

Sluneční erupce

Marian Karlický

karlicky@asu.cas.cz

Astronomický ústav
Akademie věd ČR
251 65 Ondřejov

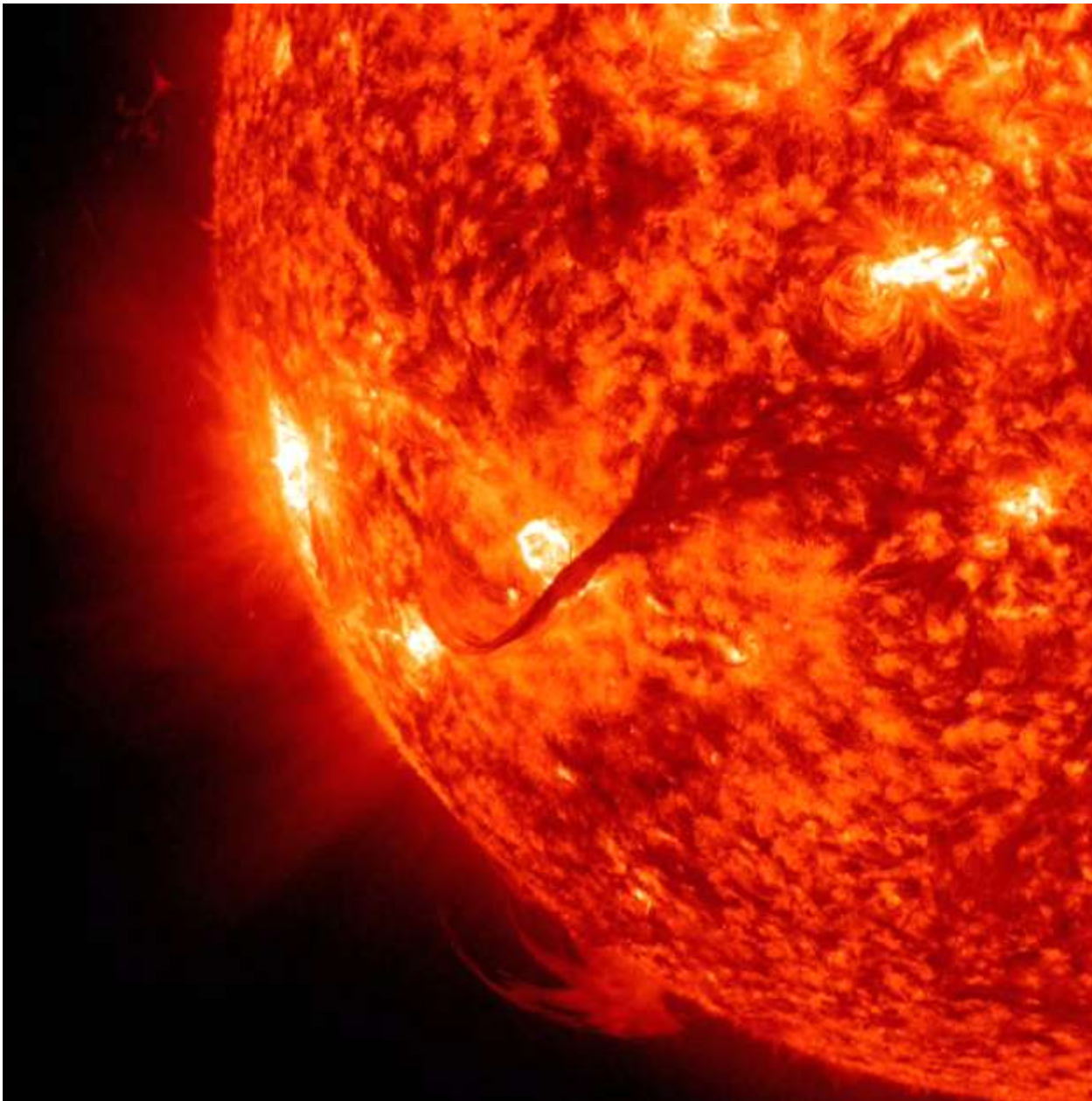


Obsah:

1. Příklady pozorování slunečních erupcí
2. Standardní model sluneční erupce
3. Procesy ve slunečních erupcích
a jejich numerické modelování
4. Vliv erupcí na heliosféru
5. Efekty slunečních erupcí na Zemi (GIC elektrický proud)
6. Supererupce
7. Komety v blízkosti Slunce
8. Užití výsledků studia slunečních erupcí
9. Naše účast v projektu ALMA
10. Závěry

SLUNEČNÍ ERUPCE

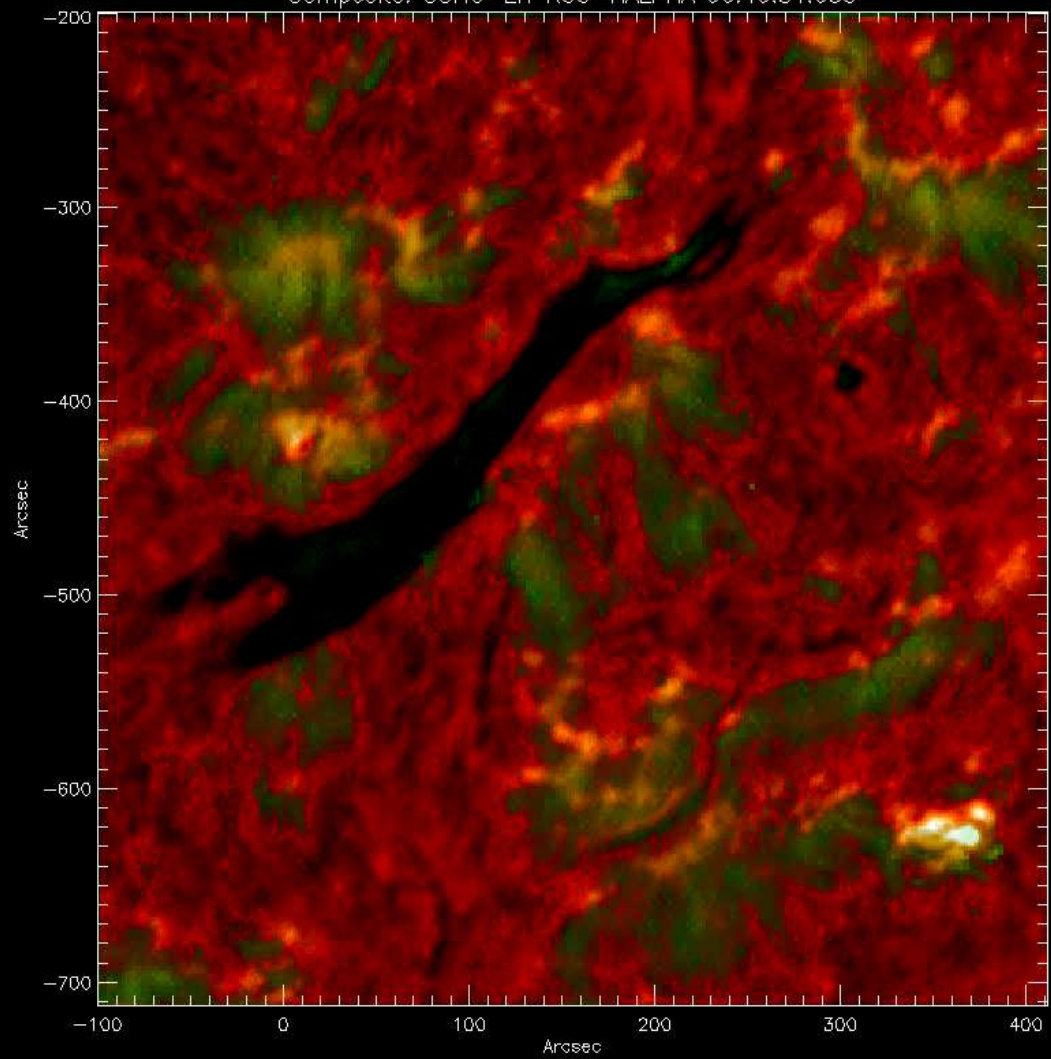
Sluneční erupce je explozivní proces ve sluneční atmosféře, ve kterém energie naakumulovaná v elektrických prouděch a magnetickém poli je velmi rychle přeměněna na ohřev plazmatu, toky plazmatu, urychlování částic a elektromagnetické záření od rádiových vln, přes optické záření, UV záření, rentgenové záření až po gama záření.



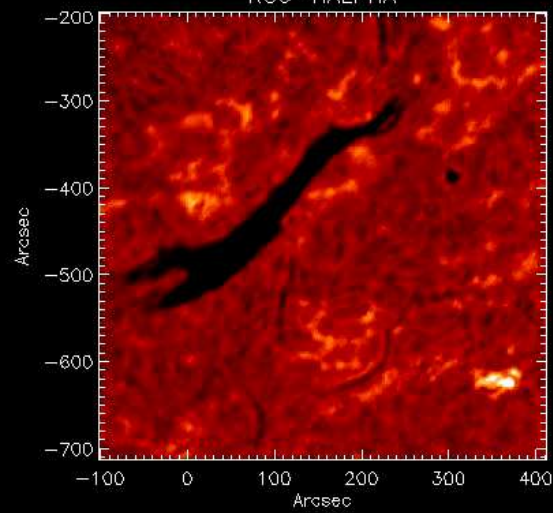
Aug. 31,
2012

SDO
AIA304
50000 K

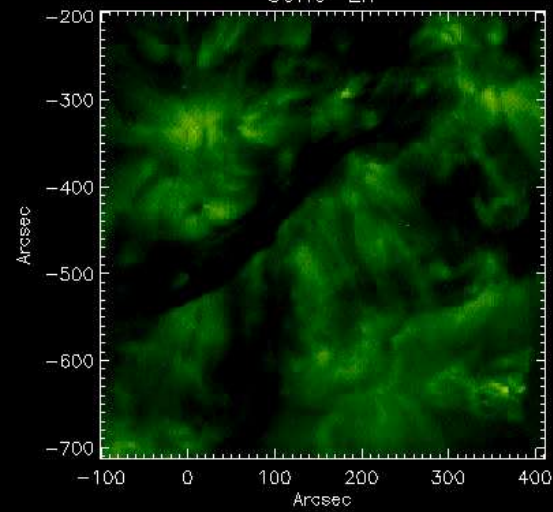
Composite: SOHO-EIT KSO-HALPHA 06:46:51.033



