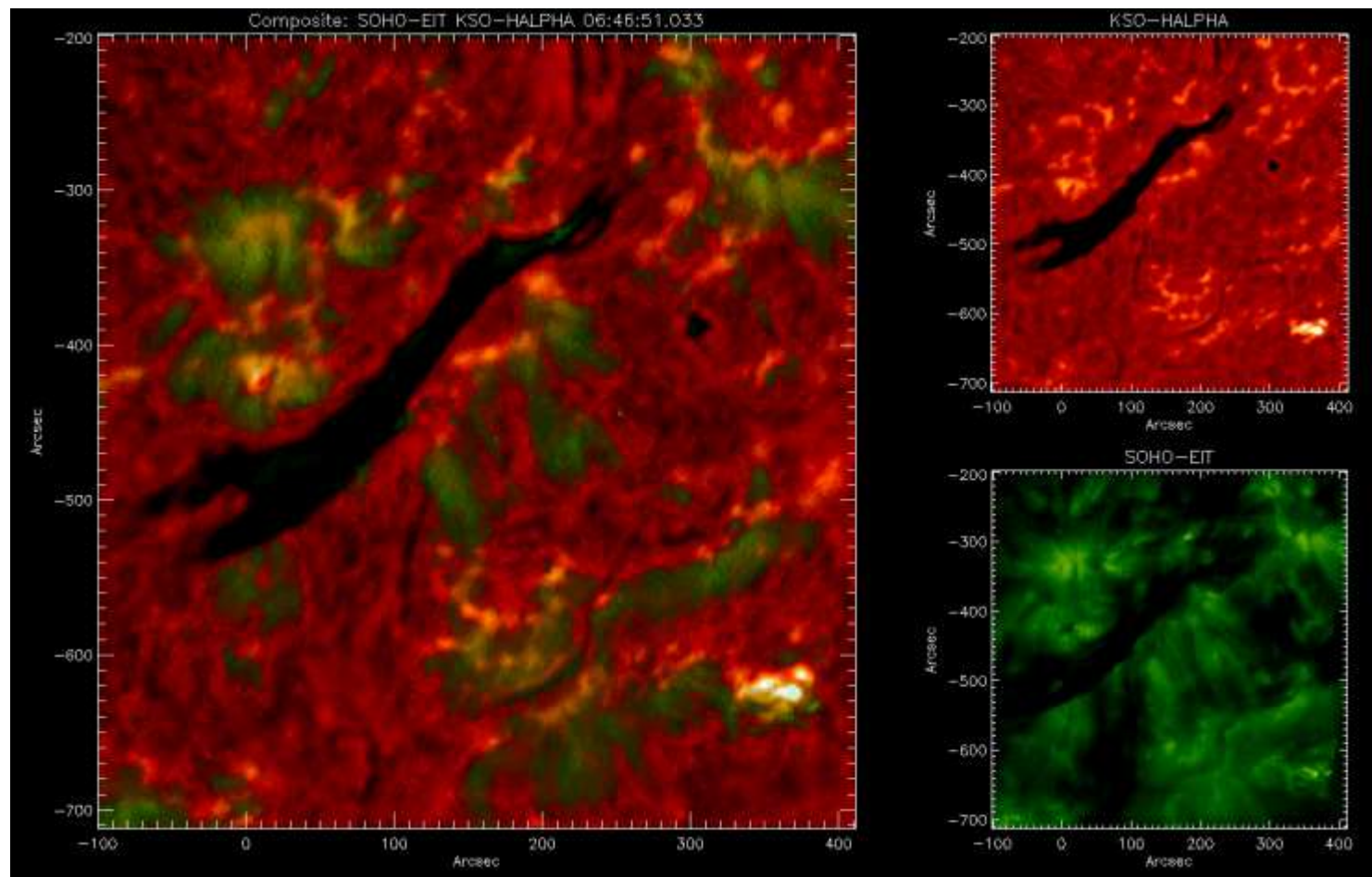
Klasický pohled (čára $H\alpha$)

Erupce na radiových vlnách



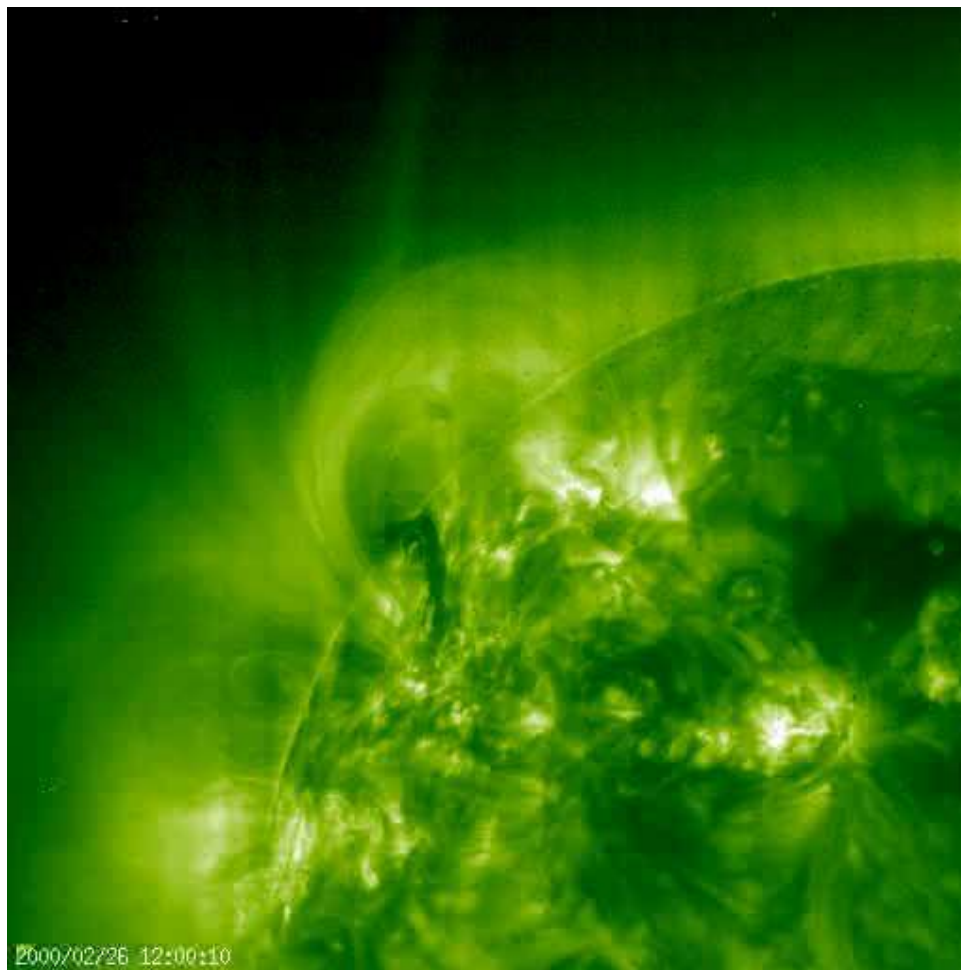


Erupce v UV záření

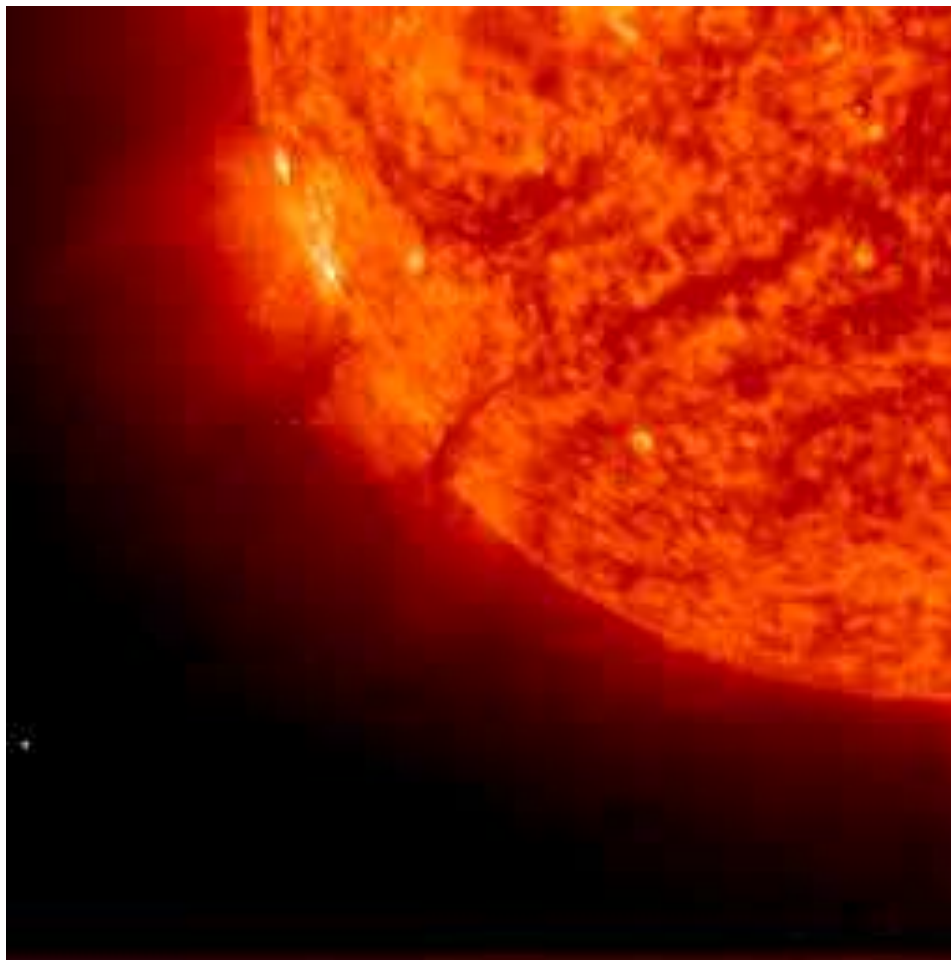


Kombinovaný pohled

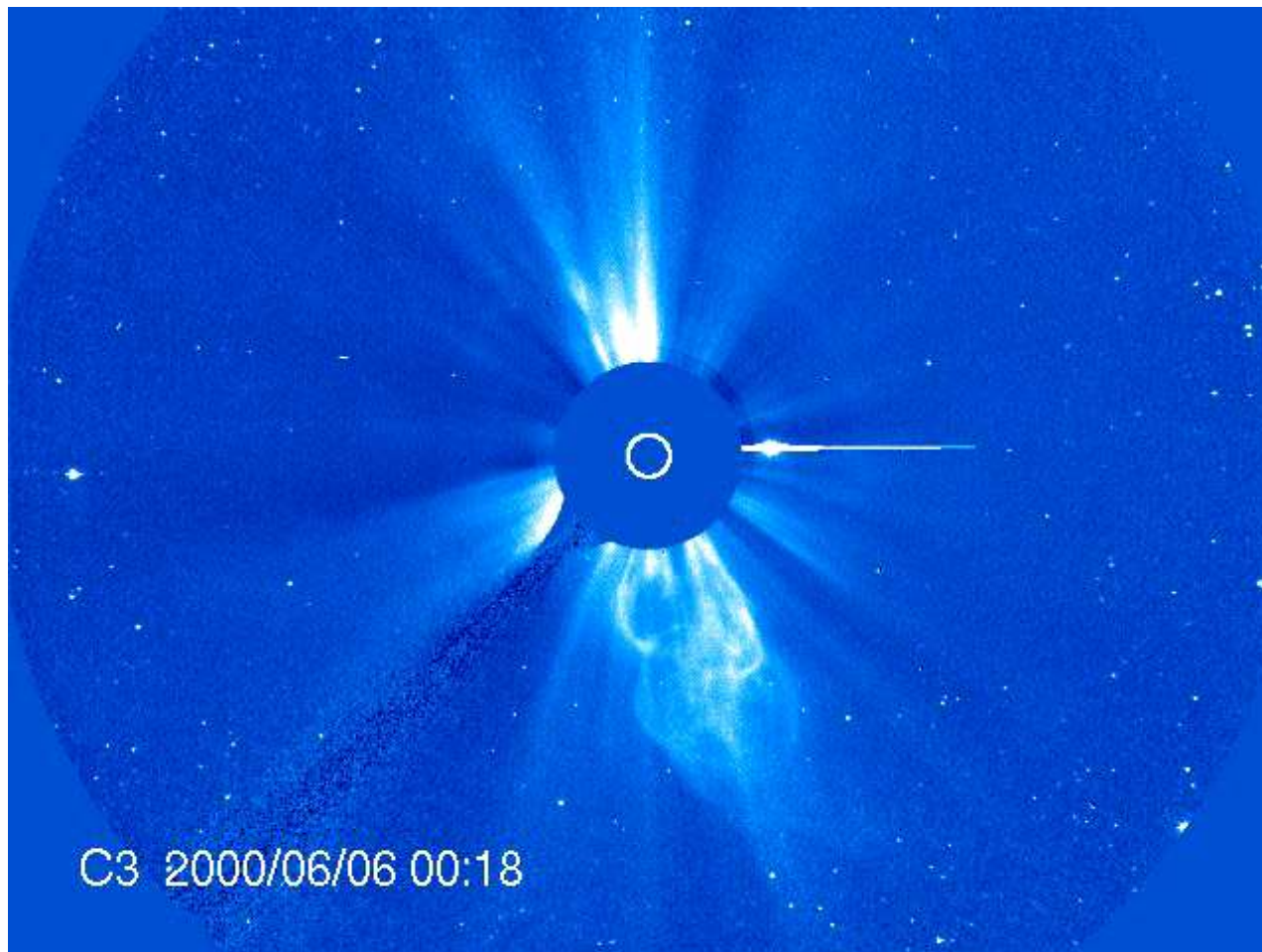
Erupce filamentu



Erupce filamentu



Koronární výrony hmoty (CME)



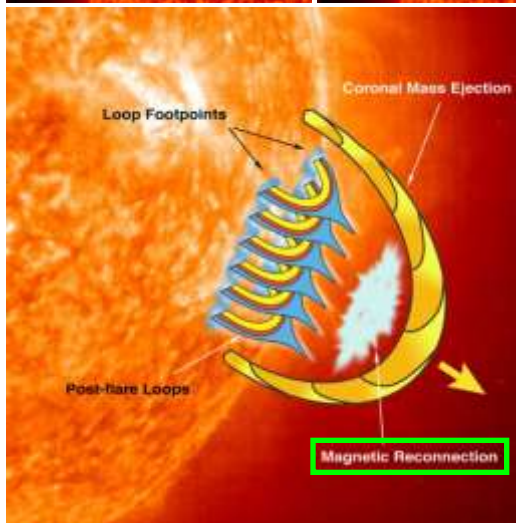
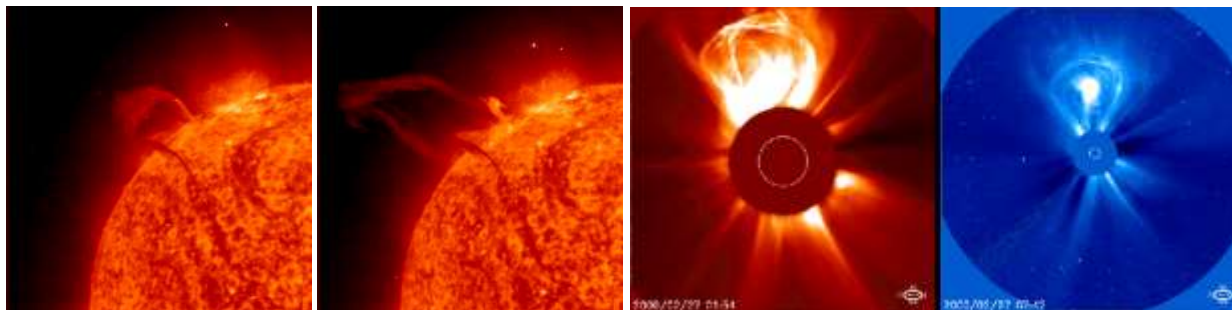
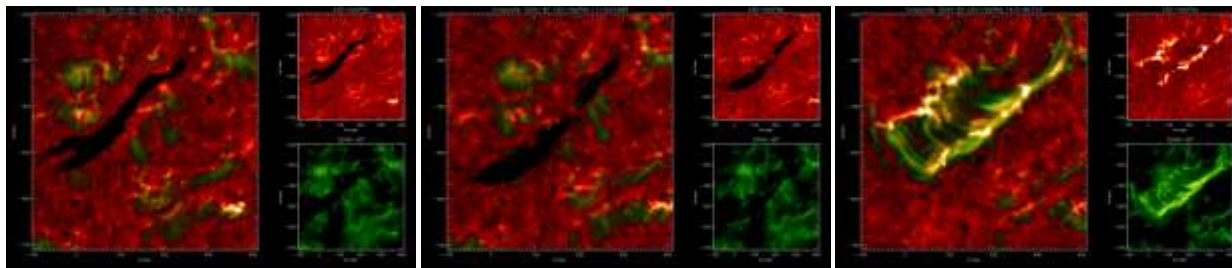
Erupce a CME: celkový pohled