KSO-HALPHA



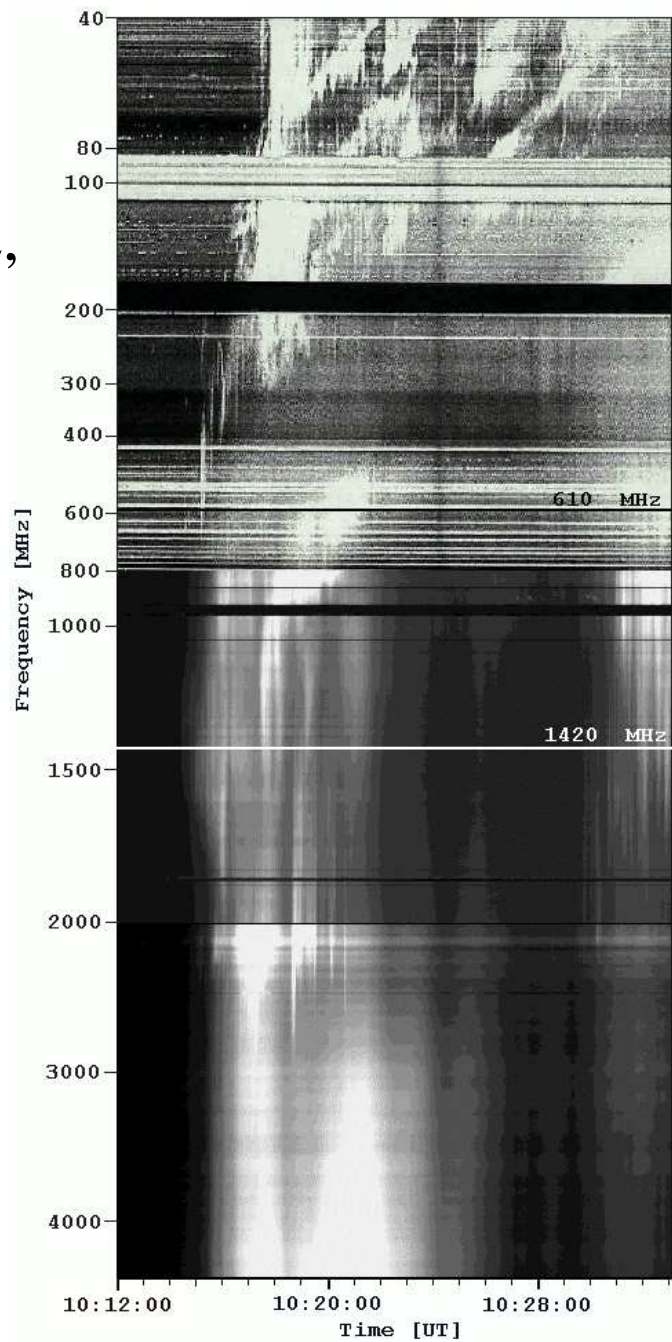
SOHO-EIT



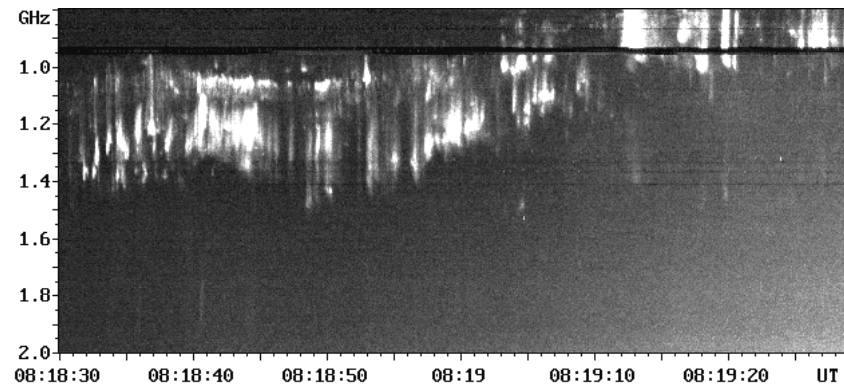


Apr 17 2002 23:59:32

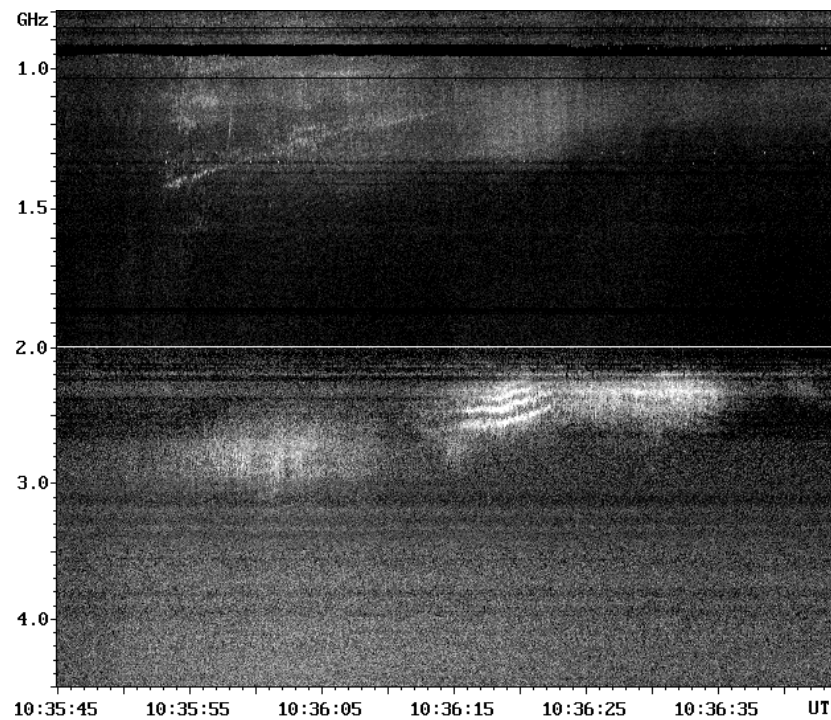
April 12,
2001



August 18, 1998



July 12, 2000



Standartní model sluneční erupce

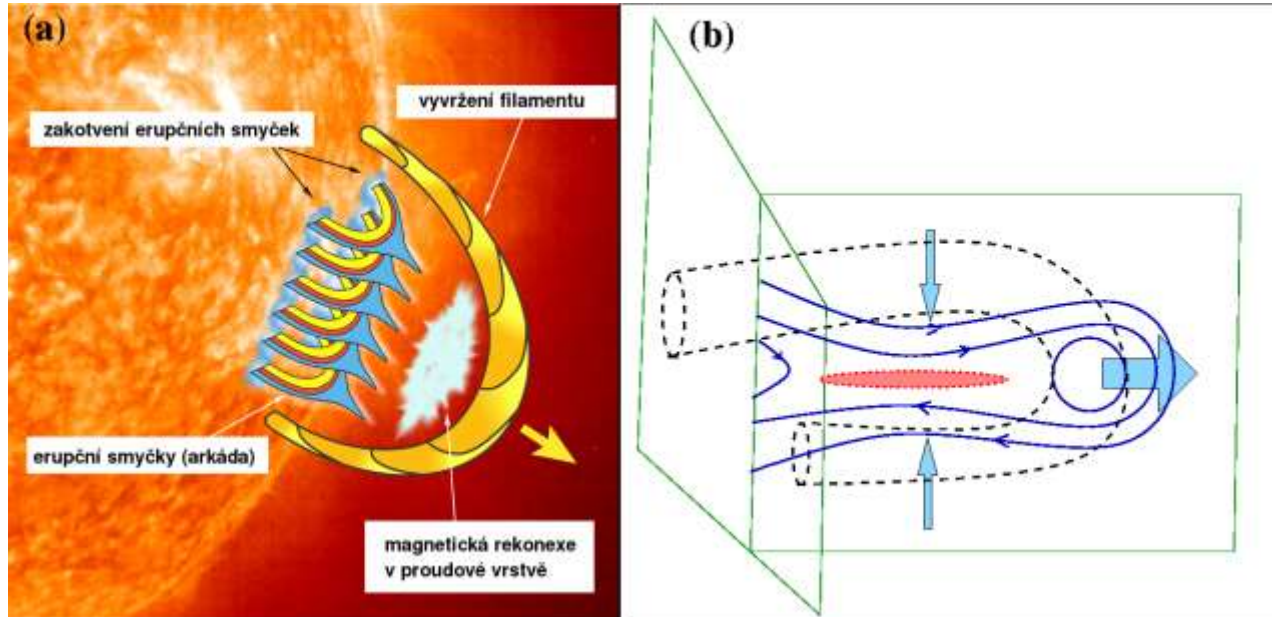
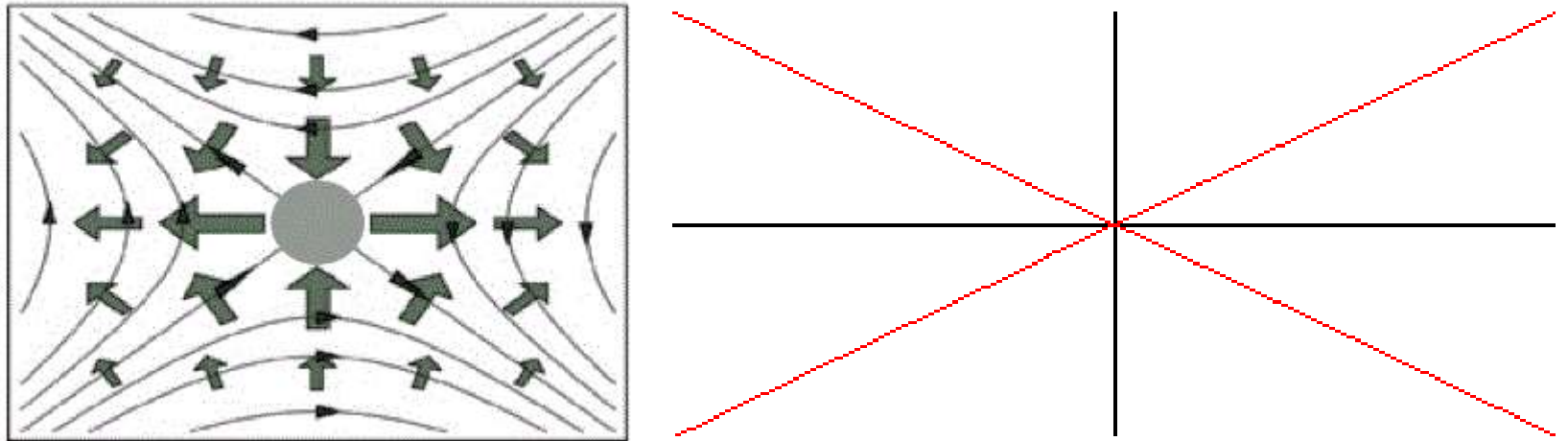


Schéma magnetické rekonexe



Popis rekonexe pomocí B nebo j
 $\text{rot } B \sim j$

MHD: Ideální a ne-ideální procesy

Ideal instabilities (e.g. kink/torus)
[filament eruption (initial phase)]

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0$$

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\nabla p + \mathbf{j} \times \mathbf{B} + \rho \mathbf{g}$$

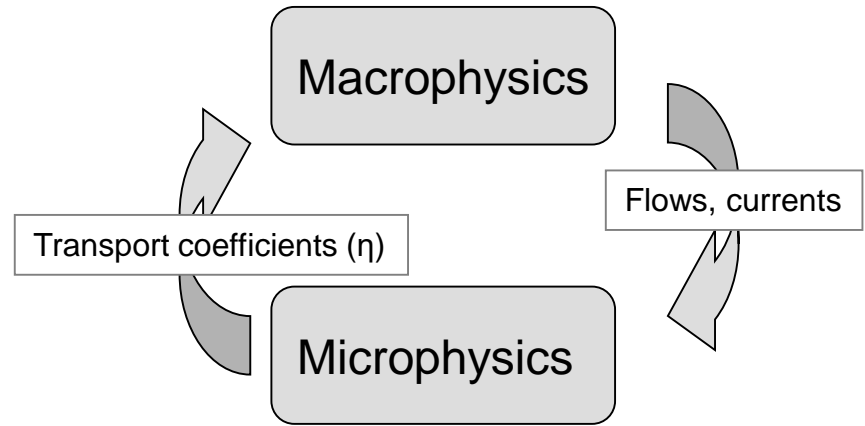
$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \nabla \times (\mathbf{u} \times \mathbf{B}) - \nabla \times (\eta \mathbf{j})$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{S} = 0$$

Dynamo

Reconnection / Dissipation

Scale coupling in MR

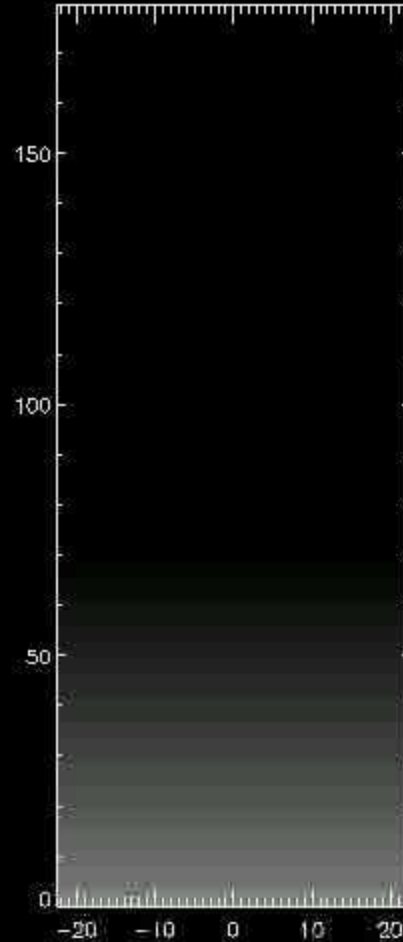
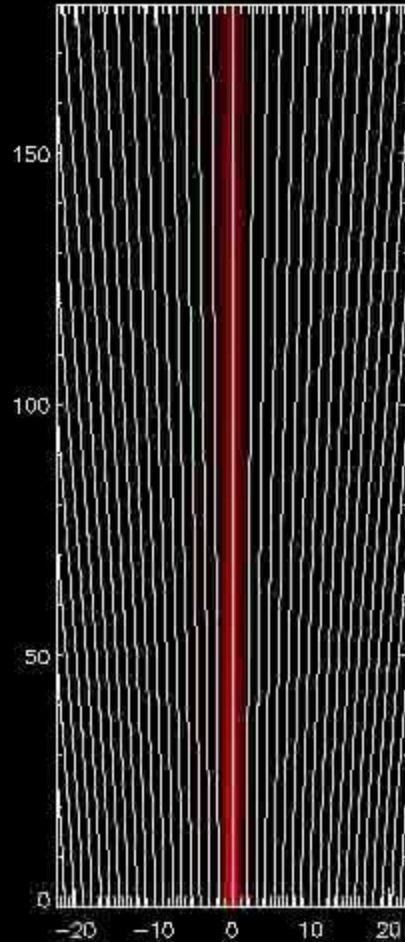


Generalized Ohm's law

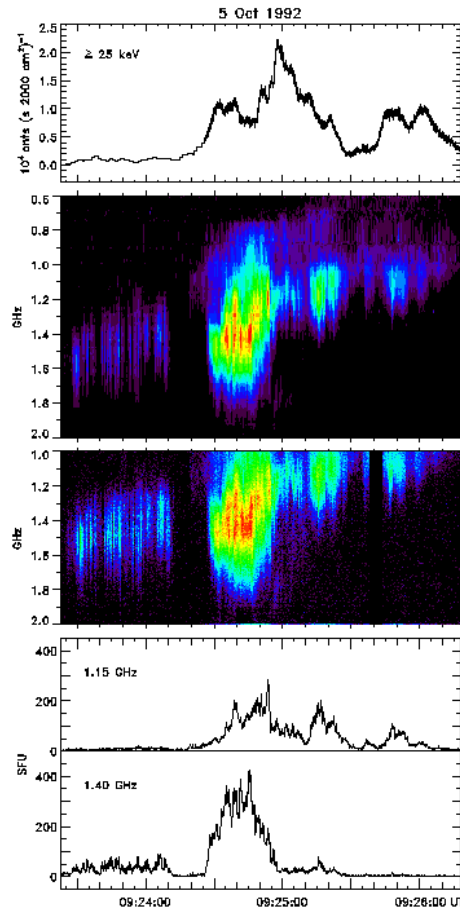
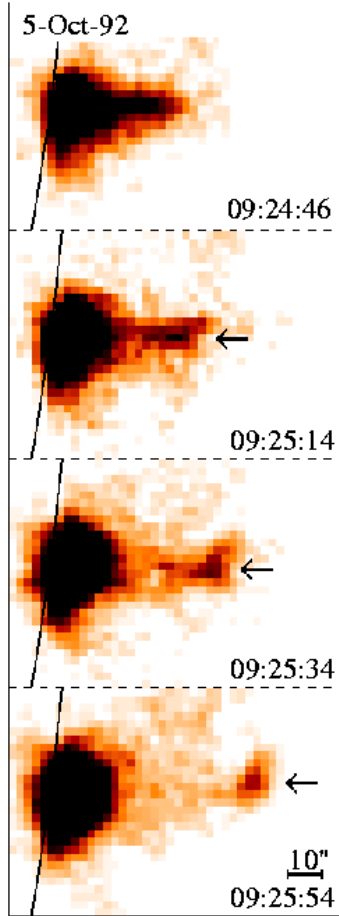
$$\eta(\mathbf{x}, t) = \begin{cases} 0 & : |v_D| \leq v_{cr} \\ C \frac{(|v_D(\mathbf{x}, t)| - v_{cr})}{v_0} & : |v_D| > v_{cr} \end{cases}$$