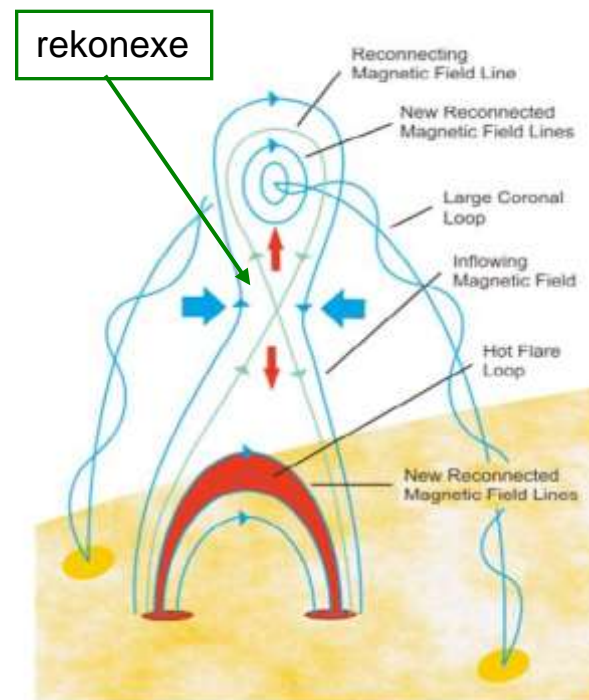
Jak tomu všemu rozumět
aneb modelování eruptivních procesů na Slunci

Modely slunečních erupcí

„Standardní“ scénář



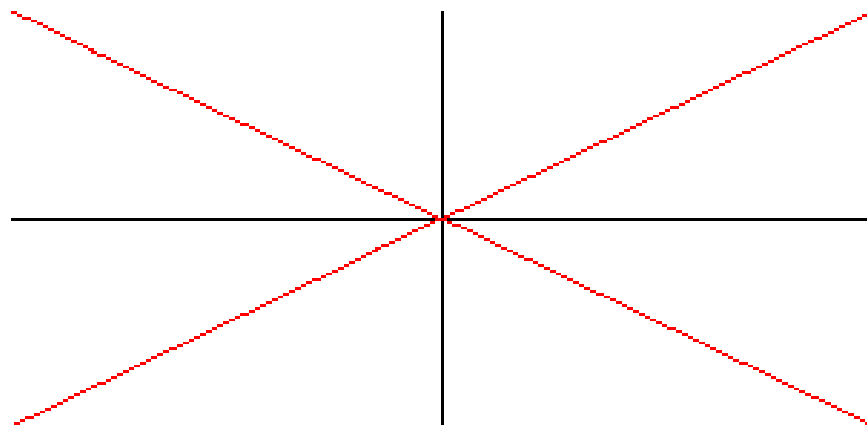
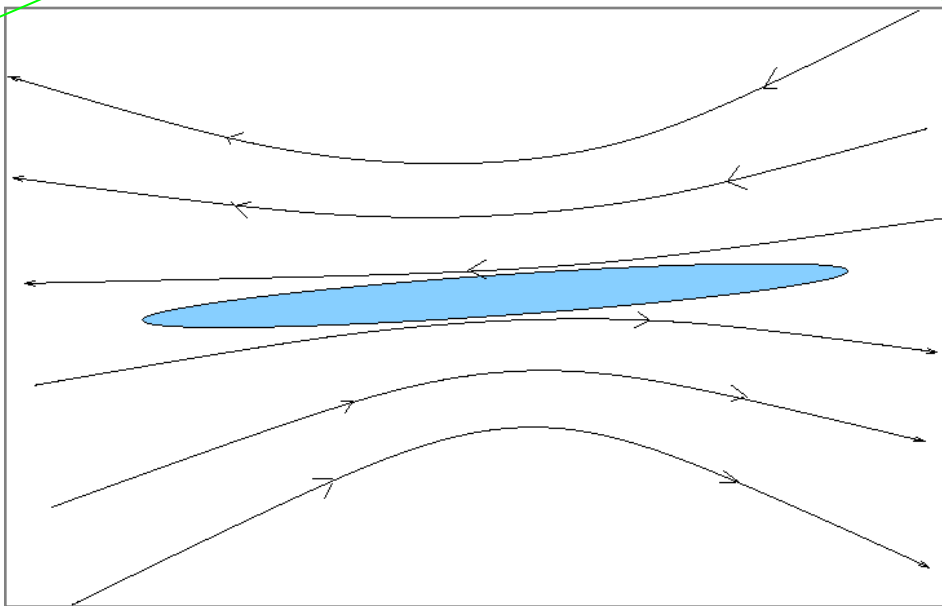
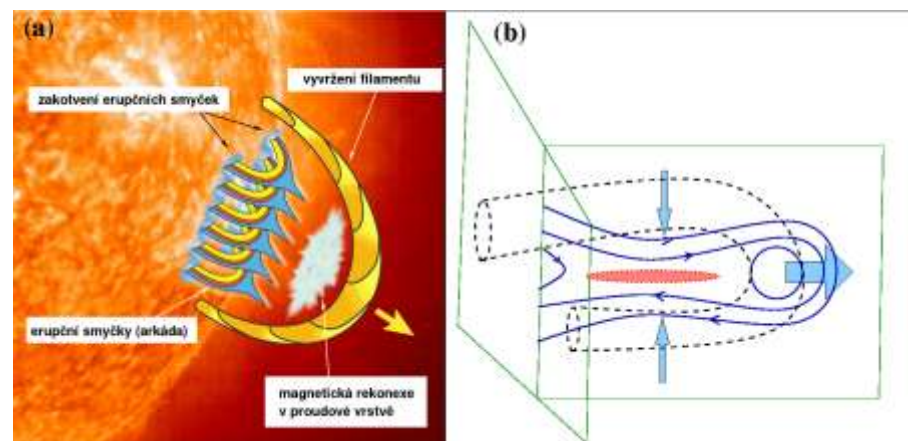
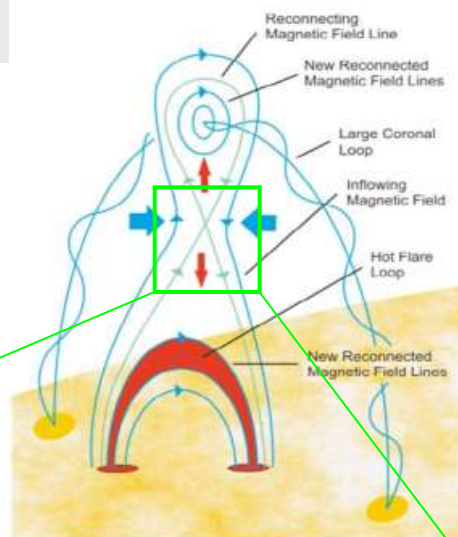
■ Dobrá shoda modelu a pozorování pro jevy na velkých škálách



Schemata erupčních modelů: <http://solarmuri.ssl.berkeley.edu/~hhudson/cartoons/>
(K. Shibata, P. Gallagher)

Mechanismus slunečních erupcí: Rekonexe magnetického pole?

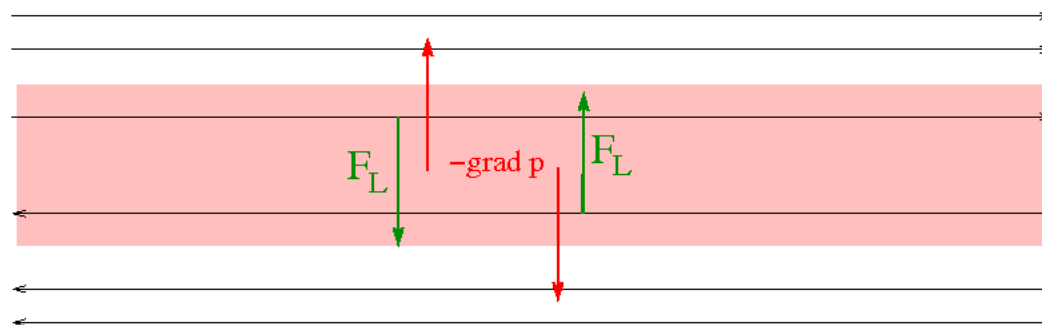
Co je to rekonexe?



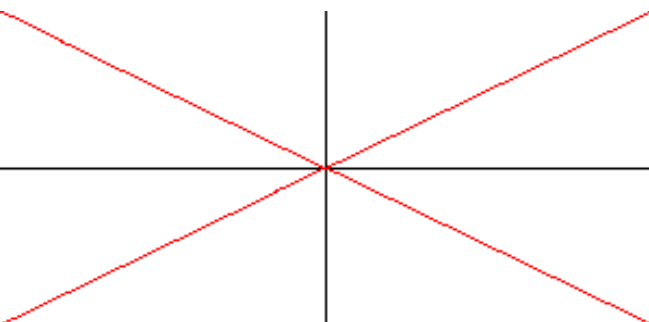
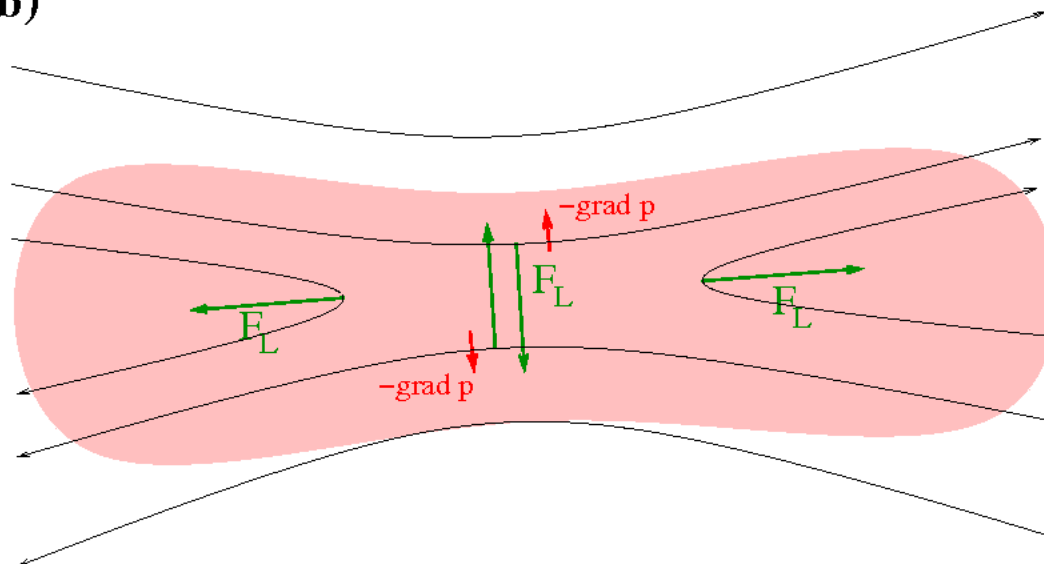
Mechanismus slunečních erupcí: Rekonexe magnetického pole?

Jak to funguje?

a)



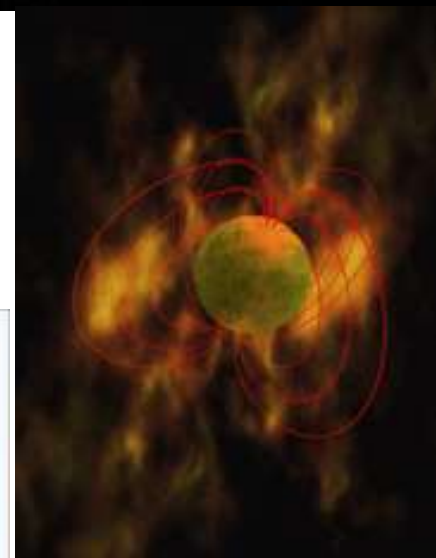
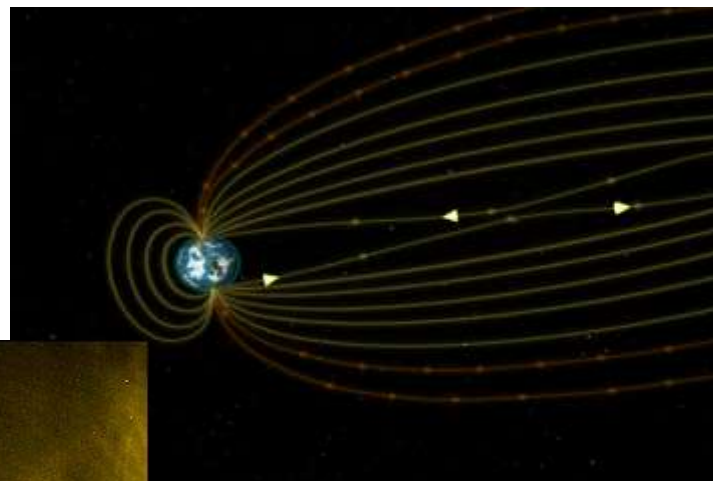
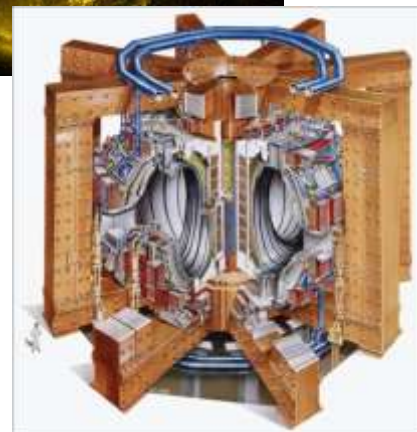
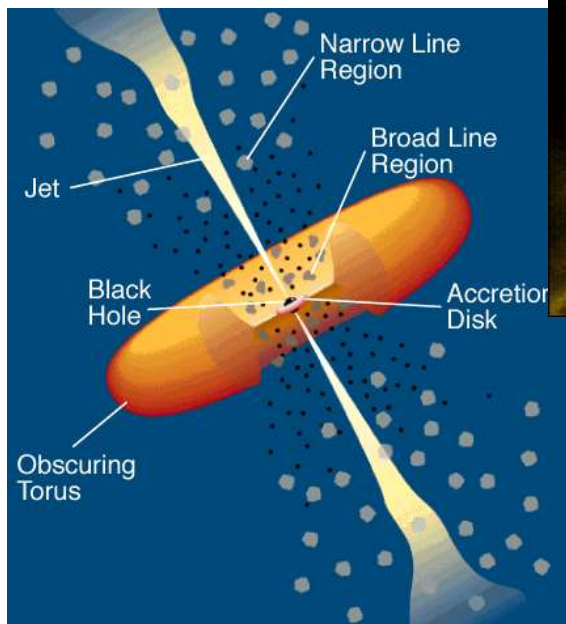
b)



Mechanismus slunečních erupcí: Rekonexe magnetického pole?

Kde všude rekonexi najdeme?

- Magnetospheres of the Earth and other planets
- **Solar** / stellar atmospheres
- Neutron stars - magnetars
- Accretion disks
- Fusion plasmas

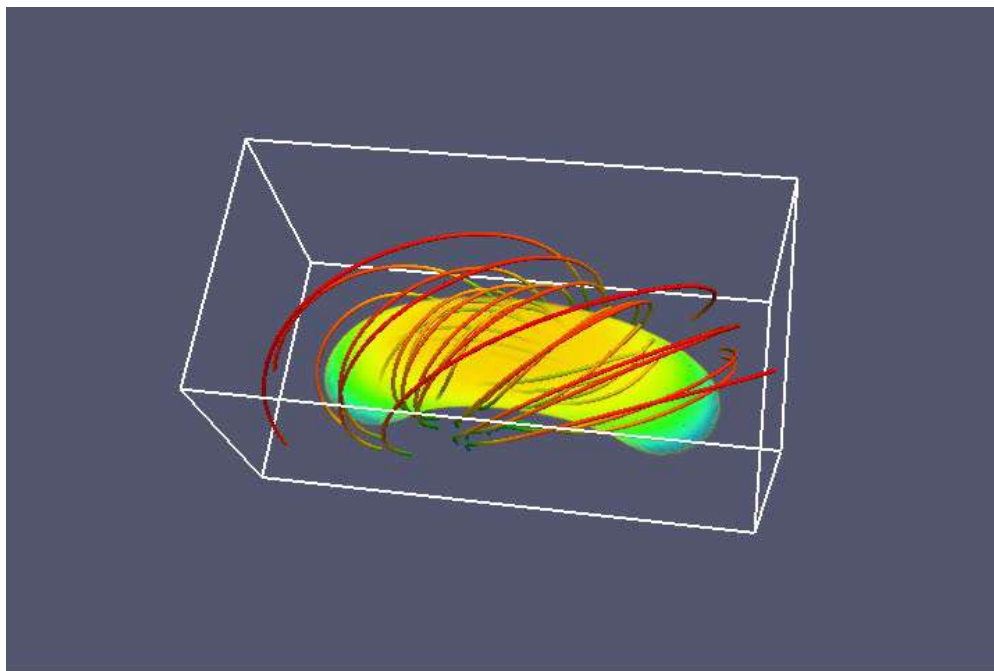
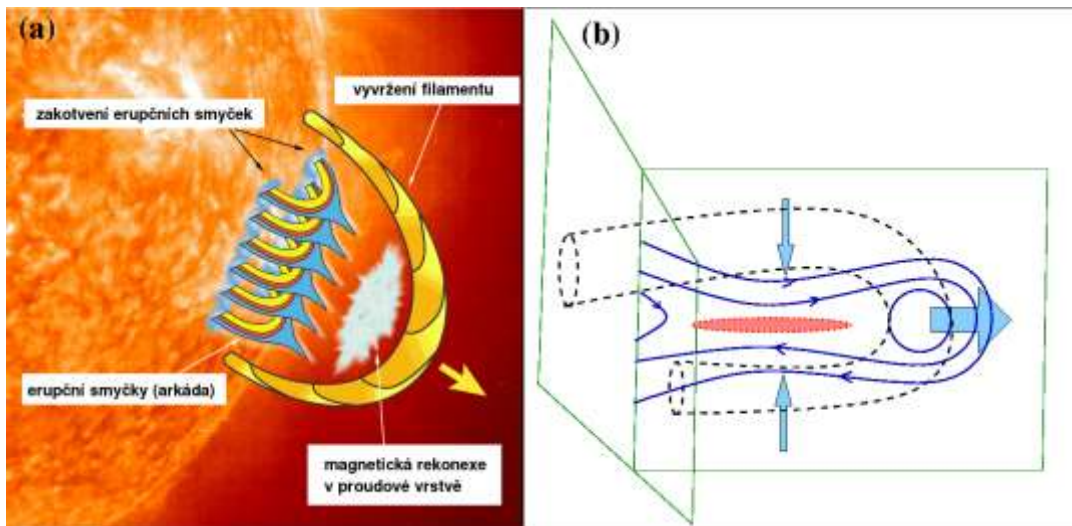


$$\begin{aligned}\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) &= 0 \\ \rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} &= -\nabla p + \mathbf{j} \times \mathbf{B} + \rho \mathbf{g} \\ \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} &= \nabla \times (\mathbf{u} \times \mathbf{B}) - \nabla \times (\eta \mathbf{j}) \\ \frac{\partial U}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{S} &= 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\nabla \times \mathbf{B} &= \mu_0 \mathbf{j} \\ U &= \frac{p}{\gamma - 1} + \frac{1}{2} \rho u^2 + \frac{B^2}{2\mu_0} \\ \mathbf{S} &= \left(U + p + \frac{B^2}{2\mu_0} \right) \mathbf{u} - \frac{(\mathbf{u} \cdot \mathbf{B})}{\mu_0} \mathbf{B} + \frac{\eta}{\mu_0} \mathbf{j} \times \mathbf{B}\end{aligned}$$