Příklad MHD simulace magnetické rekonexe

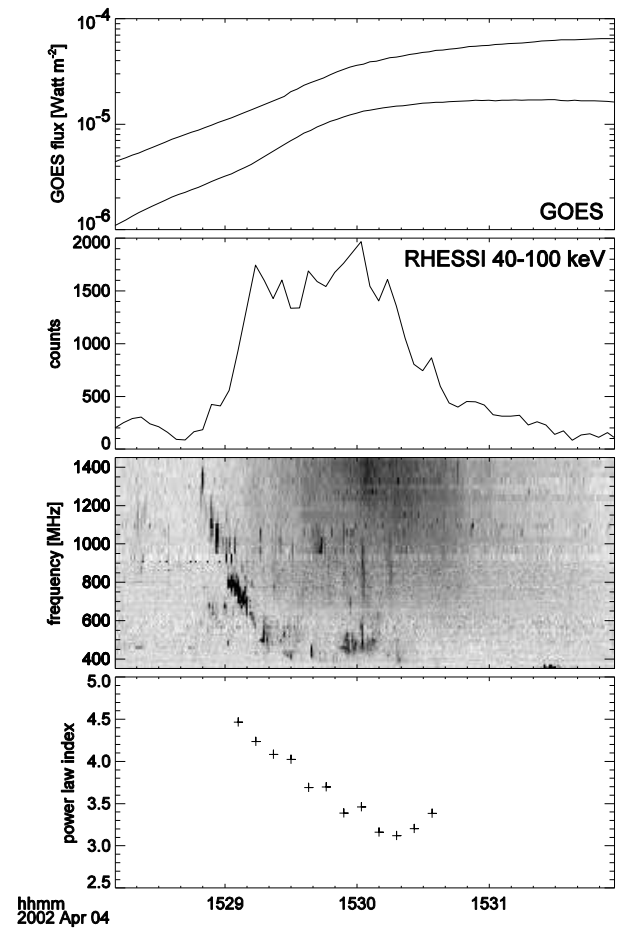
Barta & Karlický, 2006



October 5, 1992



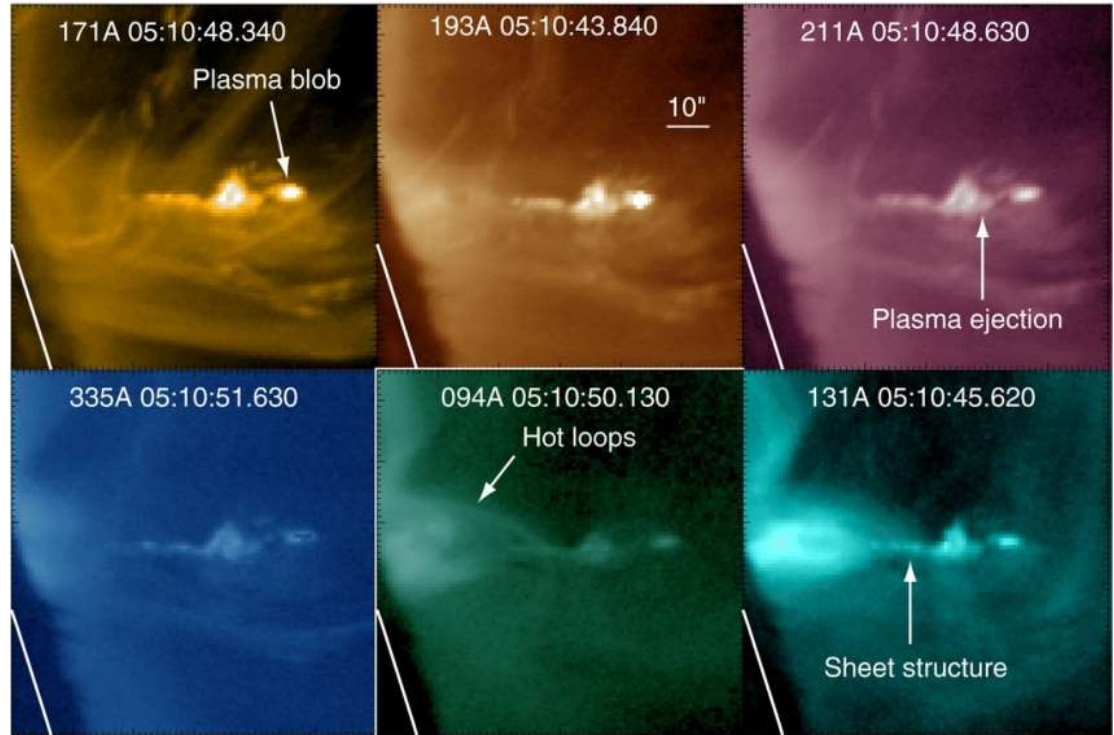
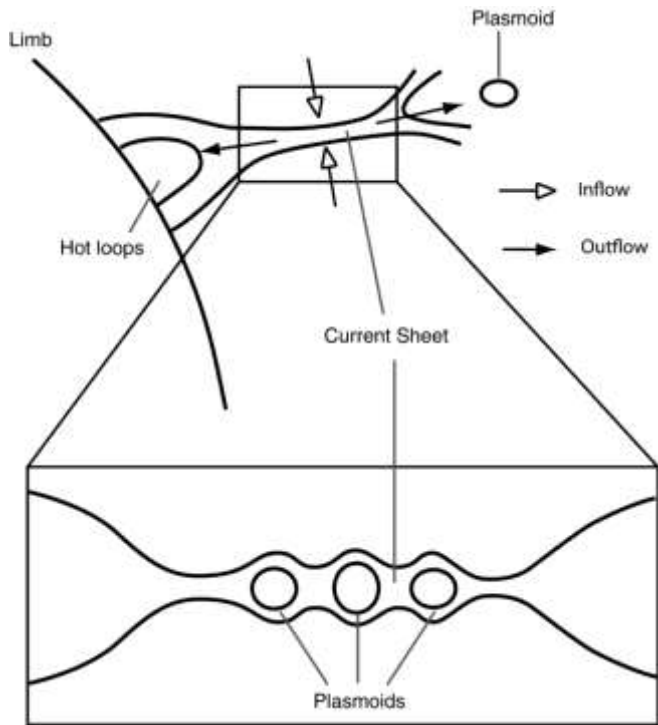
April 4, 2002



Ohyama, Shibata:
1998, ApJ 499, 934

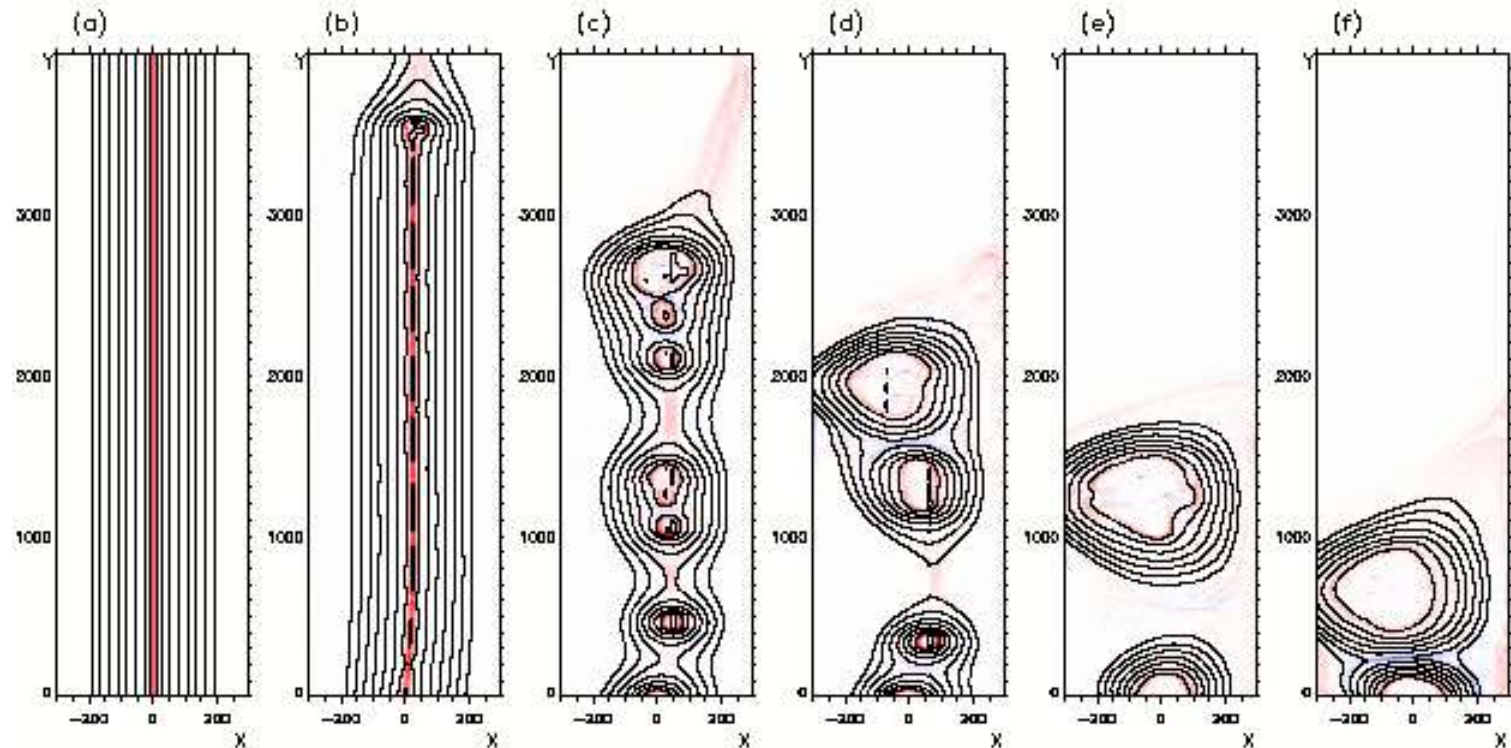
Kliem, Karlický, Benz:
2000, A&A 360, 715

Příklad pozorování plazmoidů

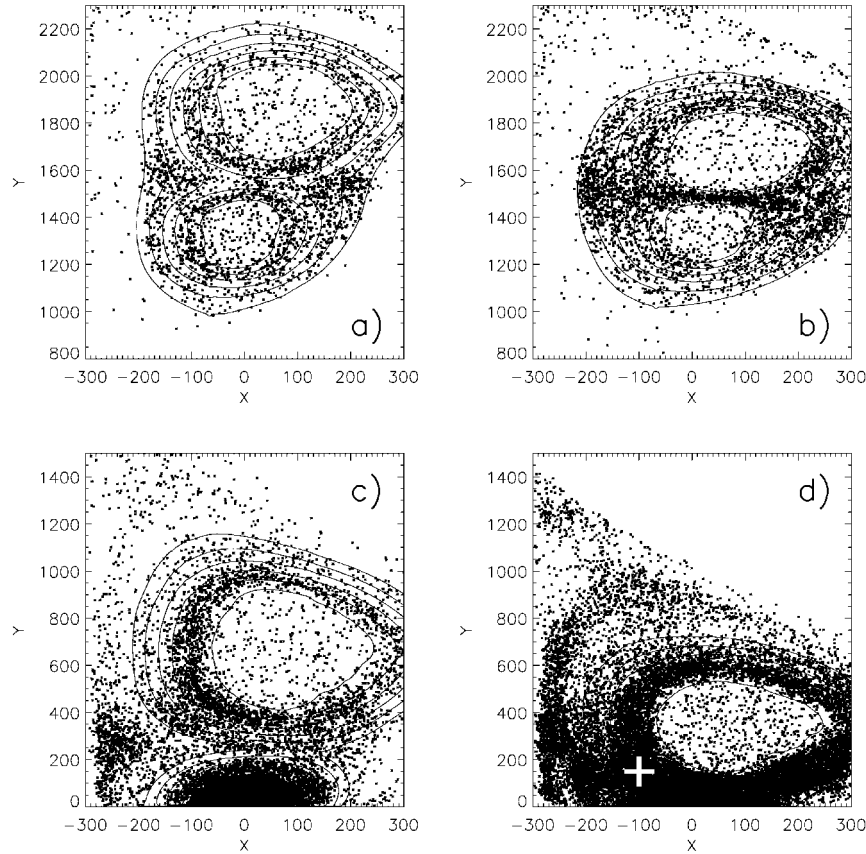


*Takasao et al. 2012;
see also Savage et al. 2012a,b*

2.5D PIC model ($600 \times 4000 \Delta$), počáteční Harrisova proudová vrstva,
počáteční $T_e = T_p = 10$ MK, $\beta = 0.07$, volné okrajové podmínky

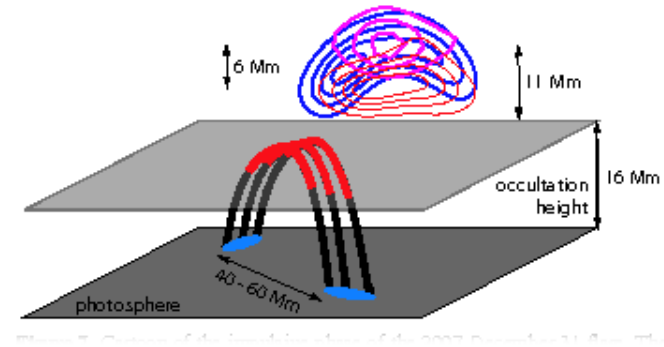
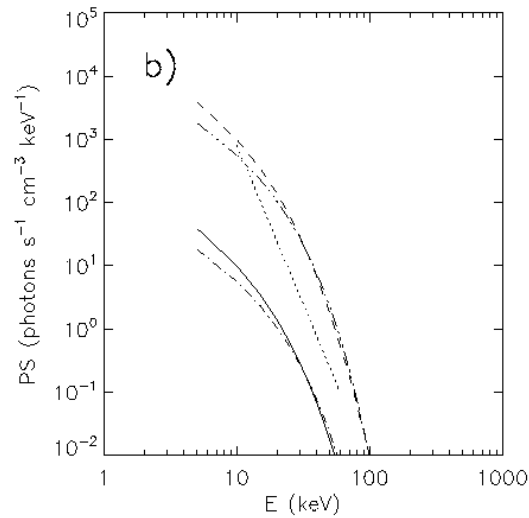
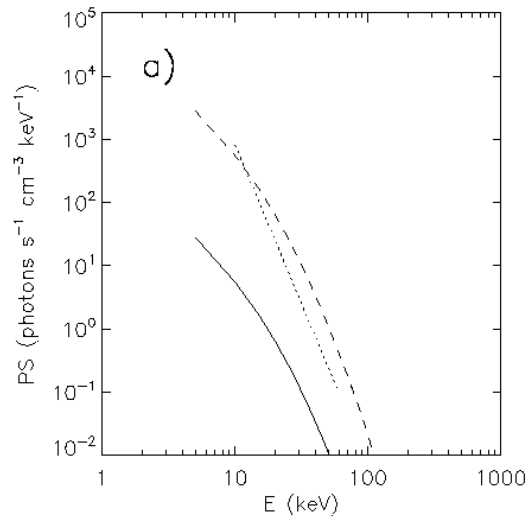


Časový vývoj magnetických siločár a proudových hustot
v čase $\omega_{pe} t = 0, 1800, 3500, 5000, 6500,$ and 8000 .
(Karlický and Bárta 2011, ApJ 733, 107)



Slévání plazmoidů
je doprovázeno
velice intenzivním
urychlováním částic.

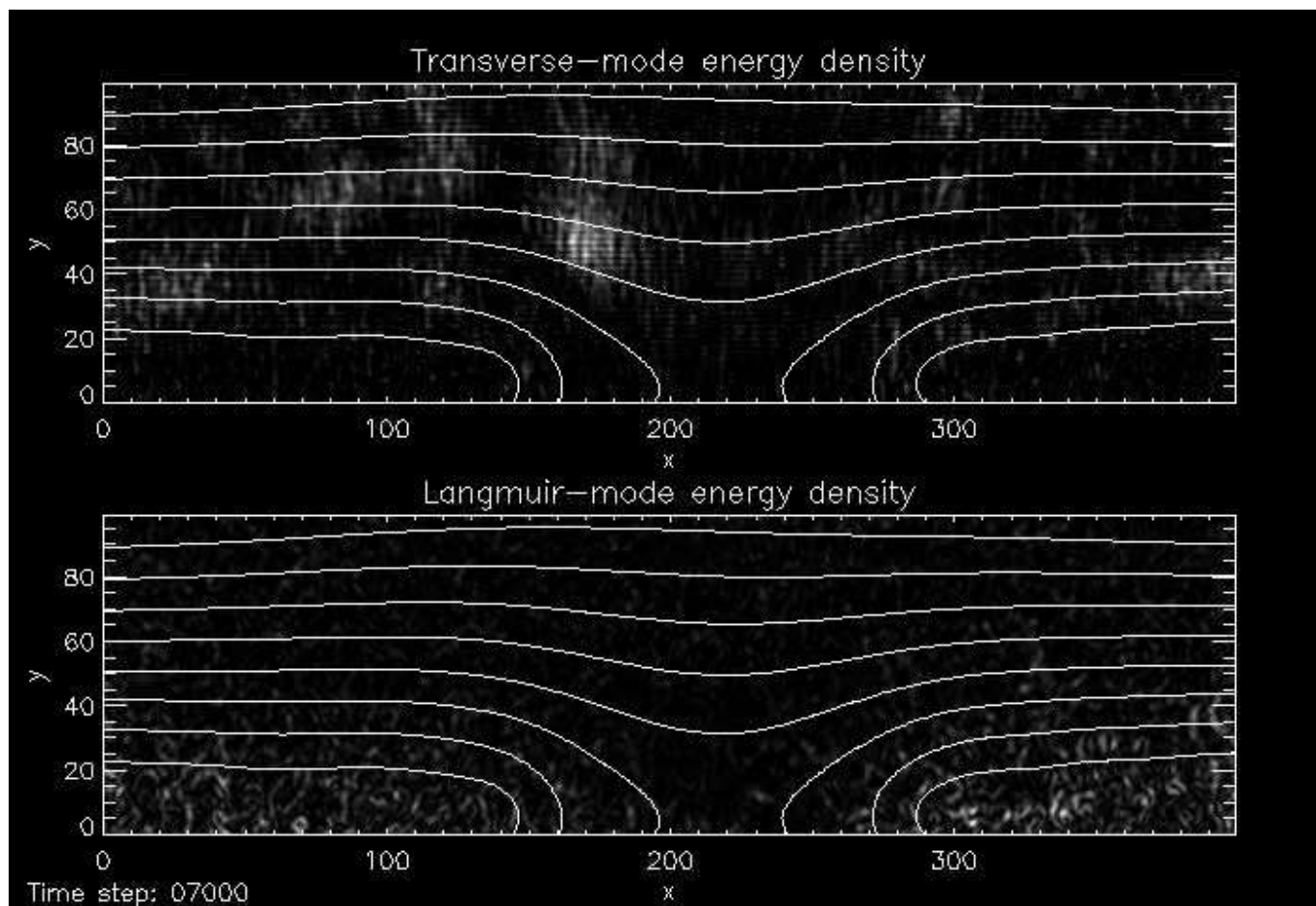
Linie magnetického pole v rovině x-y
a distribuce numerických elektronů (body), které mají
energii větší než 40 keV v časech $\omega_{pe} t = 5200, 5600,$
8000, and 9000.



(Krucker et al. 2010, ApJ 714, 1108).