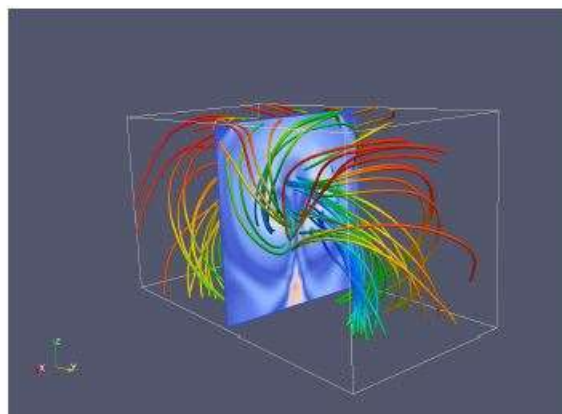
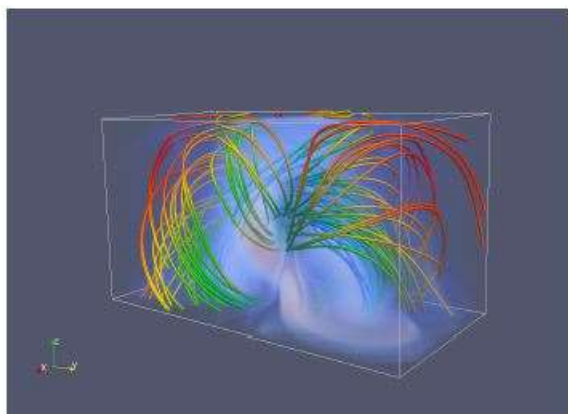
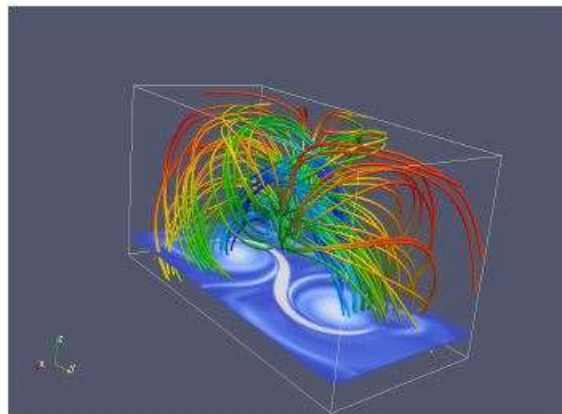
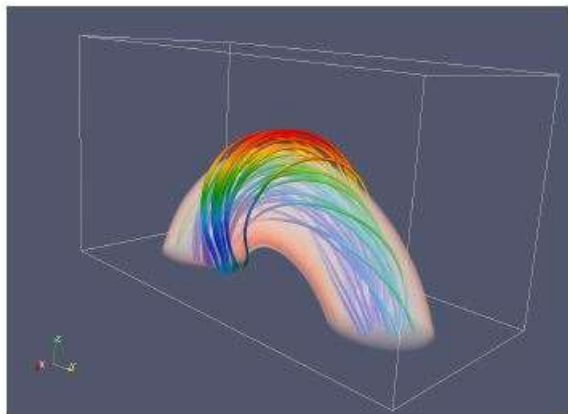
Numerické modelování erupcí: Rekonexe magnetického pole



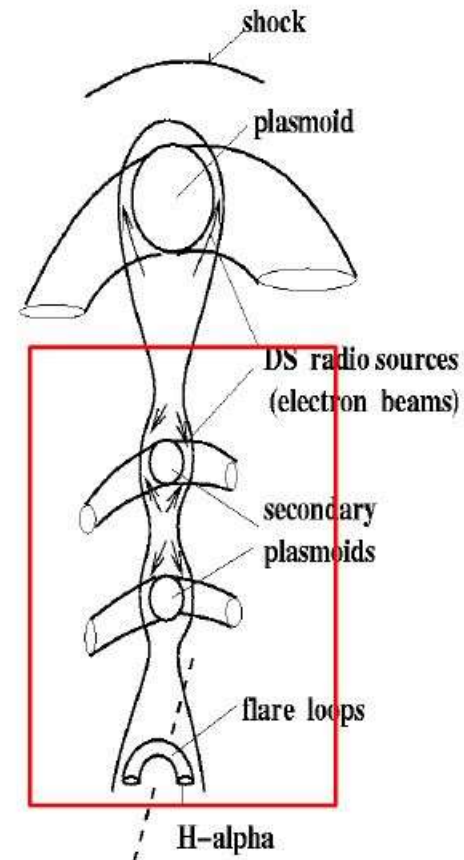
3D low resolution MHD

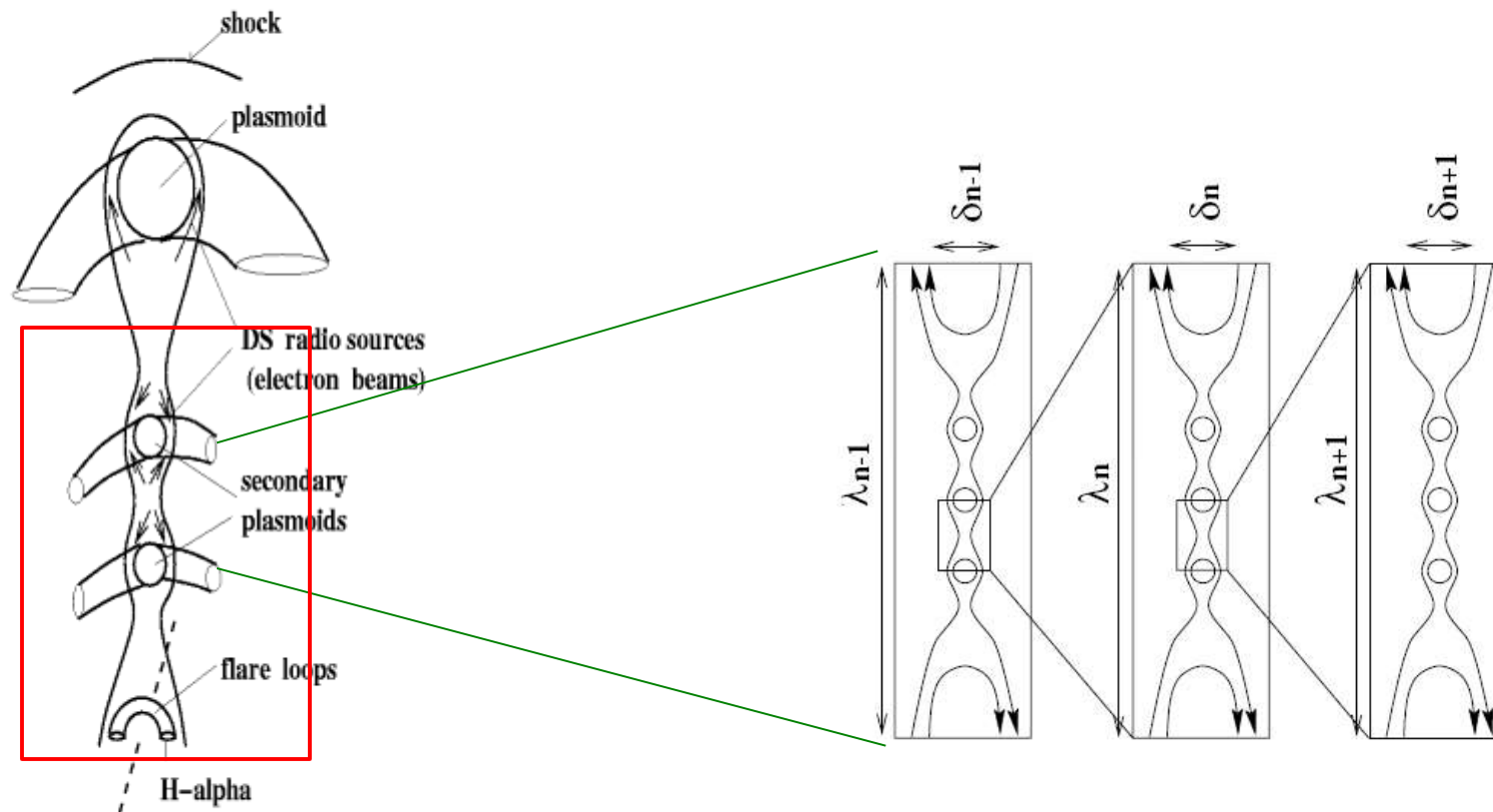
Numerické modelování erupcí: Rekonexe magnetického pole