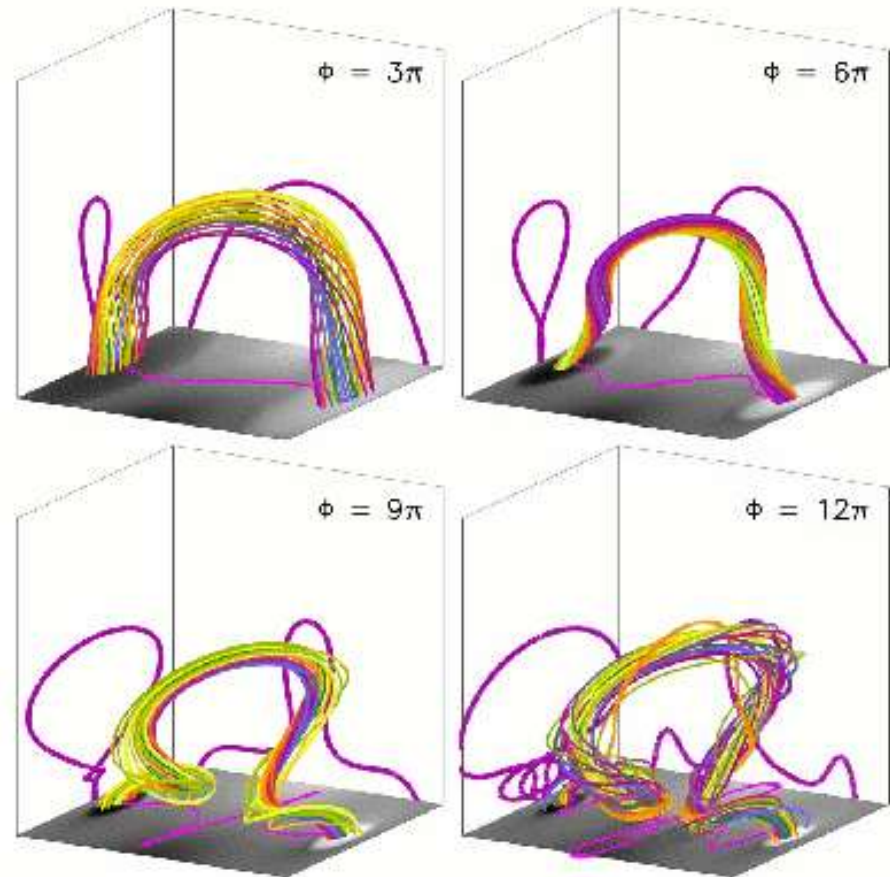
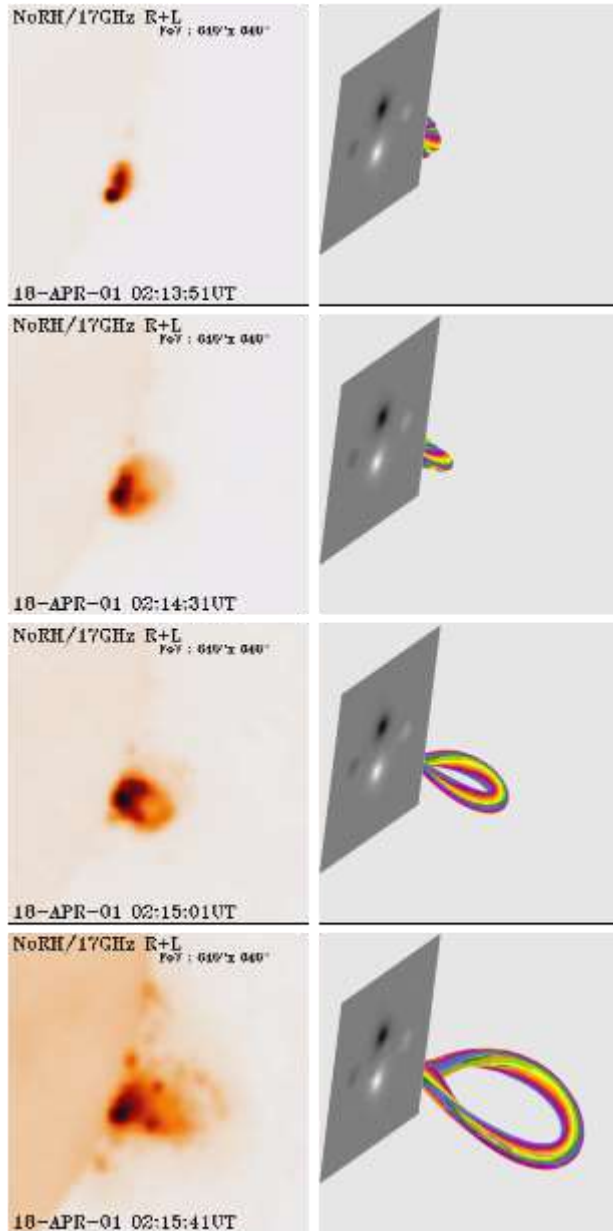
Rentgenová spektra ze zdroje nad arkádou erupčních smyček, počítaná pro hustoty plazmatu $n_e = 10^9$ a 10^{10} cm⁻³ a objem $V = 8 \times 10^{26}$ cm³, a spektra pozorovaná v erupci ze dne 31. 12. 2007.

Příklad PIC simulace elektromagnetických (radiových) vln v magnetické rekonexi



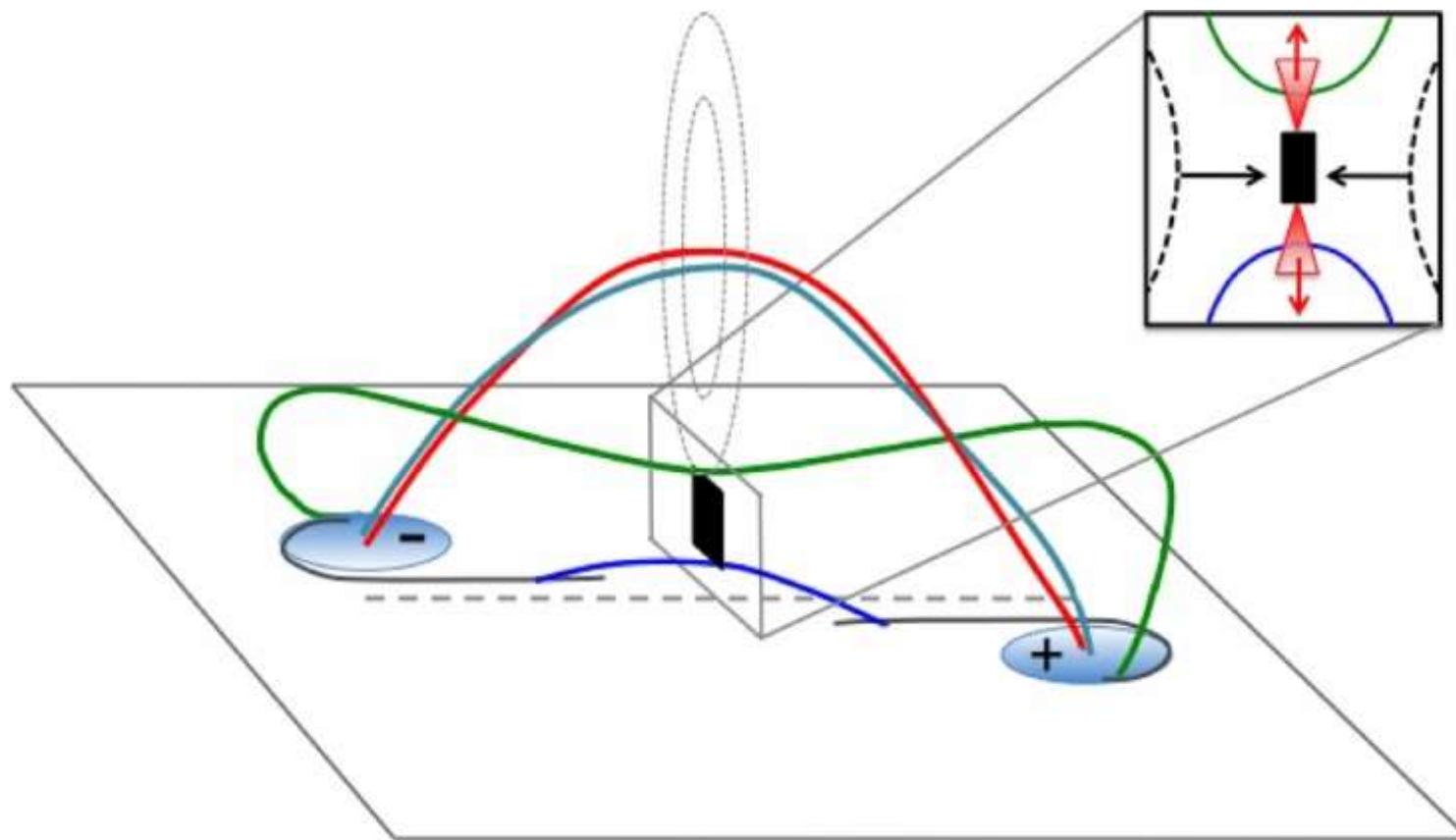
(Karlický et al. 2010, A&A 514, A38)

Erupce ve smyčce s elektrickým proudem



Pozorování na 17 GHz (18. 4. 2001 erupce) a MHD simulace,
pro $\phi > 6\pi$ dvojitou helikální nestabilitu (Karlický, Kliem 2011, SP 266)