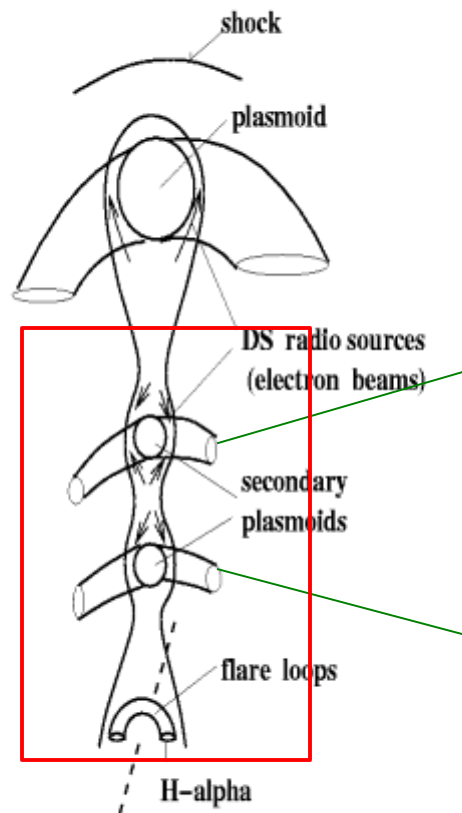
3D low-resolution MHD



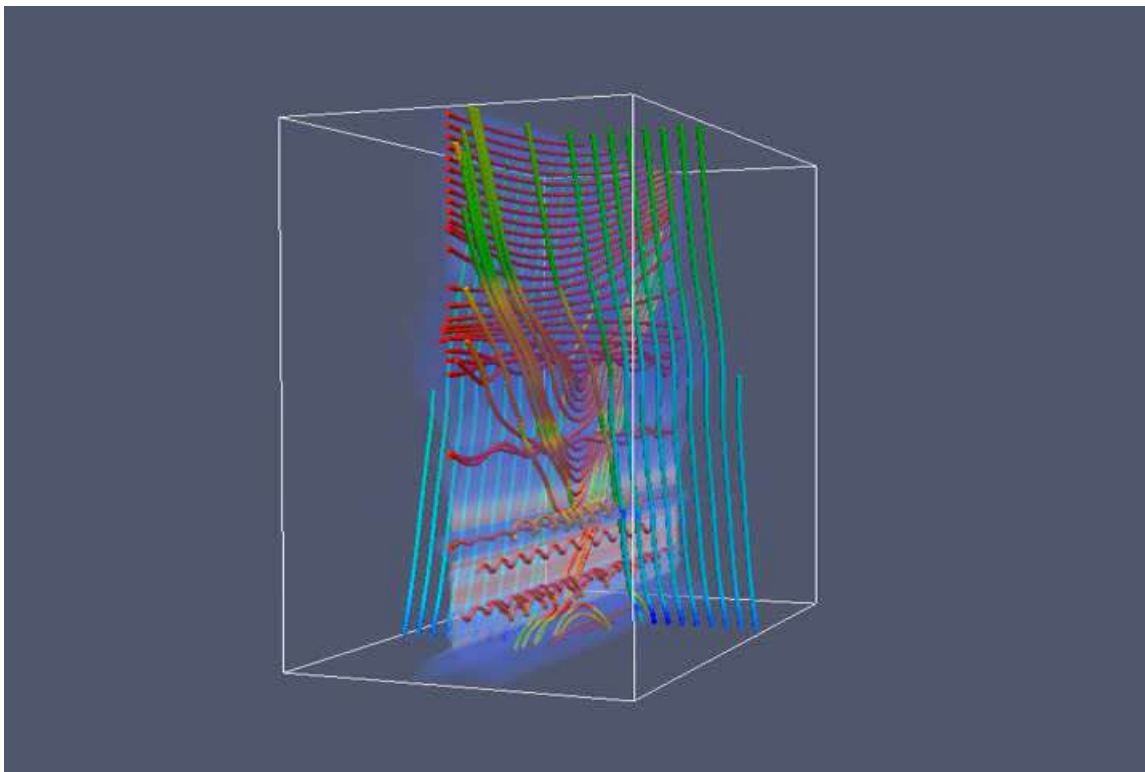
2.5D high-resolution MHD



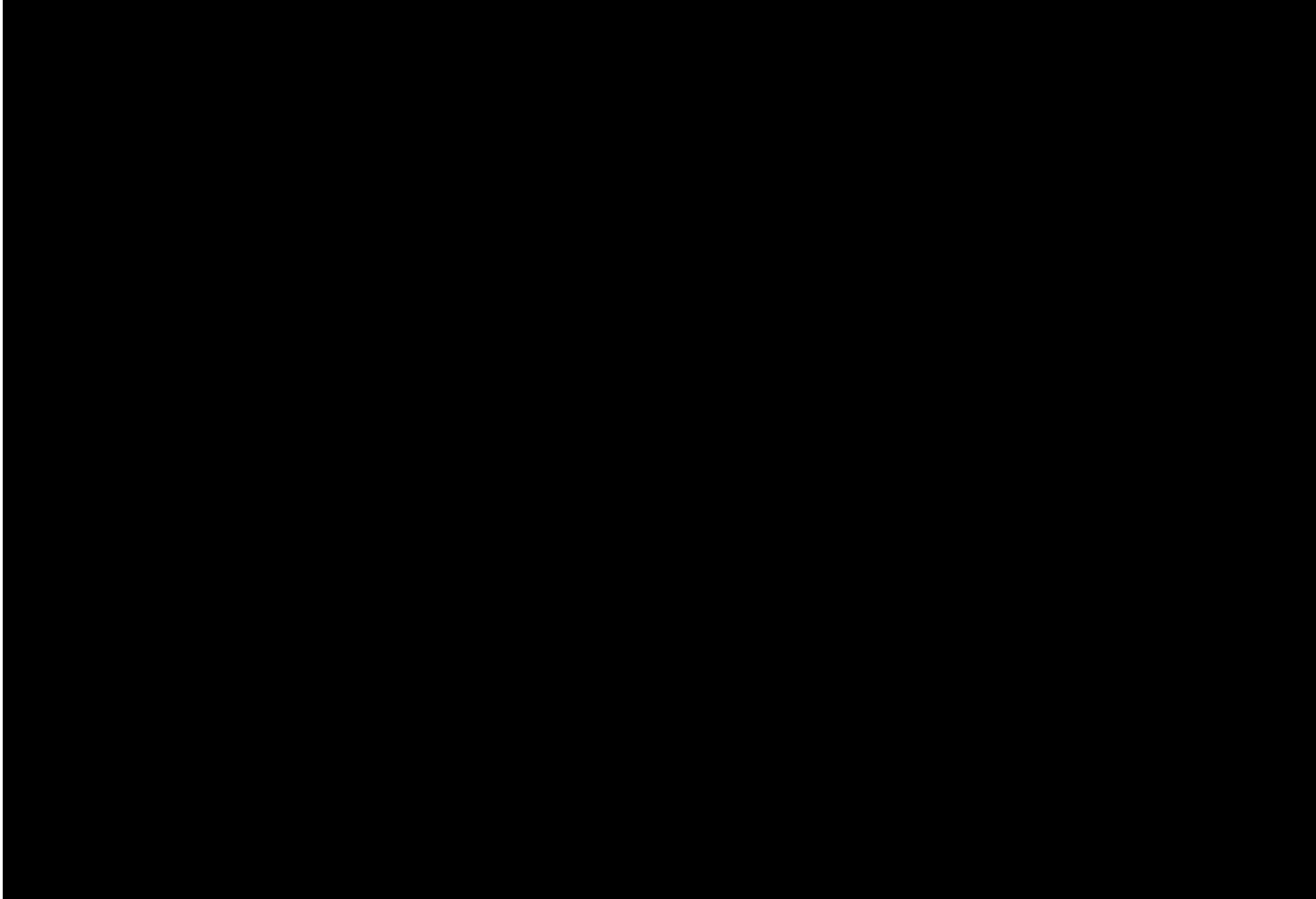




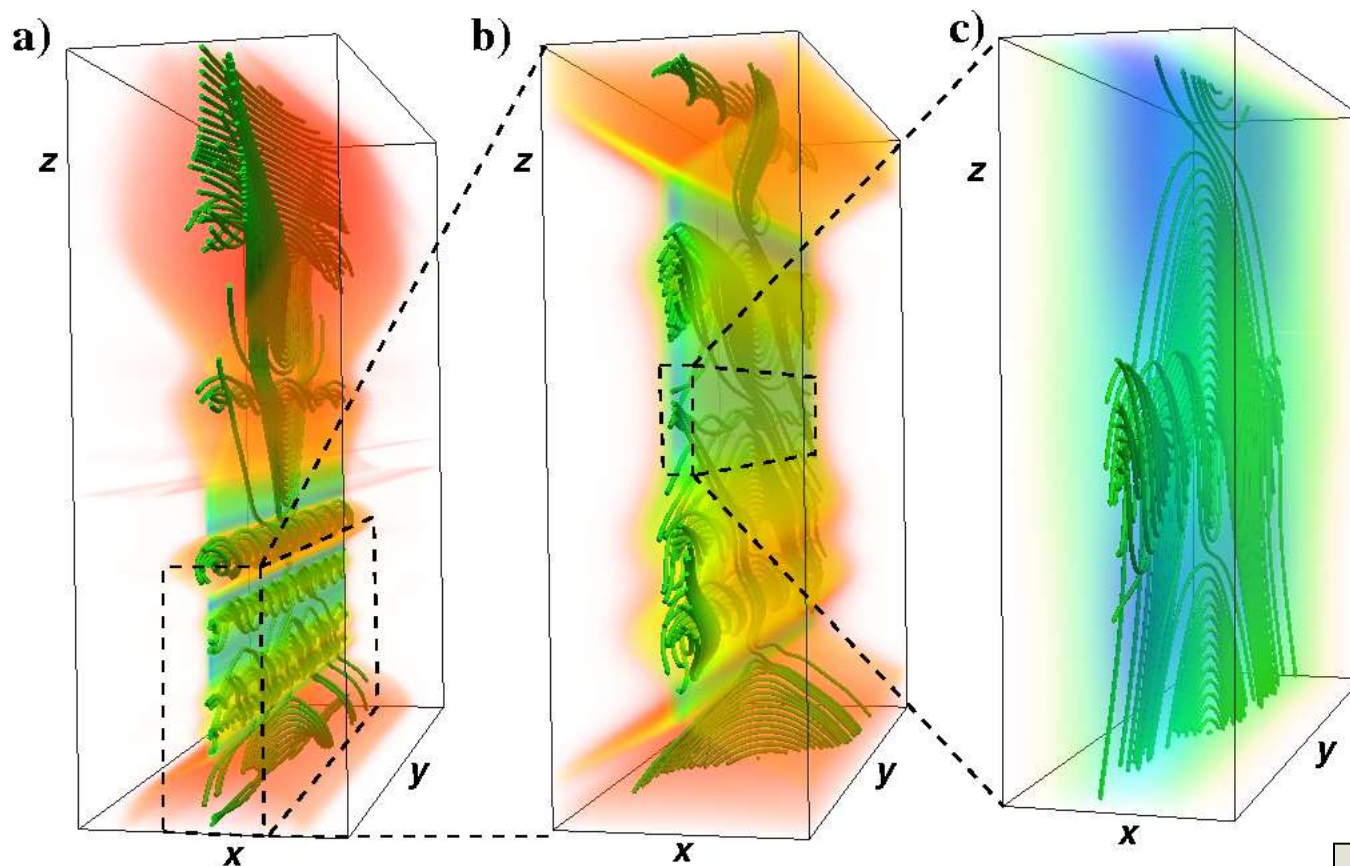
Výsledky



Výsledky

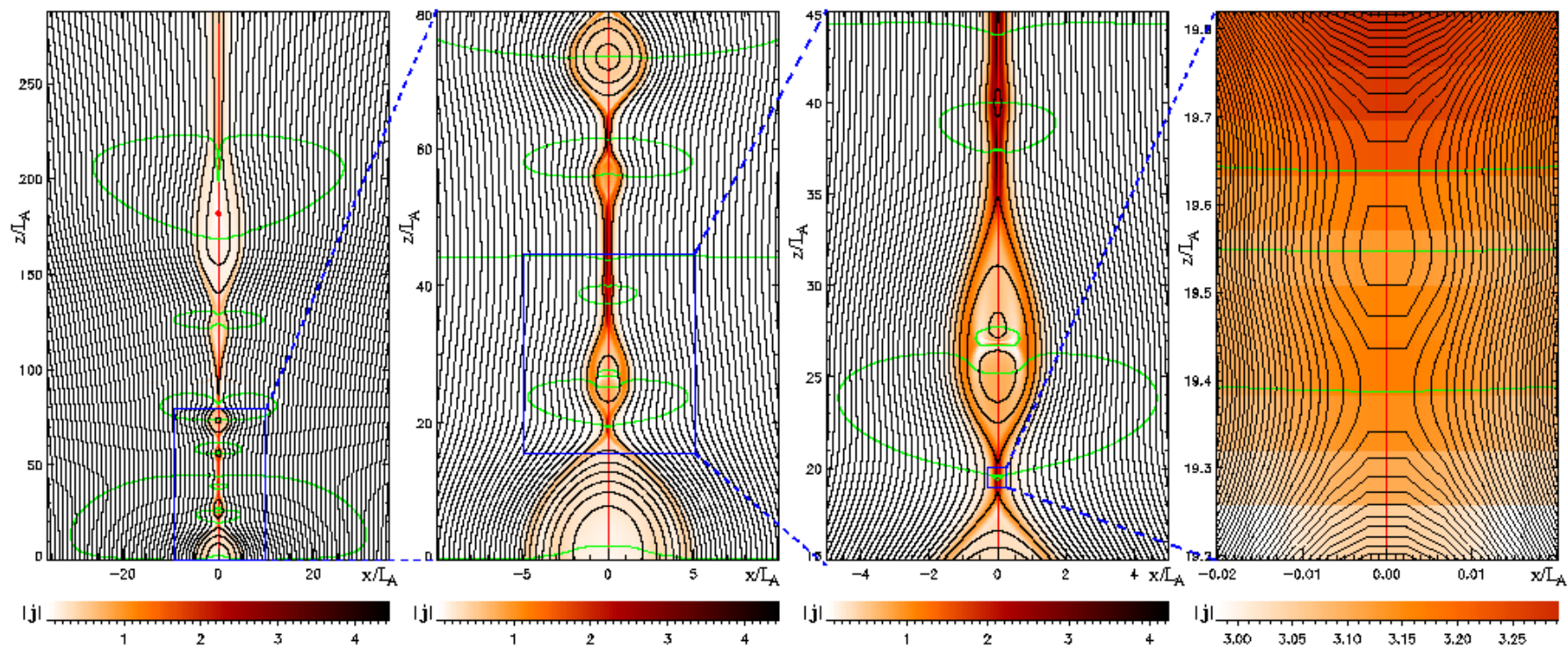


Výsledky



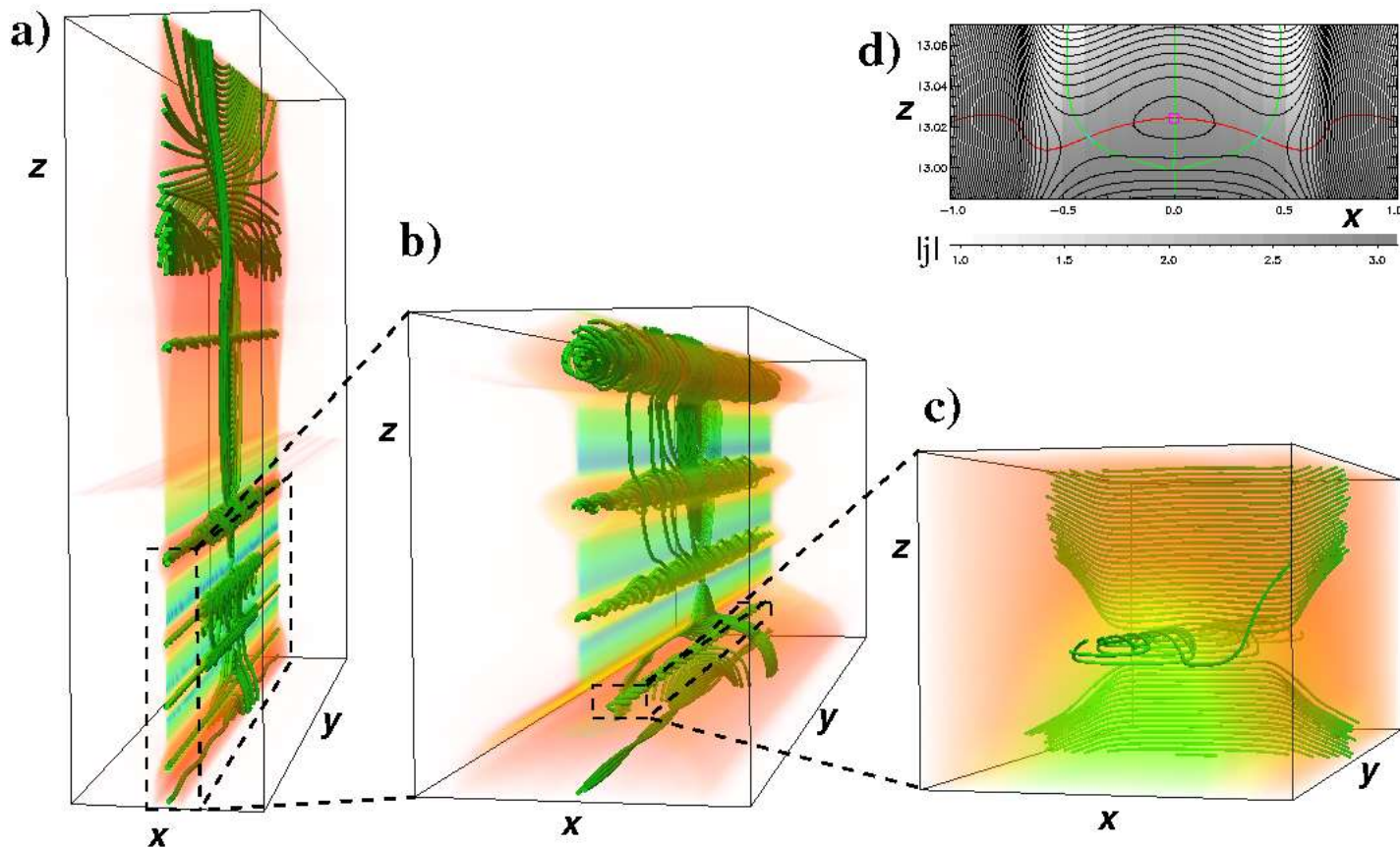
Bárta et al., ApJ (2011a)

Výsledky



Bárta et al., ApJ (2011a)

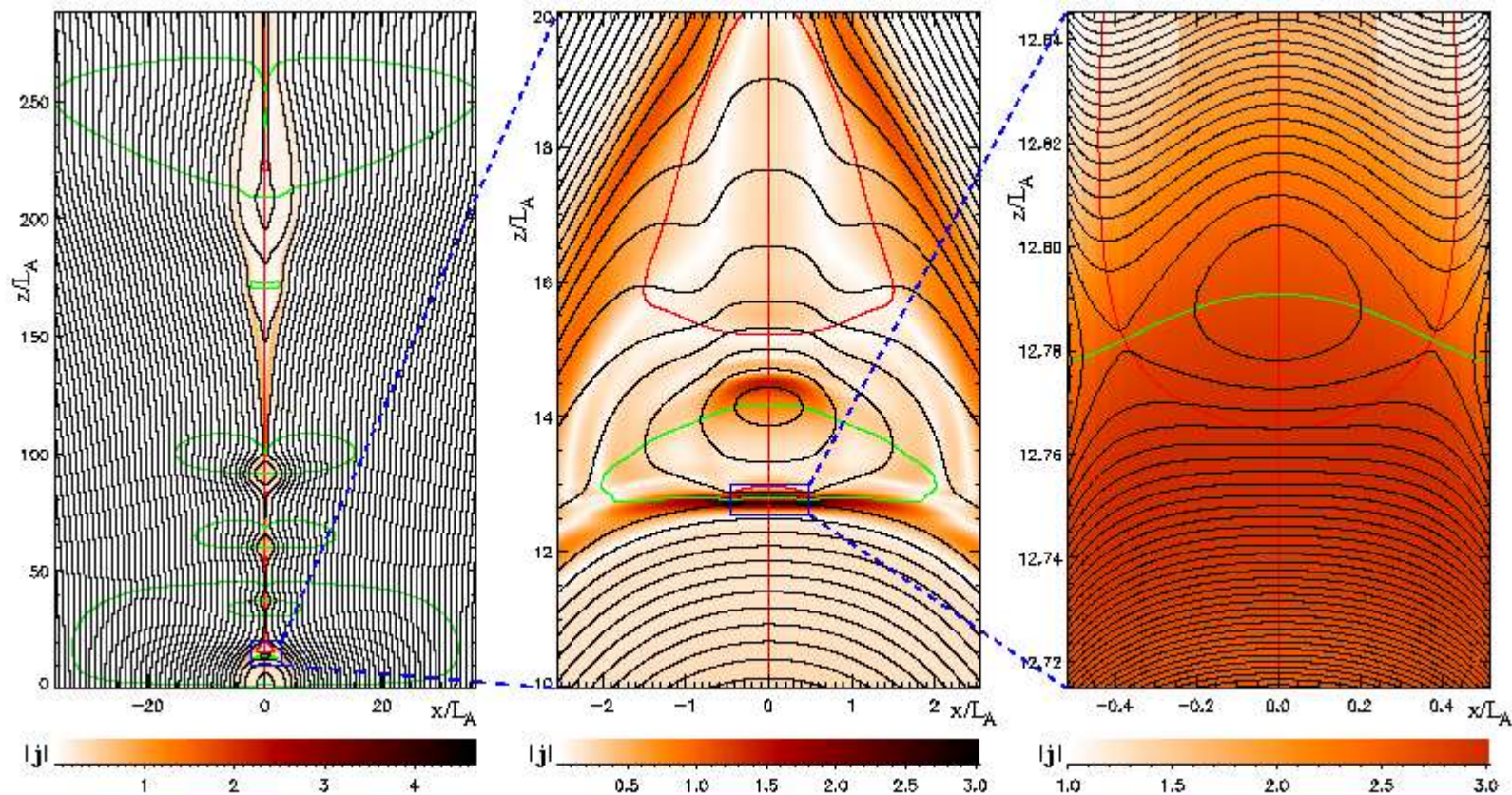
Výsledky



I spojování plasmoidů vede ke fragmentaci proudové hustoty!

Numerické modelování erupcí: Rekonexe magnetického pole

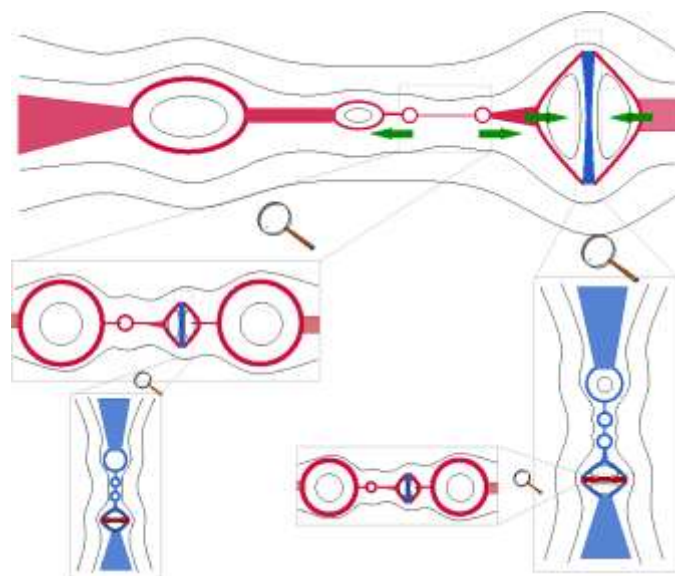
Výsledky



I spojování plasmoidů vede ke fragmentaci proudové hustoty!

Bárta et al., ApJ (2011a)

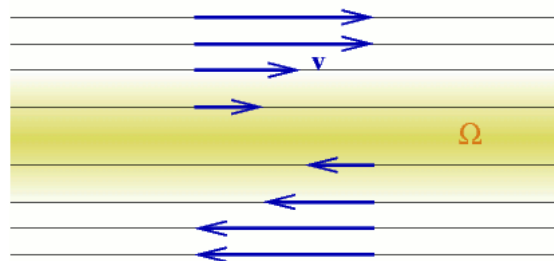
Rekonexe magnetického pole: Nový pohled



Incompressible FD: Sheared Flow

$$\text{rot } \mathbf{v} = \Omega$$

$$\text{div } \mathbf{v} = 0$$

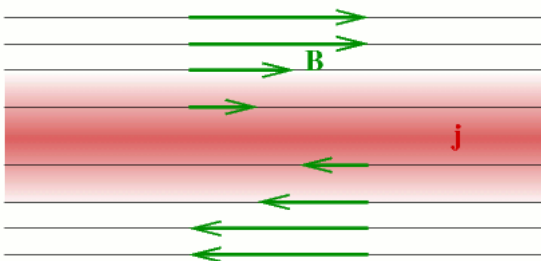


Cascade of vortices.

MHD: Current Layer

$$\text{rot } \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{j}$$

$$\text{div } \mathbf{B} = 0$$



Cascade of plasmoids?

Rekonexe magnetického pole: Nový pohled

Podrobněji v:



M. Bárta, M. Karlický: *Energetické kaskády v rekonexi magnetického pole I,II*, Astropis 1/2012 a 2/2012

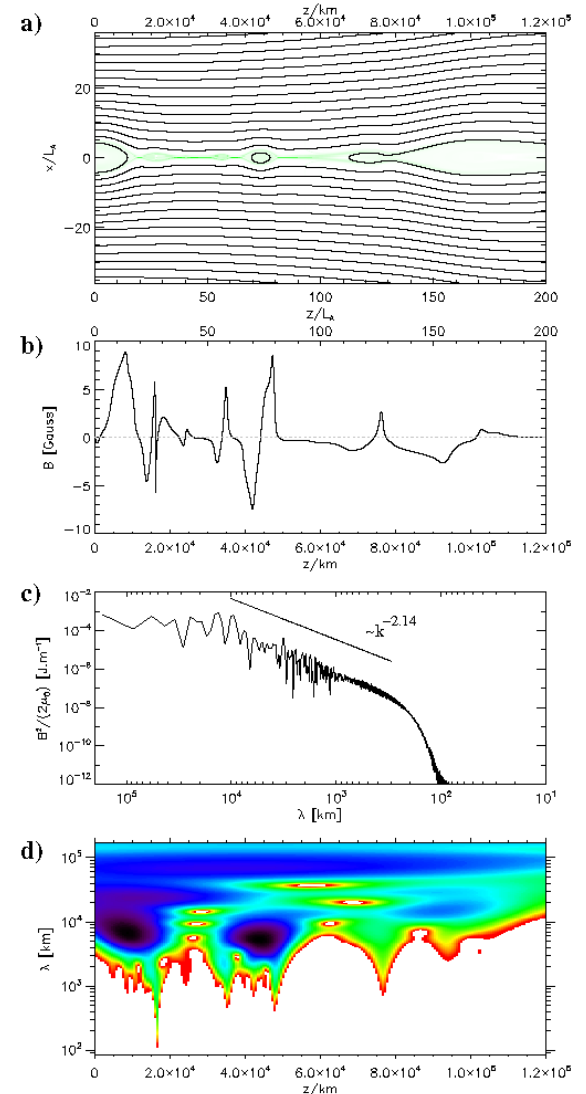
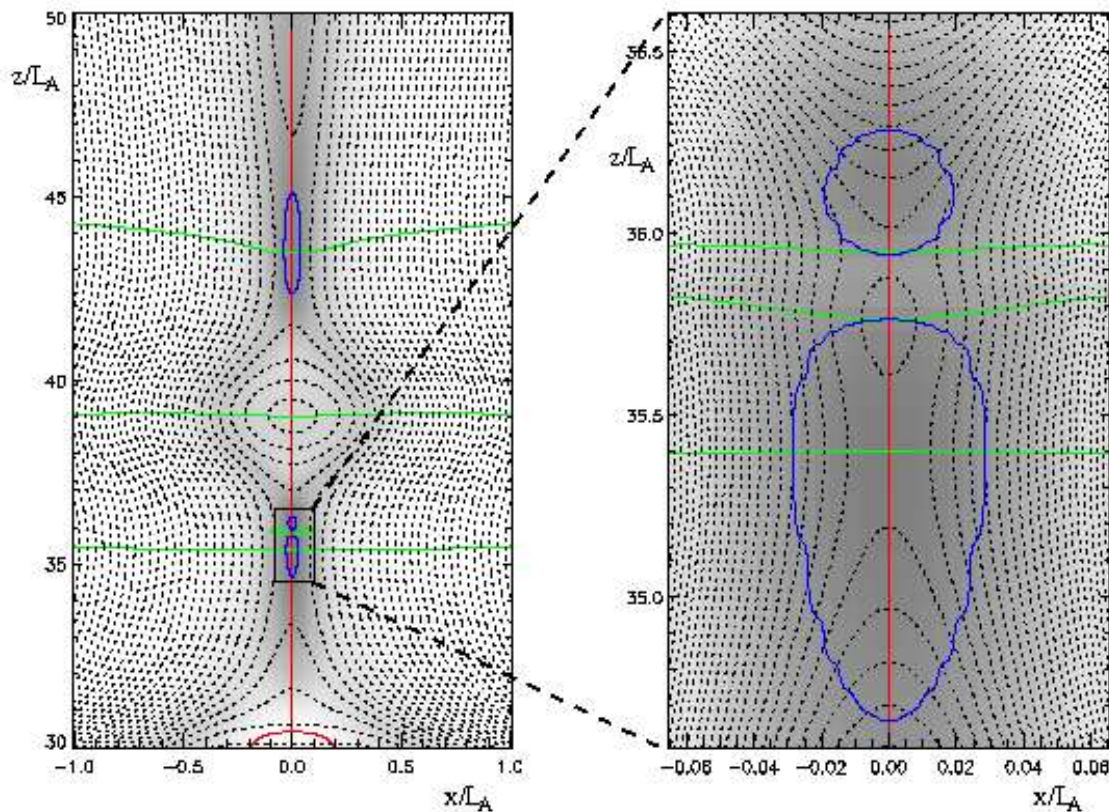


M. Karlický, M. Bárta: *Sluneční erupce*, Vesmír 10/2013

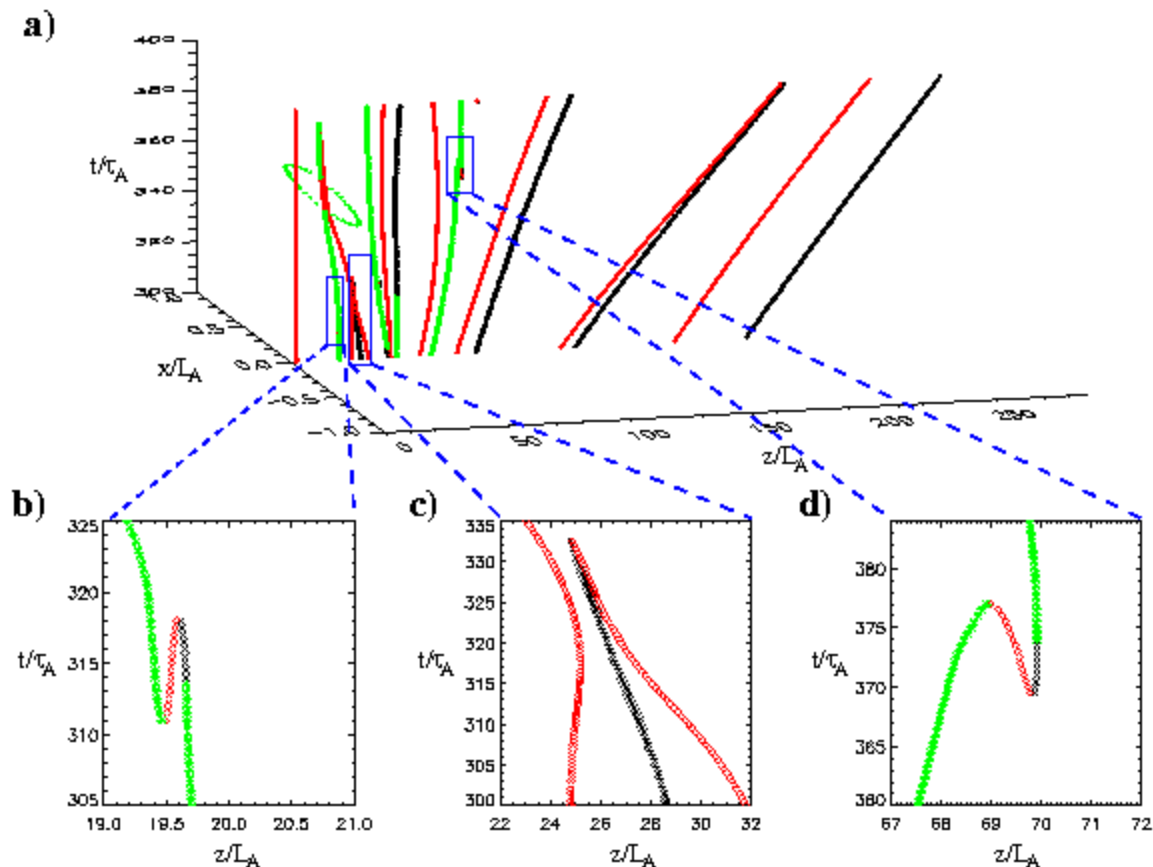
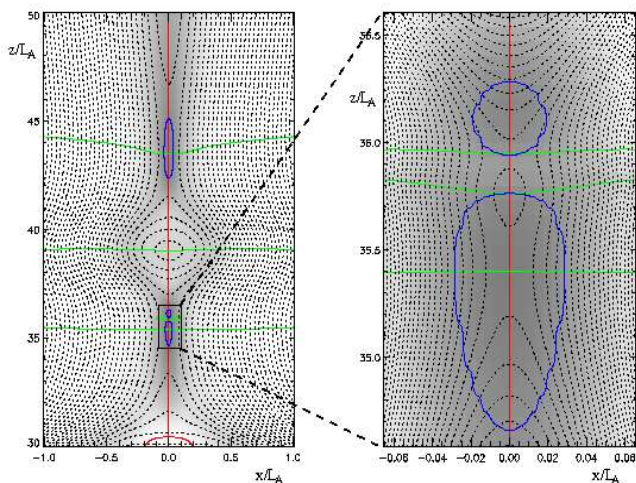
http://wave.asu.cas.cz/barta/pub/czech/kaskady_v_rekonexi/

Krásná teorie, že?
Jestli pak o ní ví i Sluníčko...

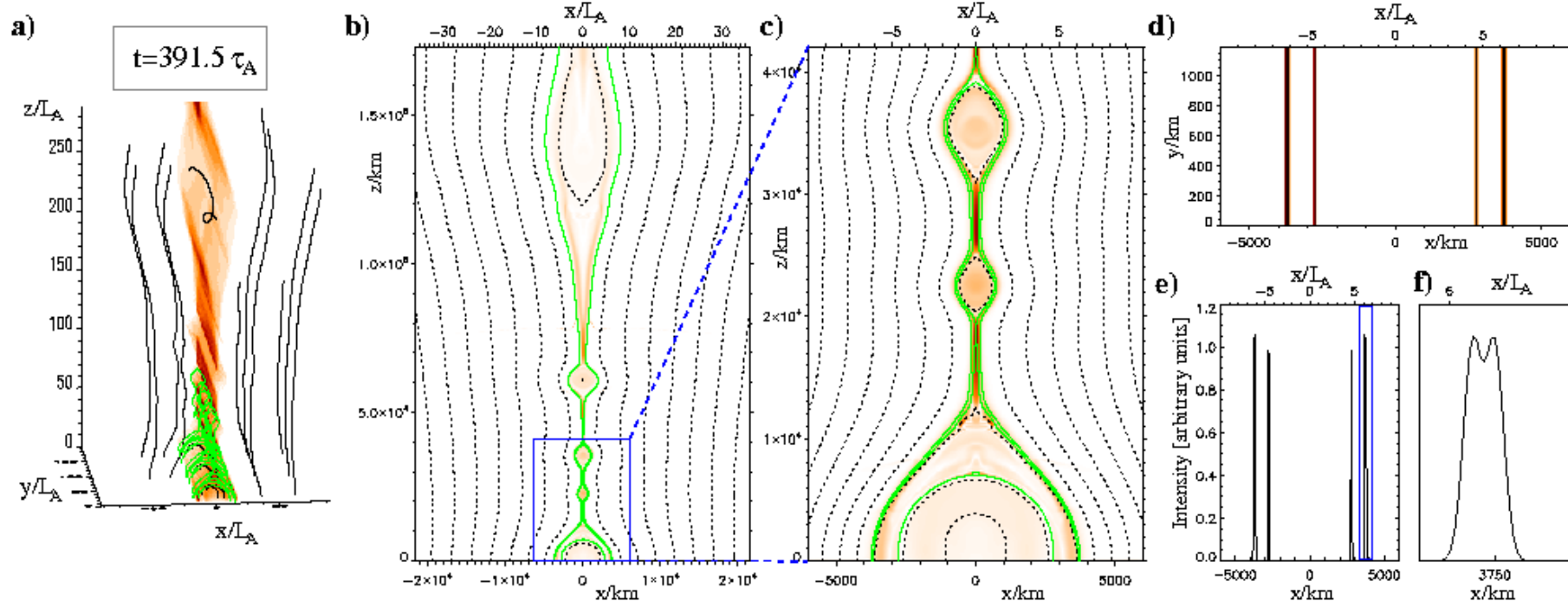
Fragmentární uvolnění energie & urychlování částic