Vznik slunečního třesení

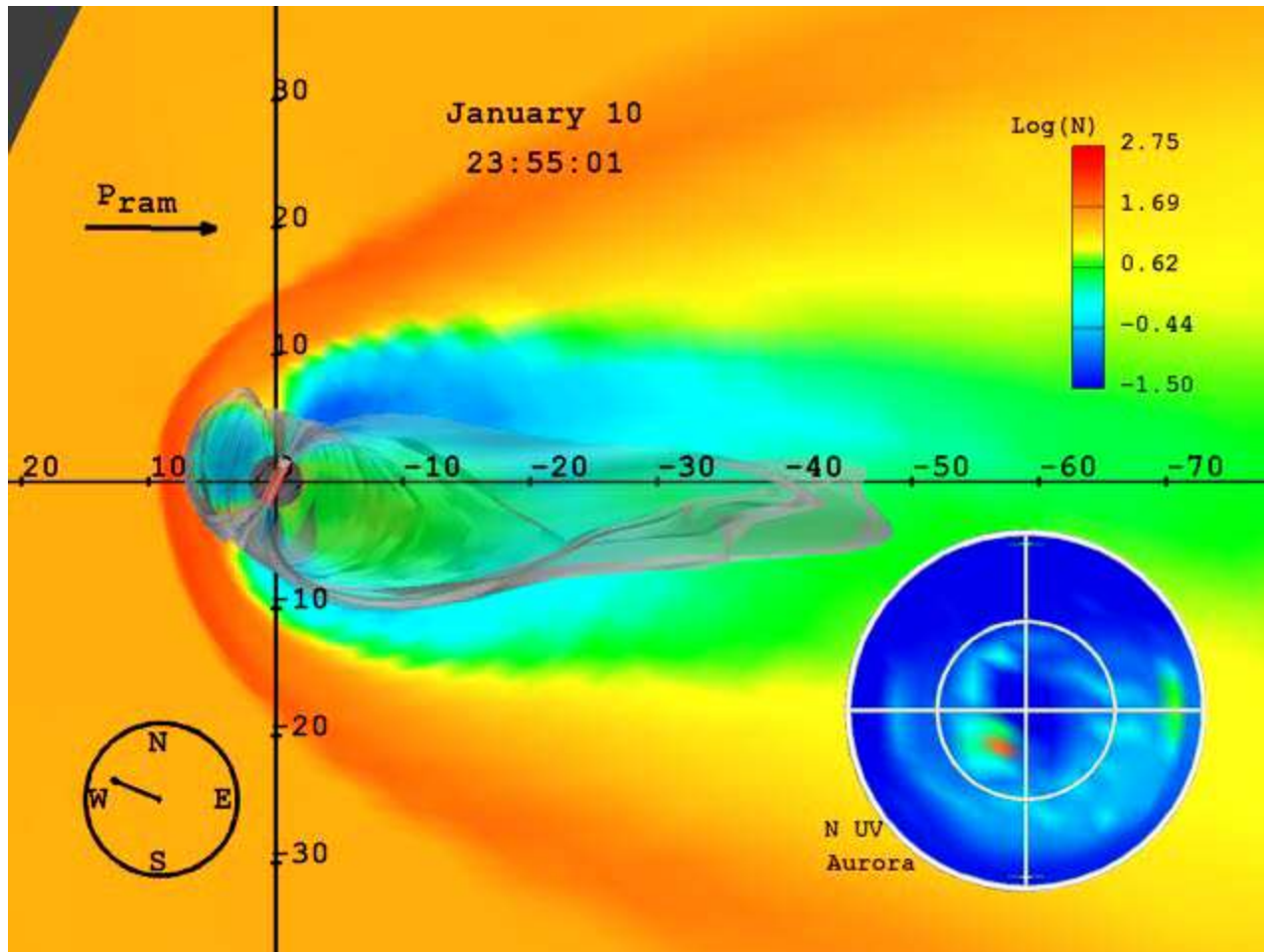


Zharkov et al. 2011

Vyvržení koronální hmoty do heliosféry



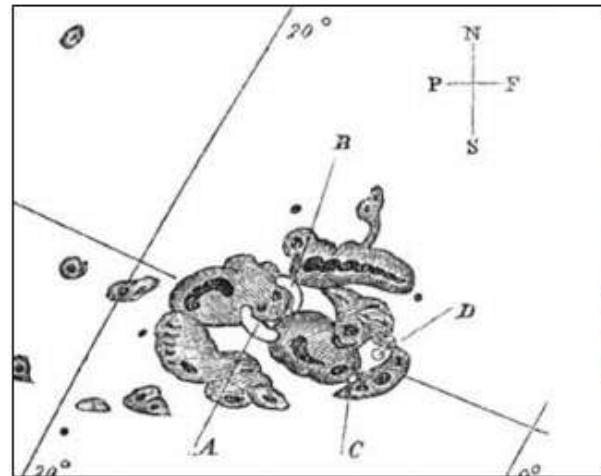
Procesy v magnetosféře Země



Carrington flare

(1859, Sep 1, am 11:18)

- The **first flare** that human beings observed
- by Richard Carrington (England)
- white flare for 5 minutes
- **very bright aurora** appeared next day morning at many places on Earth, e.g. Cuba, the Bahamas, Jamaica, El Salvador, and Hawaii.
- Largest magnetic storm (> 1000 nT) in recent 200 yrs.



Telegraph systems all over Europe and North America failed.

Telegraph pylons threw **sparks** and telegraph paper spontaneously caught **Fire (Loomis 1861)**

Magnetic storm and aurora on 1989 March 13, that lead to Quebec blackout

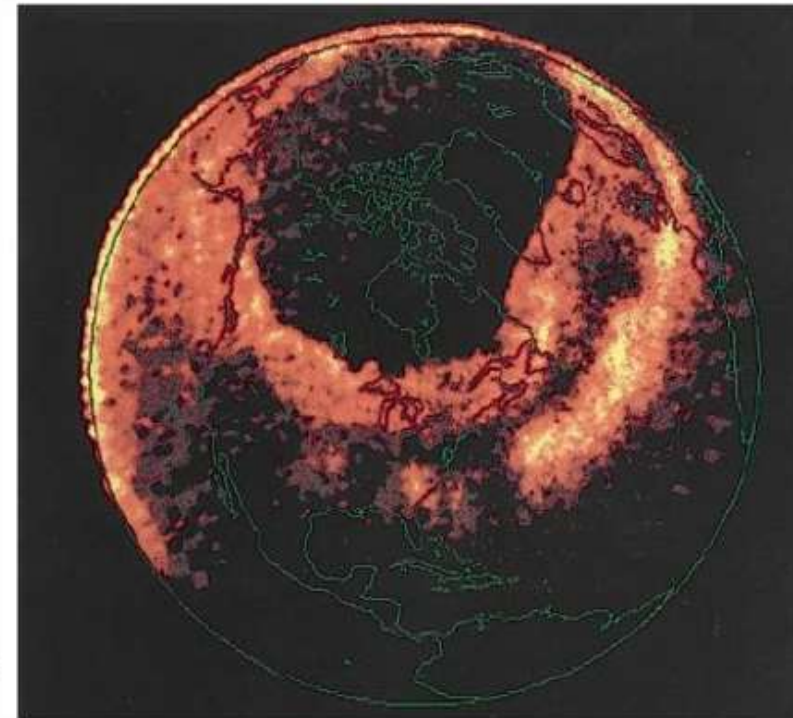
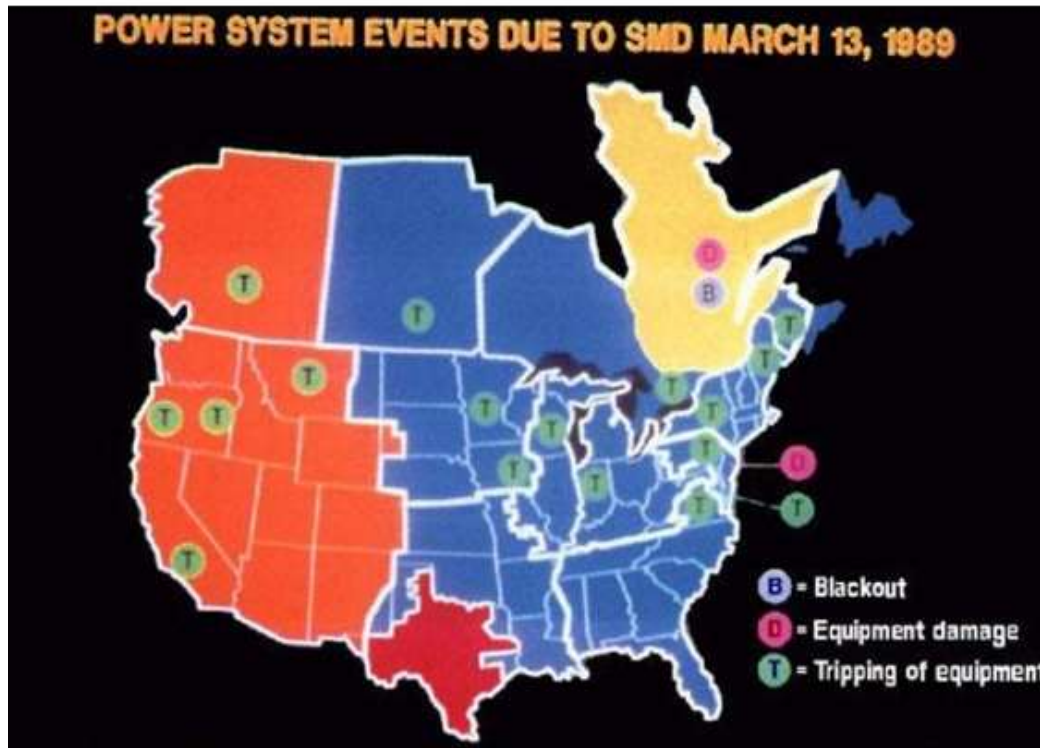


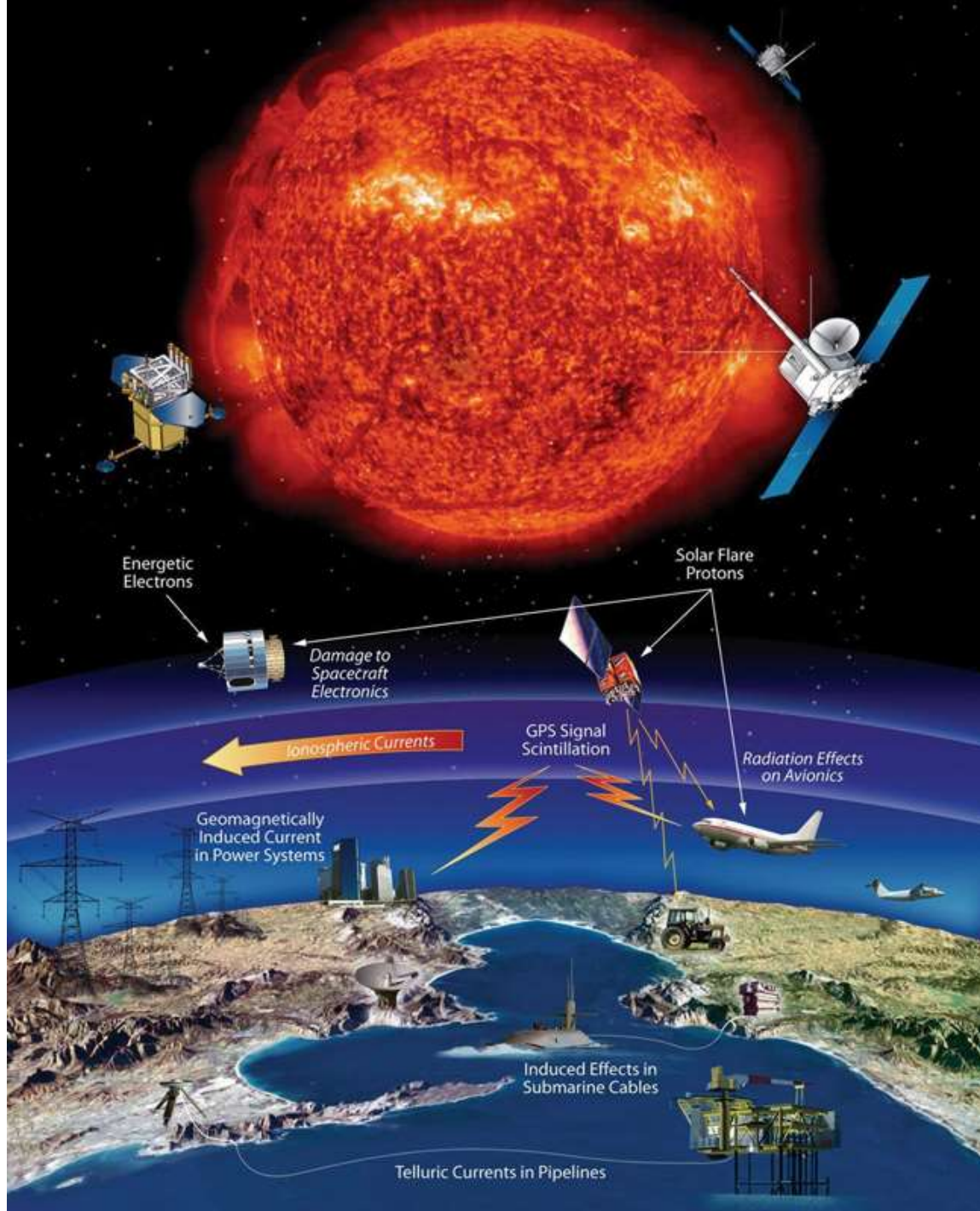
図4 発電所の事故があった日に人工衛星で撮影されたオーロラ。カナダ帯に強いオーロラが現れたのがわかる。(アイオワ大学 L. A. Frank 教授)