Strukturace chromosférických erupčních vláken

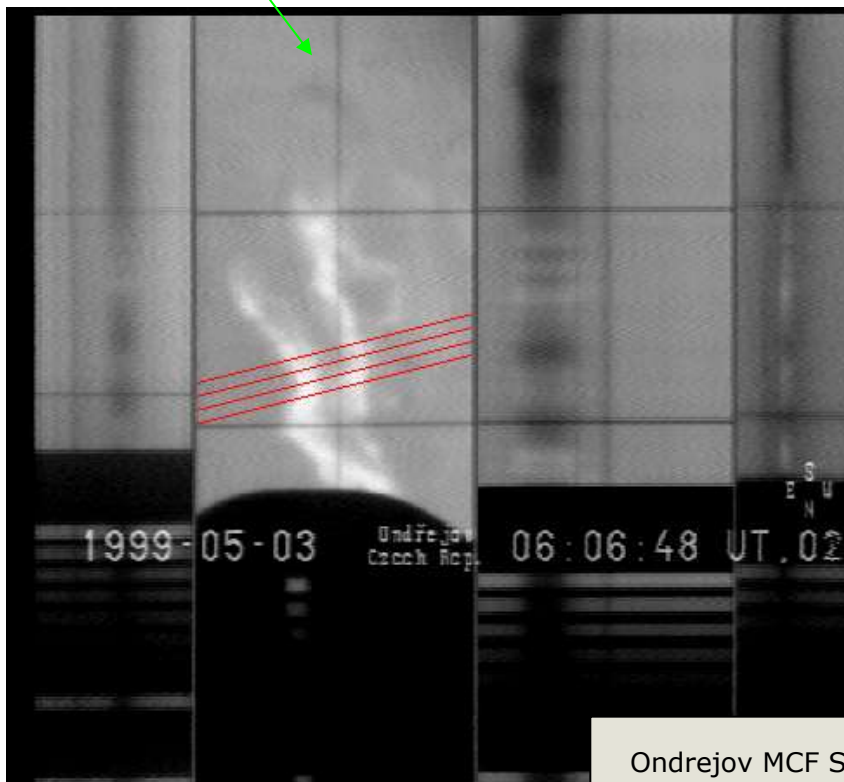


Strukturace chromosférických erupčních vláken

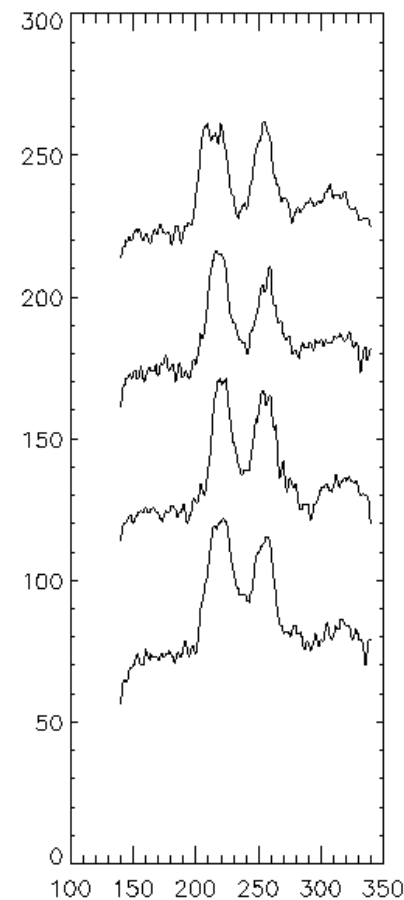


Strukturace chromosférických erupčních vláken

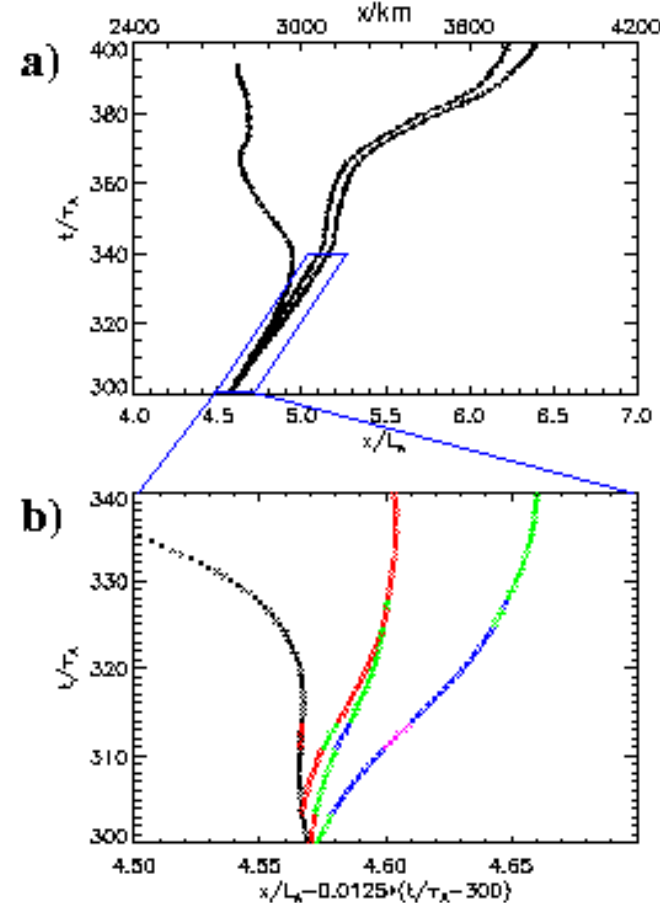
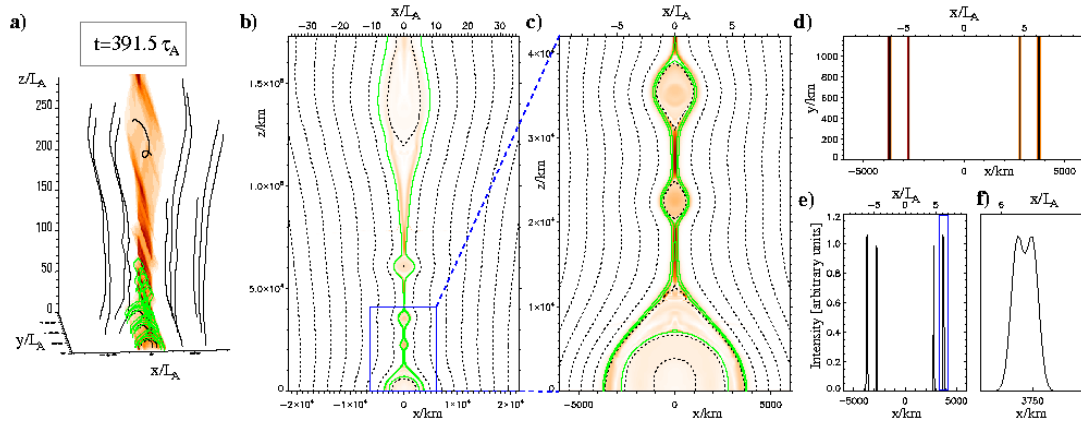
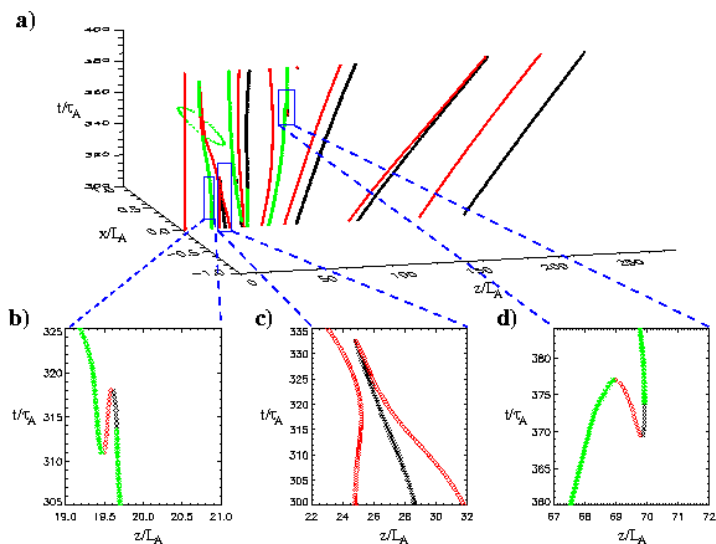
Plasmoid?



Ondřejov MCF Spectrograph,
Kotrč, 2009

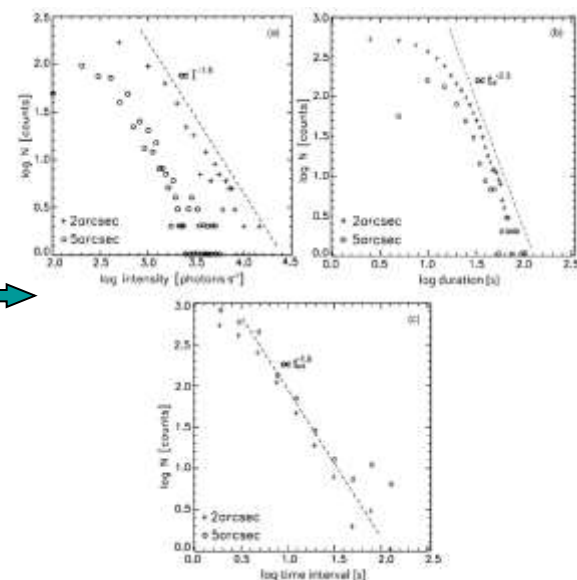
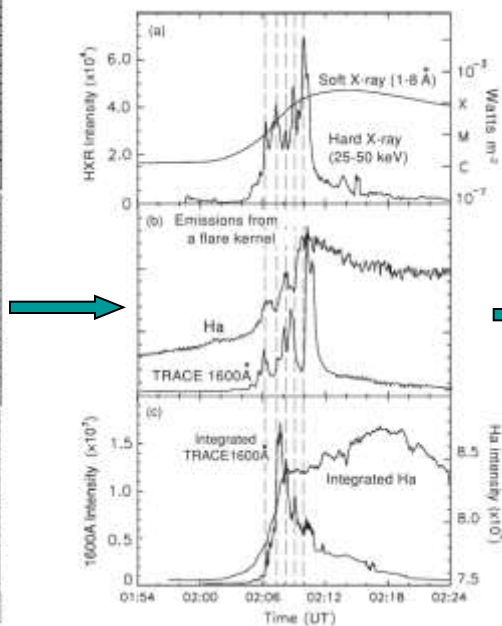
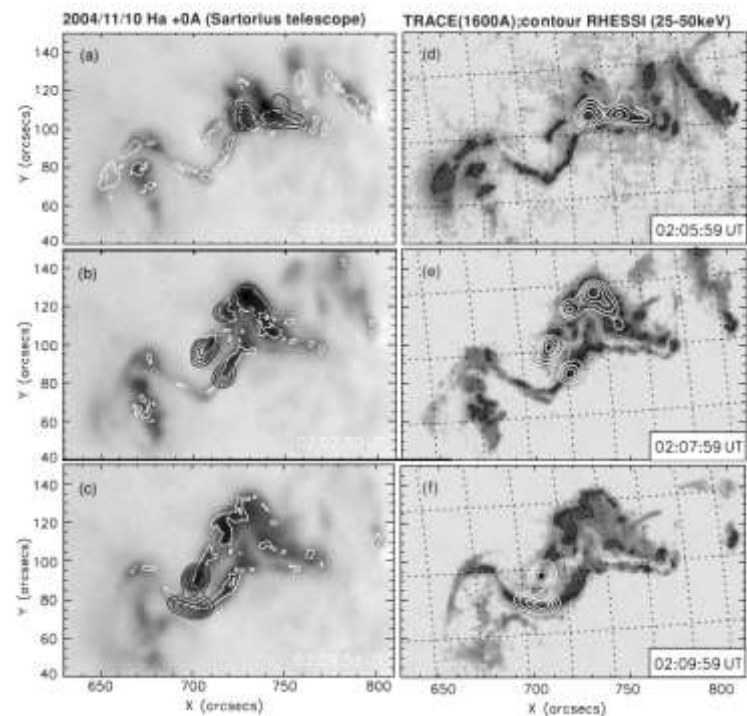


Strukturace chromosférických erupčních vláken



Strukturace chromosférických erupčních vláken

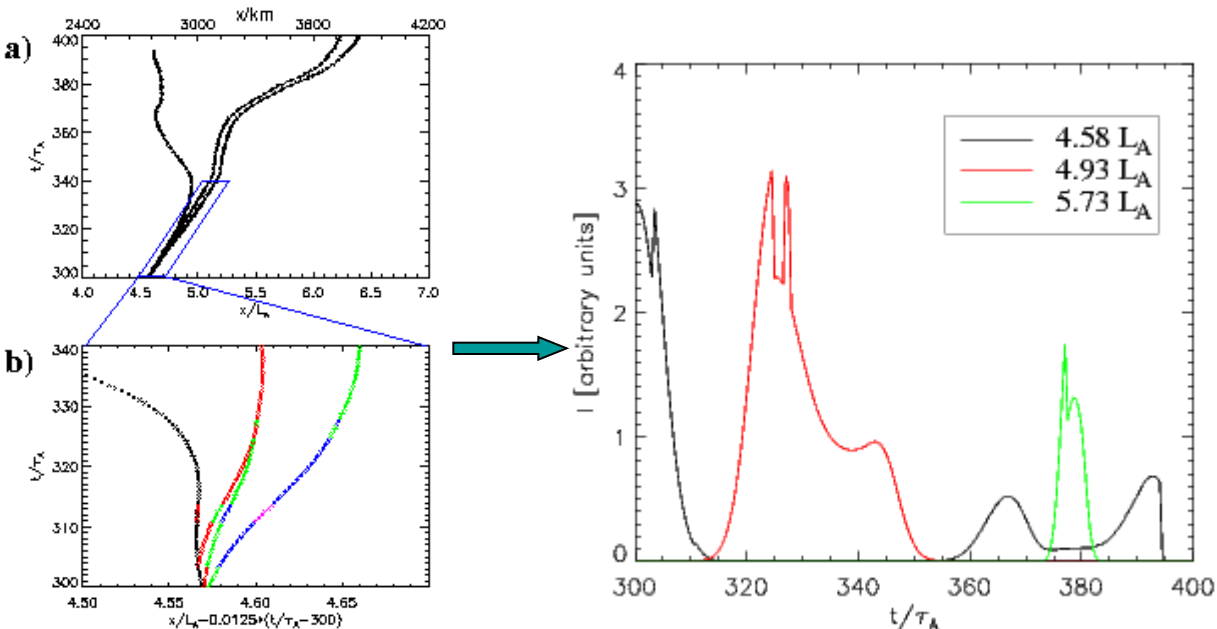
Pozorování



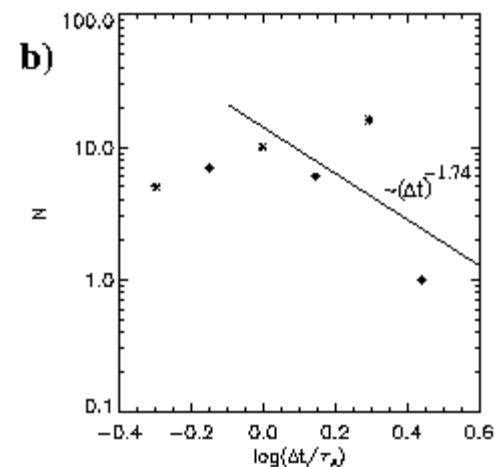
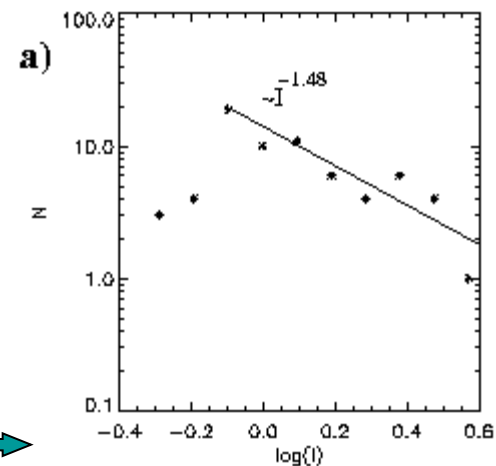
Nishizuka et al., 2009

Strukturace chromosférických erupčních vláken

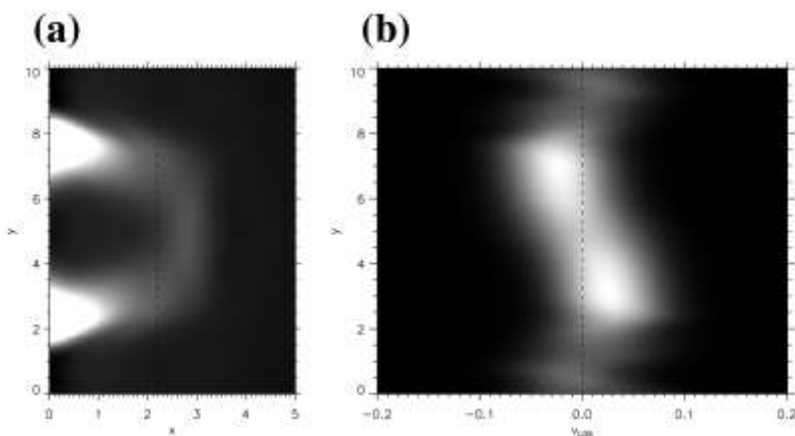
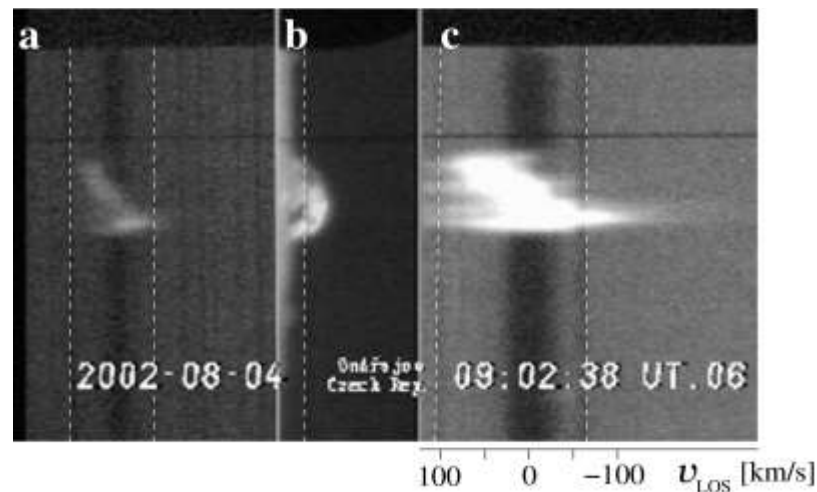
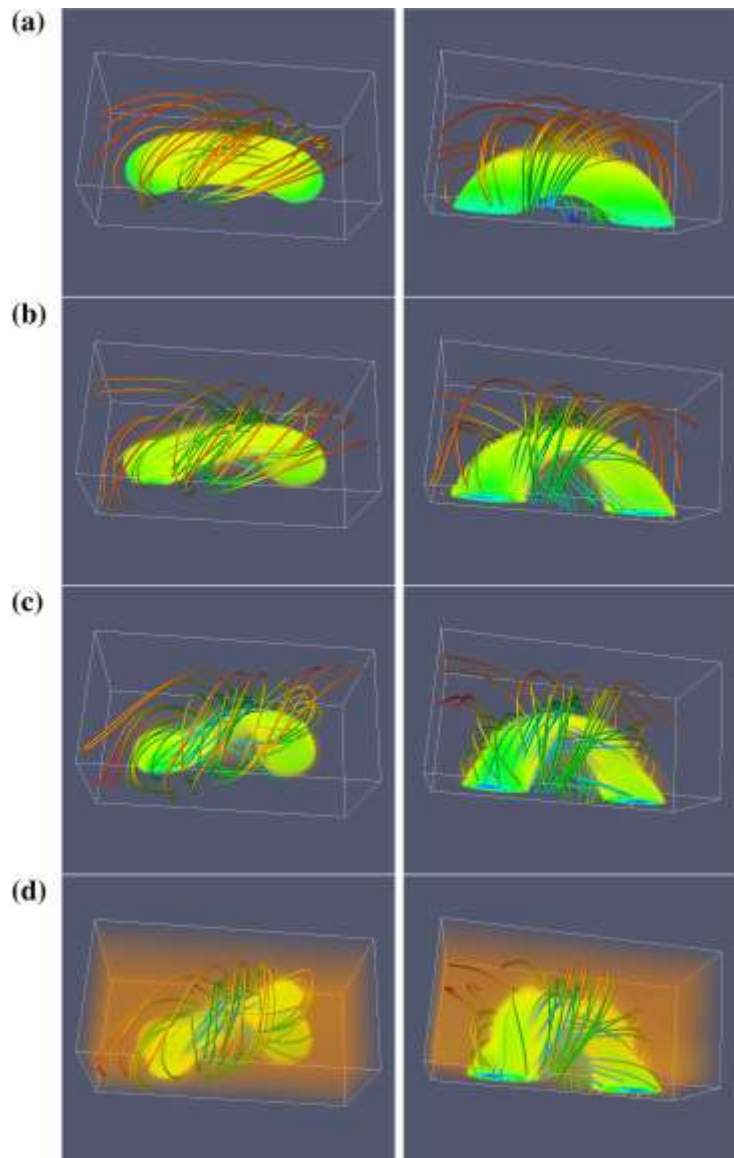
Model



Bárta et al., ApJ (2011b)

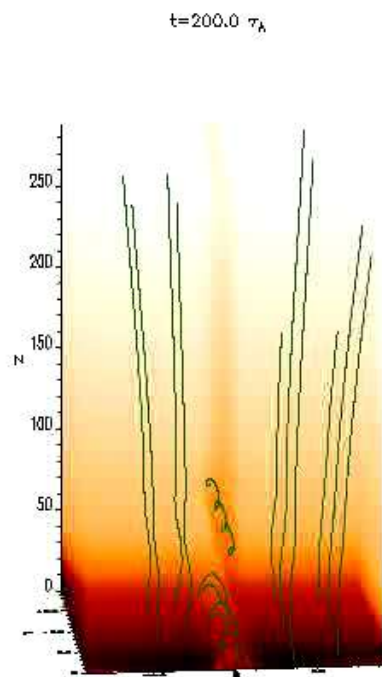


Počáteční fáze erupce protuberance

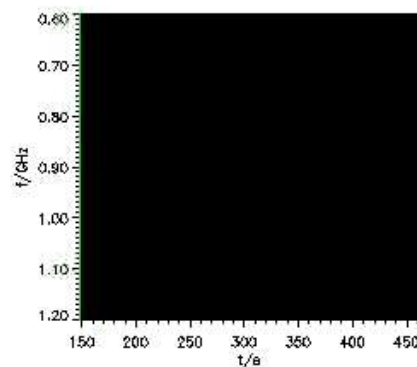
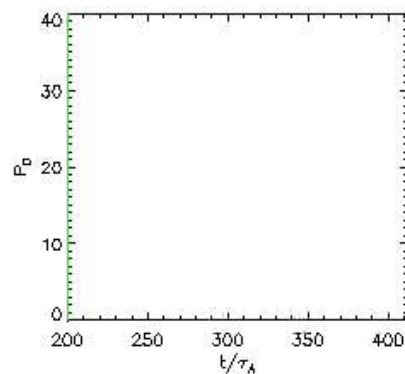


Kotrč et al., SPh (2012)

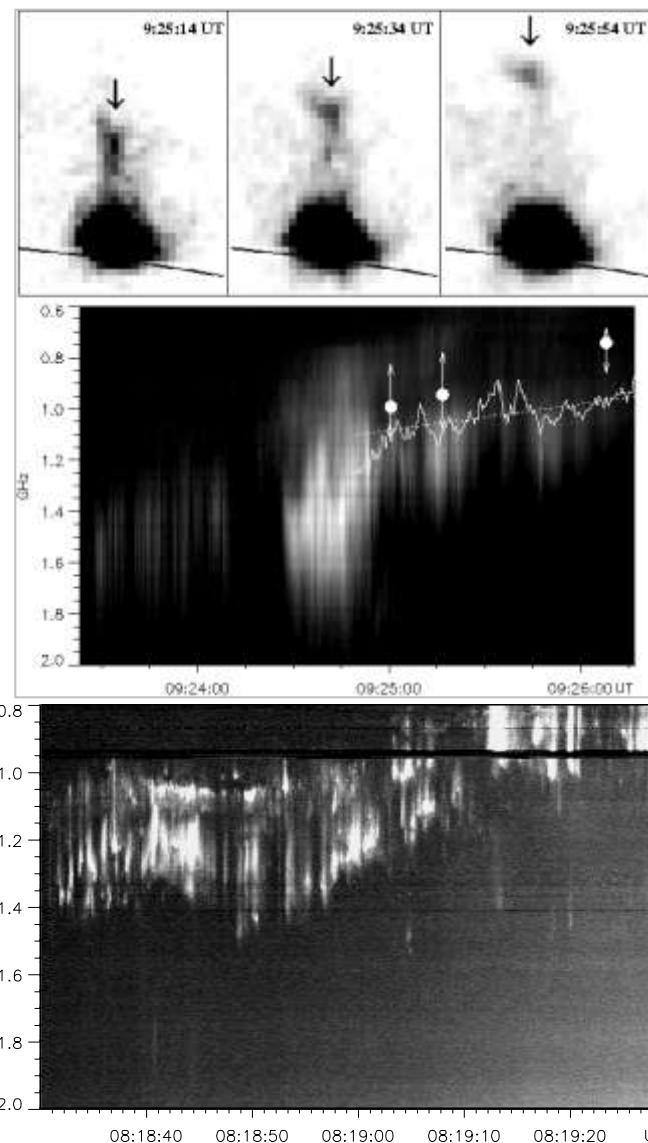
Radiové záření z unikajícího plasmoidu



Bárta & Karlický, 2007



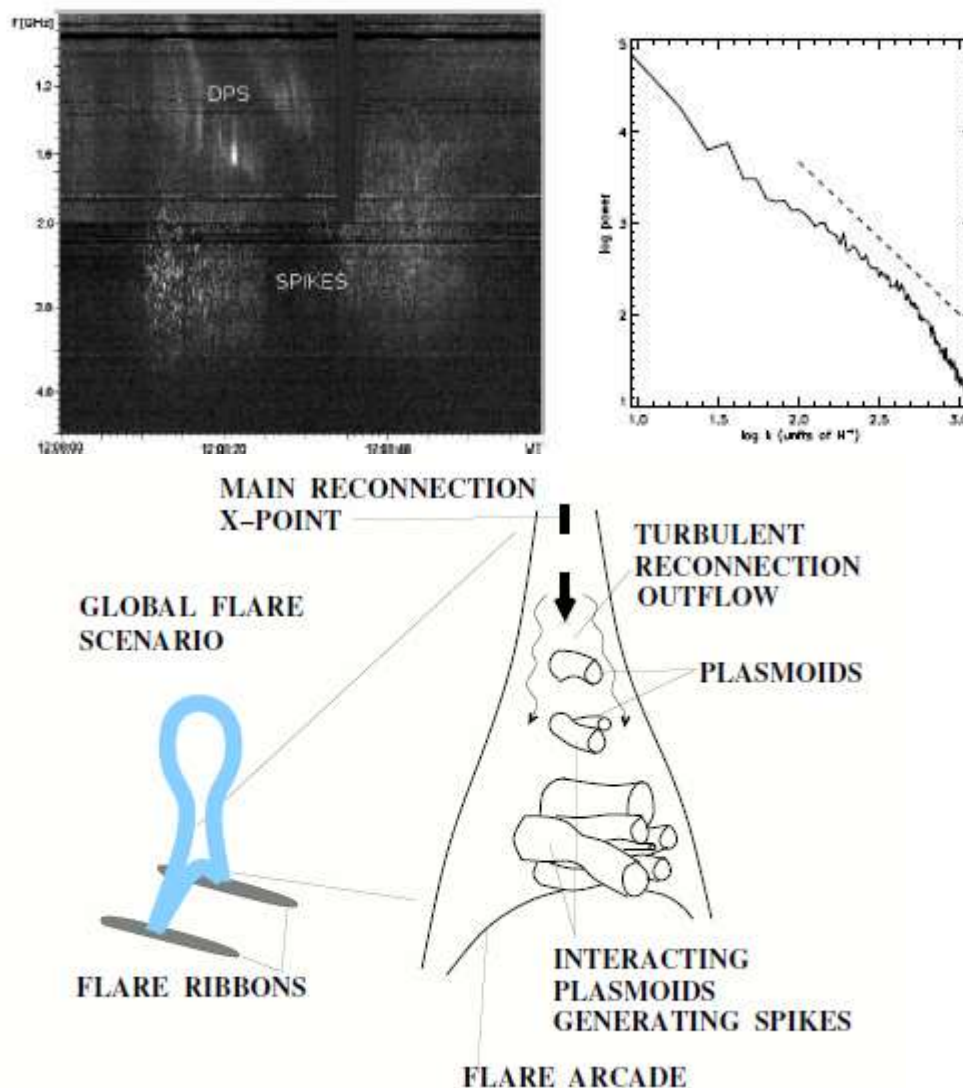
Bárta et al., SPh (2008)



Interakce plasmoidů mnoha škál a její radiová emise

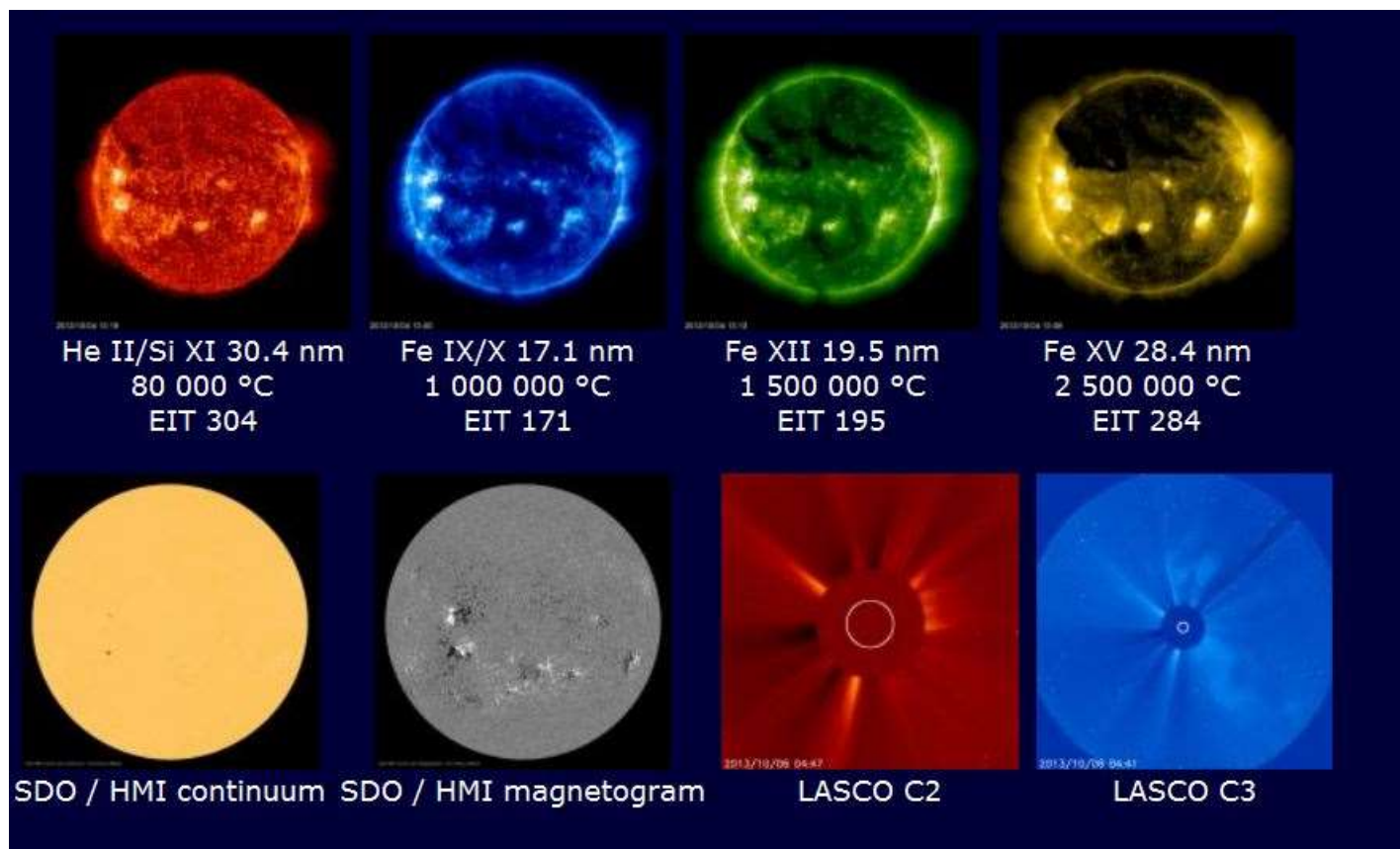
Decimetric spikes:
Signature of turbulent plasmoid merging?

Karlický et al., CEAB (2012)



Jak mohou přispět „amatéři“?
Několik námětů...

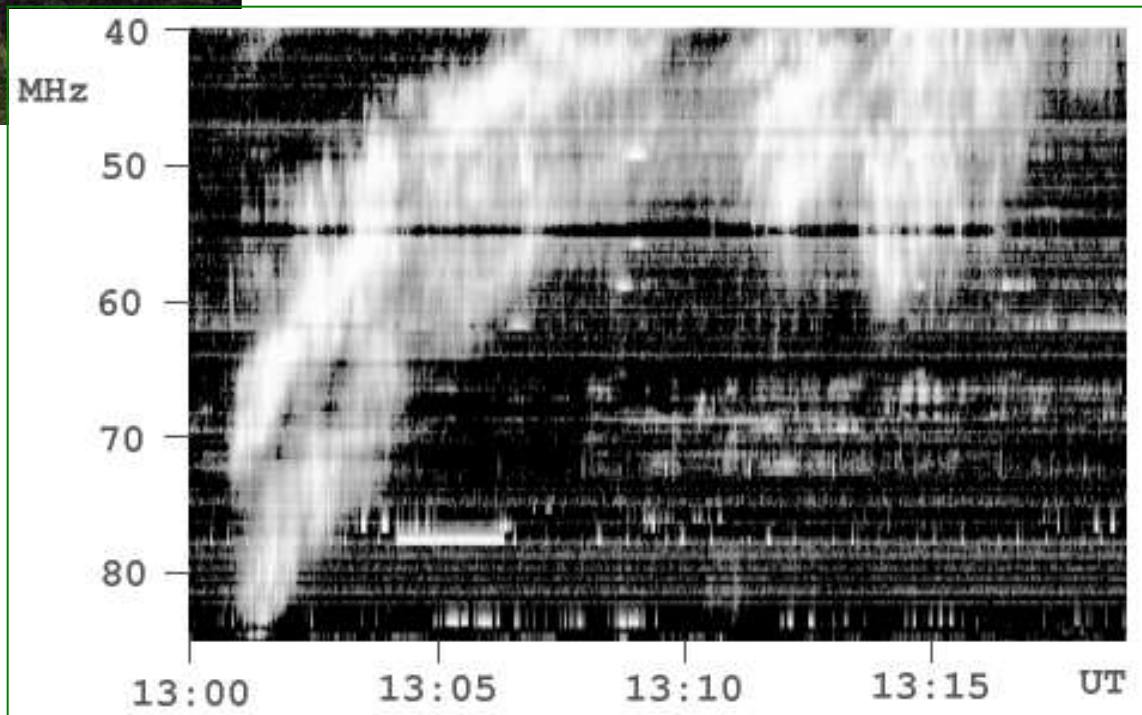
Diagnostika slunečních eruptivních procesů pomocí družicových dat



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

■ Pomocí SW balíku SolarSoft (nutný předpoklad: instalace IDL)

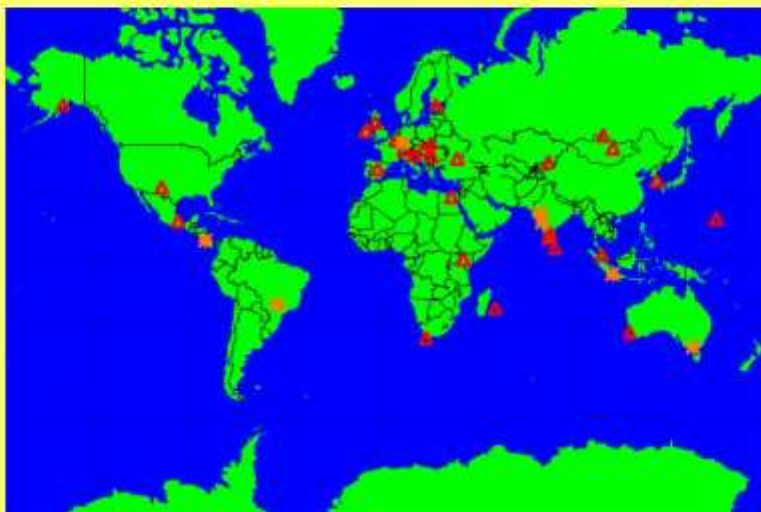
Sluneční dynamická radiová spektra



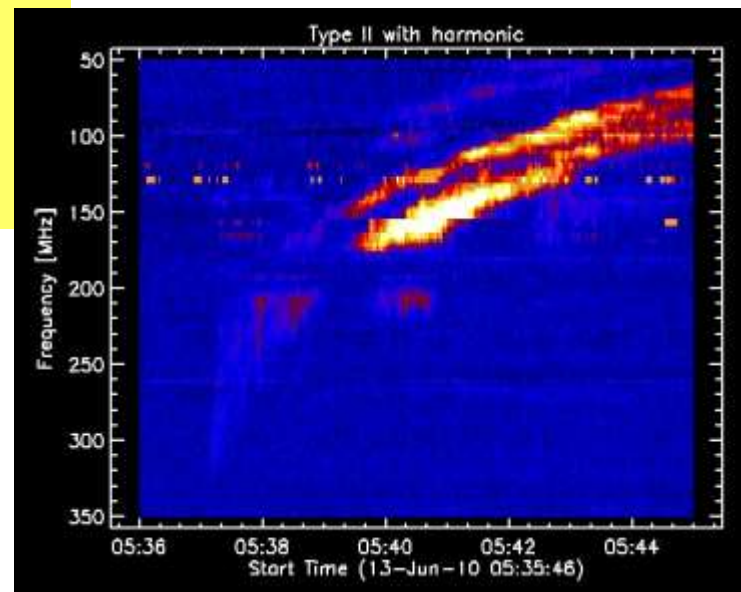
Sluneční dynamická radiová spektra

e-Callisto

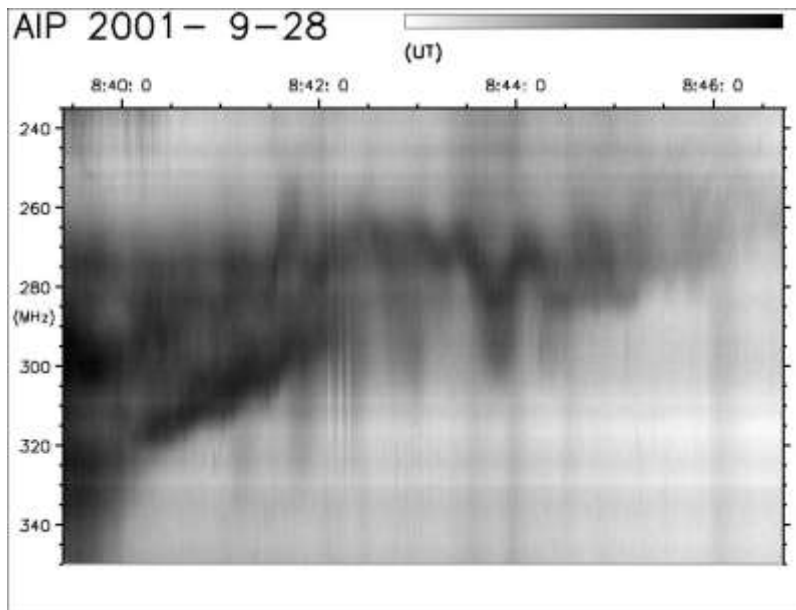
International Network of Solar Radio Spectrometers

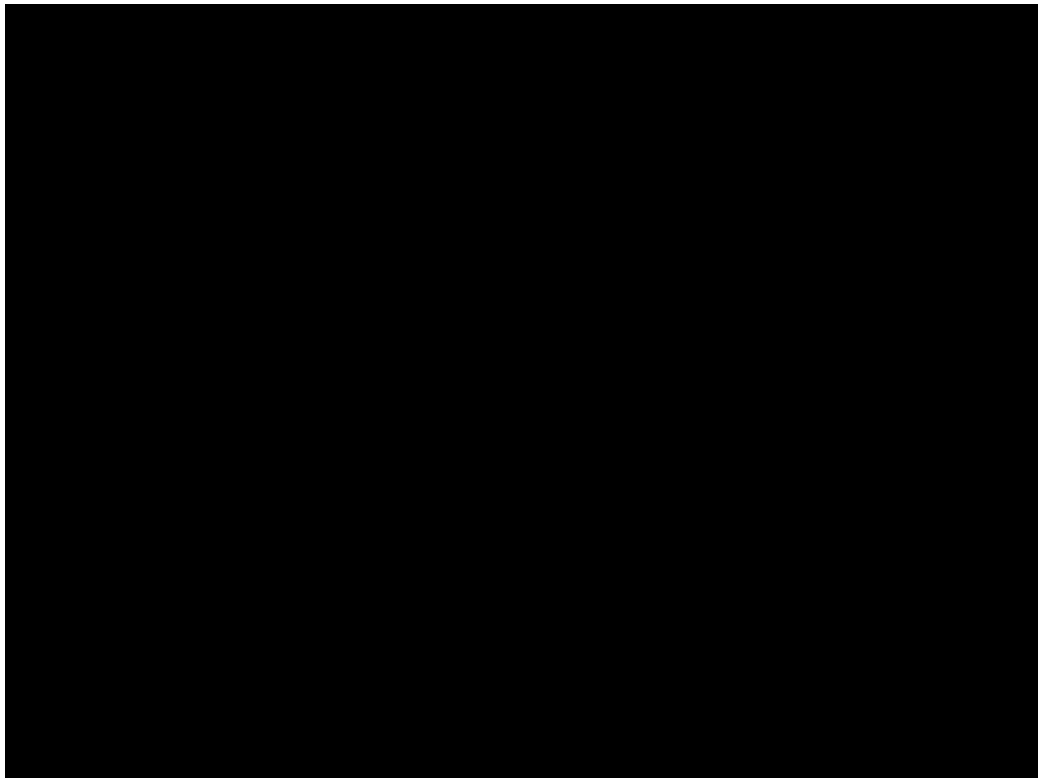
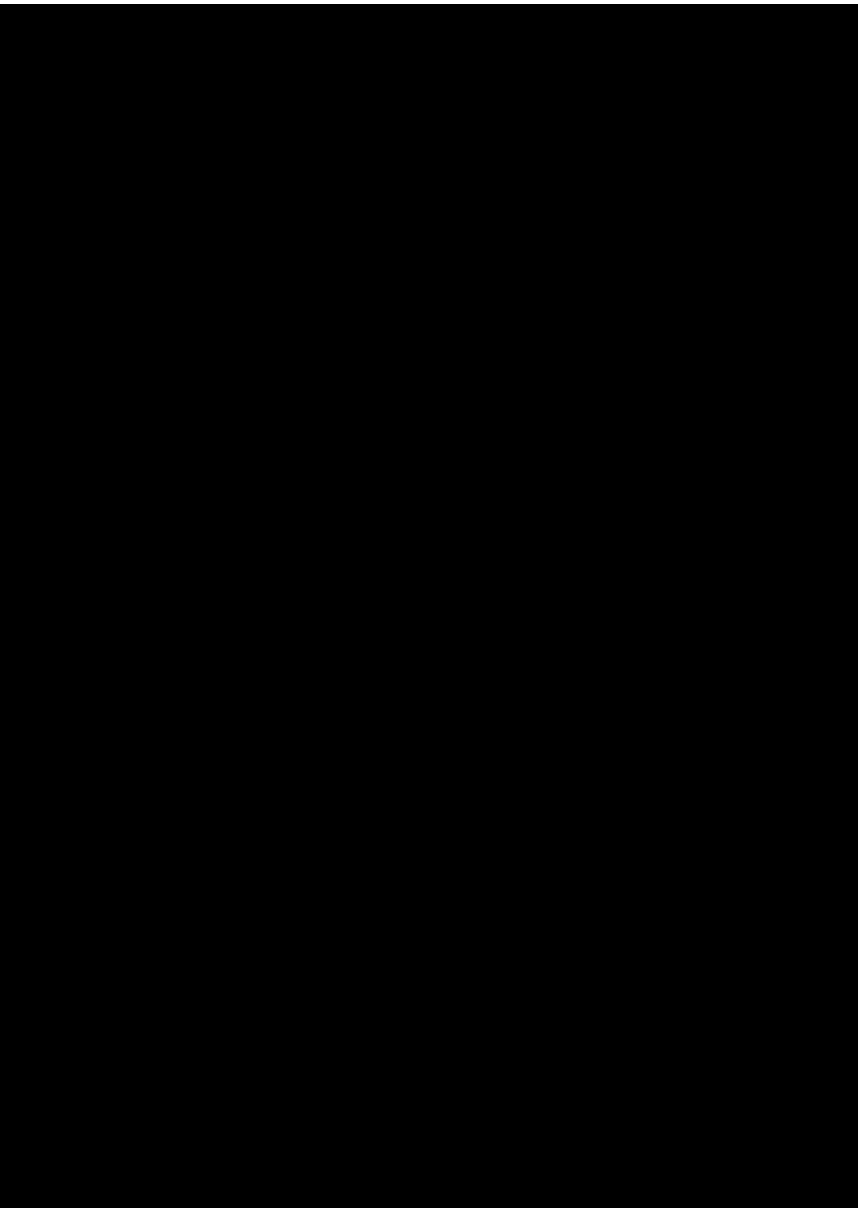


<http://www.e-callisto.org>



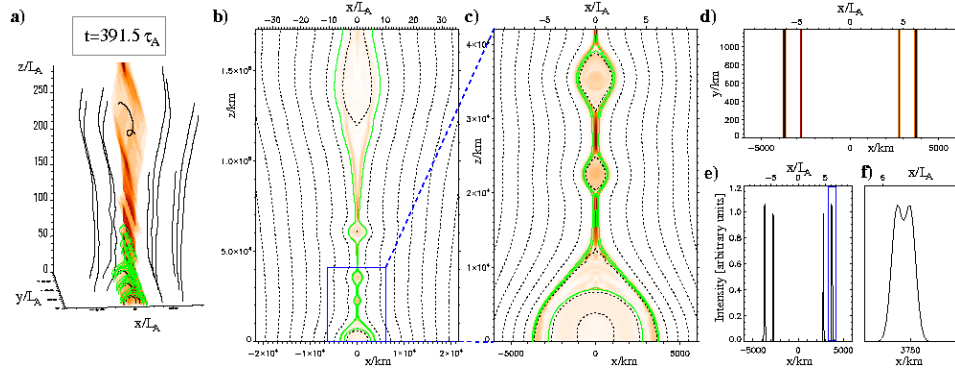
Sluneční dynamická radiová spektra





Miklenic et al., ApJ (2010)

Diagnostika v optické oblasti



„čtyřvláknová“ erupce:

pravděpodobně řídký specifický
důsledek modelu rekonexe
založeného na plasmoidech

Shrnutí

- Vztahy Slunce-Země jsou poměrně složité, probíhají v mnoha různých rovinách.
- S rostoucí závislostí civilizace na vyspělých technologiích nabývají na významu i jejich dříve opomíjené aspekty, zejména vliv sluneční (magnetické) aktivity.
- Sluneční aktivita – zejména erupce a CME – působí na parametry prostředí v kosmickém okolí Země (jejichž proměnnost je dnes obecně nazývána „kosmické počasí“) mnoha různými způsoby: např. přímé ELMG záření erupcí, interakce vyvržených magnetických oblaků se zemskou magnetosférou, vliv svazků urychlených částic (tzv. kosmické záření) – to vše s potenciálně škodlivými důsledky.
- Protože sluneční aktivita je hlavním zdrojem proměnnosti kosmického počasí, je pro jeho předpovídání nutná detailní znalost jejích mechanismů, zejména procesů ve slunečních erupcích spojených s CME.
- Vedle stále dokonalejšího pozorování jsou hlavní metodou pro zvýšení naší úrovně porozumění těmto jevům numerické počítačové simulace. Zobecnění jejich výsledků poskytuje věrohodné modely zkoumaných procesů.
- Modely je nutné ověřovat - prokázat jejich vztah k realitě. To lze činit pomocí pozorování **řídce se vyskytujících specifických jevů**, které model předpovídá. Pozorování těchto jevů je **v dosahu přístrojů na menších hvězdárnách**.

SPONTANEOUS CURRENT-LAYER FRAGMENTATION AND CASCADING RECONNECTION IN SOLAR FLARES. II. RELATION TO OBSERVATIONS

MIROSLAV BÁRTA^{1,2,3}, JÖRG BÜCHNER¹, MARIAN KARLICKÝ², AND PAVEL KOTRČ²

¹ Max Planck Institute for Solar System Research, D-37191 Katlenburg-Lindau, Germany; barta@mps.mpg.de

² Astronomical Institute of the Academy of Sciences of the Czech Republic, CZ-25165 Ondřejov, Czech Republic

³ Observatory Vlašim, CZ-25801 Vlašim, Czech Republic

Received 2010 November 28; accepted 2011 January 18; published 2011 March 3

ABSTRACT

In a paper by Bárta et al., the authors addressed by means of high-resolution MHD simulations some open questions on the CSHKP scenario of solar flares. In particular, they focused on the problem of energy transfer from large to small scales in the decaying flare current sheet (CS). Their calculations suggest that magnetic flux ropes (plasmoids) are formed in a full range of scales by a cascade of tearing and coalescence processes. Consequently, the initially thick current layer becomes highly fragmented. Thus, the tearing and coalescence cascade can cause an effective energy transfer across the scales. In this paper, we investigate whether this mechanism actually applies in solar flares. We extend the MHD simulation by deriving model-specific features that can be searched for in observations. The results of the underlying MHD model show that the plasmoid cascade creates a specific hierarchical distribution of non-ideal/acceleration regions embedded in the CS. We therefore focus on the features associated with the fluxes of energetic particles, in particular on the structure and dynamics of emission regions in flare ribbons. We assume that the structure and dynamics of diffusion regions embedded in the CS imprint themselves into the structure and dynamics of flare-ribbon kernels by means of magnetic field mapping. Using the results of the underlying MHD

Astronomický ústav AVČR ve zkratce

Astronomický ústav, v.v.i.

Akademie věd ČR



Stoletá historie i moderní věda



Pracoviště Praha

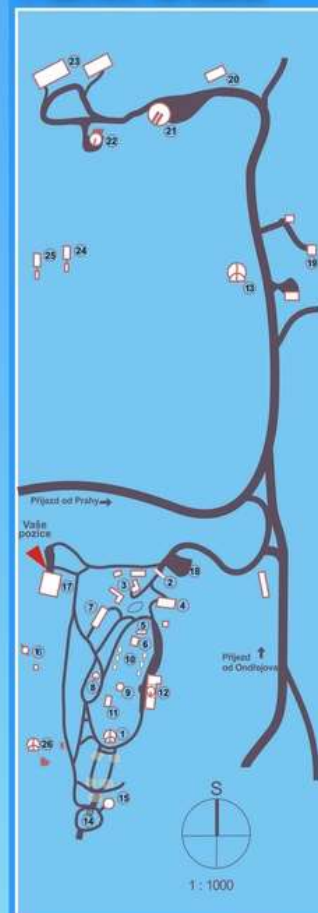


Pracoviště Ondřejov



<http://www.asu.cas.cz>

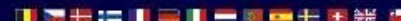
Plánek areálu



1. Radioteleskop
2. Brána
3. Technickohospodářské oddělení
4. Laboratoř radioastronomie
5. Památník J. J. Friče
6. Pracovna
7. Mechanická dílna
8. Západní kopule
9. Centrální kopule
10. Pozorovací domky
11. Muzeum
12. Budova slunečního oddělení a knihovna
13. Radioteleskop
14. Vstupní schodiště
15. Památník
16. Meteorický radar
17. Kosmická laboratoř a ředitelství
18. Parkoviště
19. Zenitteleskop
20. Provozní budova 2m dalekohledu
21. Kopule 2m dalekohledu
22. Kopule 65cm dalekohledu
23. Seminární místnost
24. Magnetograf
25. Sluneční spektrograf
26. Radioteleskop

Astronomický ústav Akademie věd ČR, v. v. i.





ESO for the Public

About ESO

Gallery

Press and Media

Events

Outreach

Astronomy at ESO

Relations with Industry

Working at ESO

Science Users

On this site you can find a wealth of fresh information about ESO, one of the most vibrant and dynamic research organisations in the world, dedicated to astronomy and astrophysics. [more...](#)

Welcome to ESO

ESO is the intergovernmental European Organisation for Astronomical Research in the Southern Hemisphere. On behalf of its thirteen member states ESO operates a suite of the world's most advanced ground-based astronomical telescopes located at the La Silla Paranal Observatory in the Atacama desert in Chile. The ESO Headquarters are situated in Garching near Munich, Germany.

Latest News

- [Austria Declares Intent To Join ESO](#) (24/4/2008)
- [Paranal Receives New Mirror](#) (17/4/2008)
- [The Drifting Star](#) (15/4/2008)
- [A Burst to See](#) (2/4/2008)

[more news](#) - [RSS](#)

Announcements

- [Paranal Rocks! Competition](#) (16/4/2008)
- [Announcement of ESO/NRAO Vacancy for ALMA Project Manager](#) (1/4/2008)
- [ESO Messenger No. 131 available for download](#) (12/3/2008)

James Bond at Paranal



[Enter the Competition!](#)

Image of the Week



[RSS](#)

[A distant galaxy cluster](#)
[More](#) - [Archive](#)



La Silla

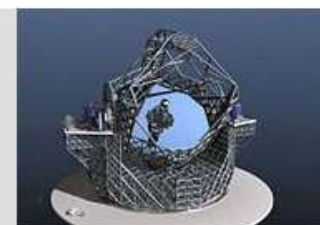
Last Update: 28.04.08 @ESO



The Very Large Telescope

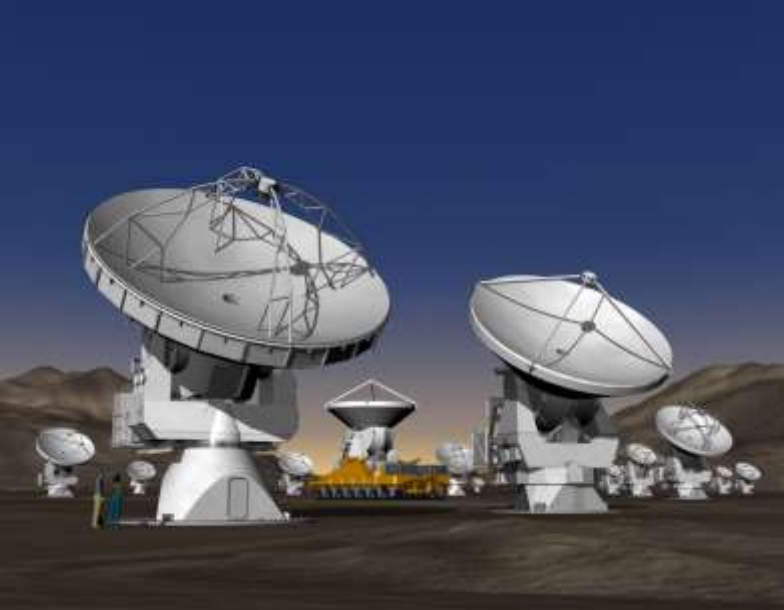


ALMA



E-ELT

[Send us your comments!](#) | [Subscribe to Newsletter](#) | [Privacy](#) | [Site](#)



EUROPEAN ARC

ALMA Regional Centre || Czech

<http://www.asu.cas.cz/alma>