Magnetic storm ~ 540 nT

Produced by a big solar flare (X-class: X4.6)

<http://www.stelab.nagoya-u.ac.jp/ste-www1/pub/ste-nl/Newsletter28.pdf>



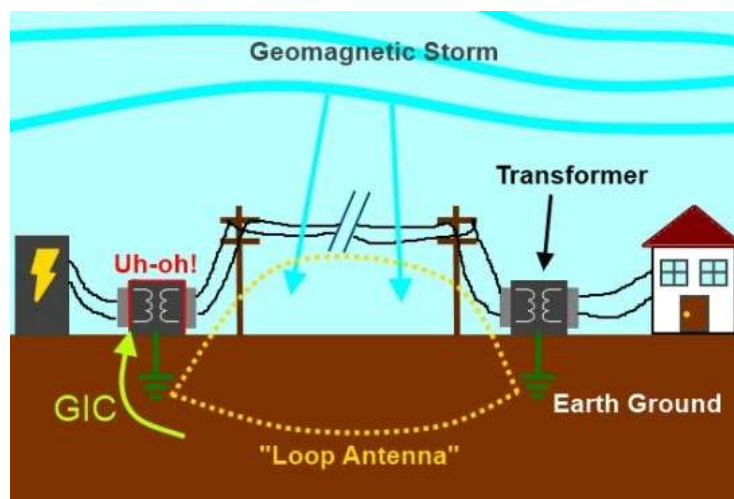
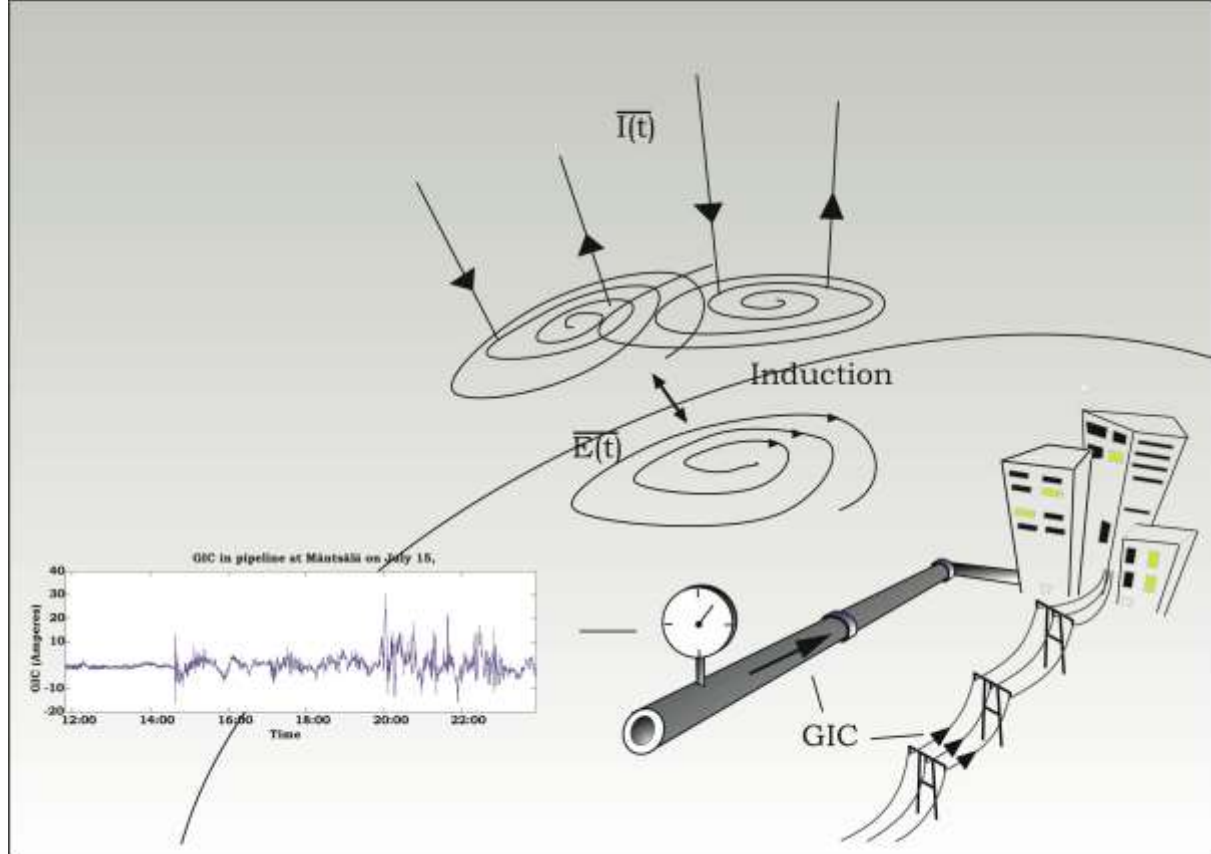


GIC – elektrický proud

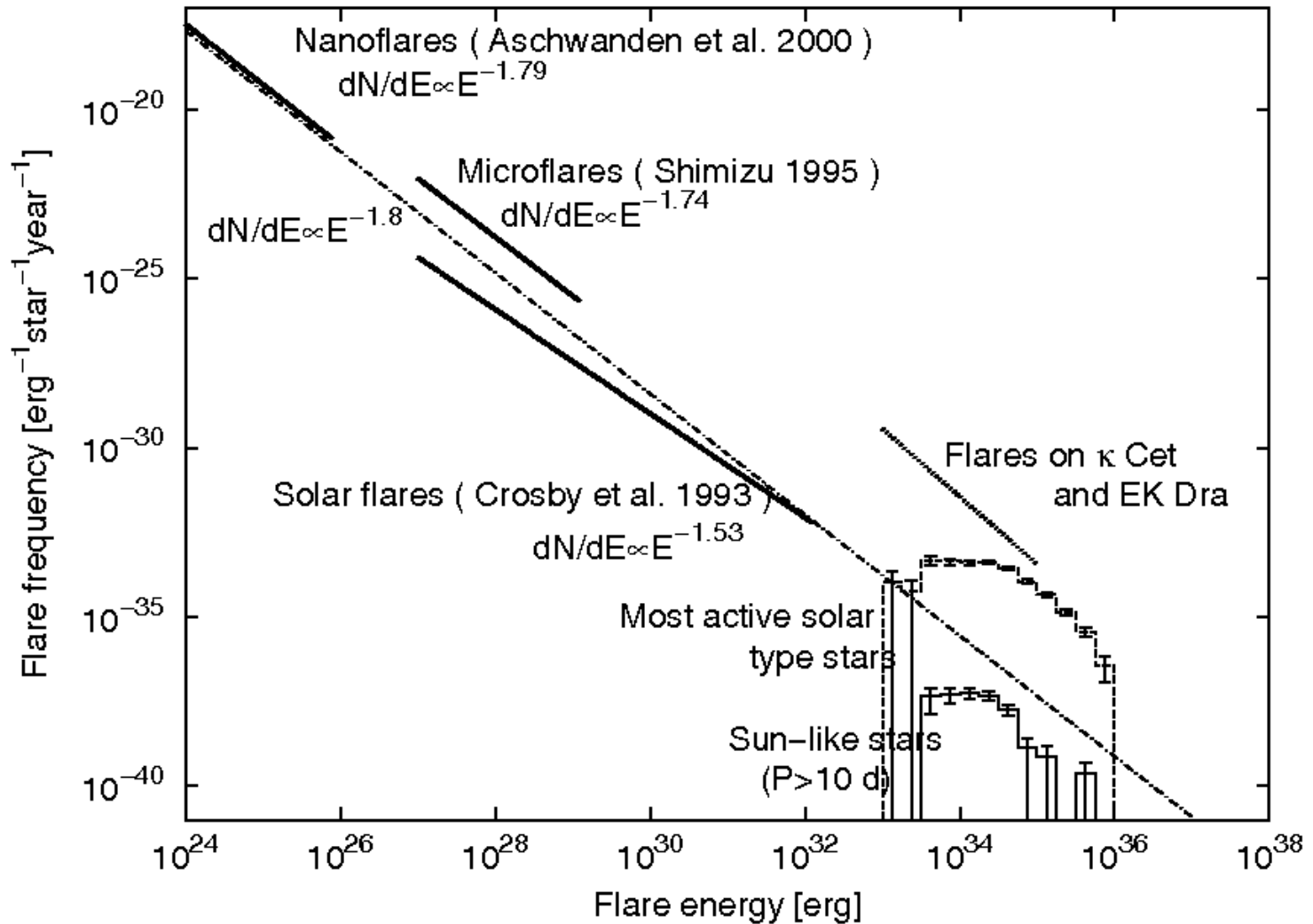
Magnetický oblak indukuje proudy v magnetosféře a ionosféře a ty indukují elektrická pole na povrchu Země.

$$E \sim 1 \text{ V/km}$$

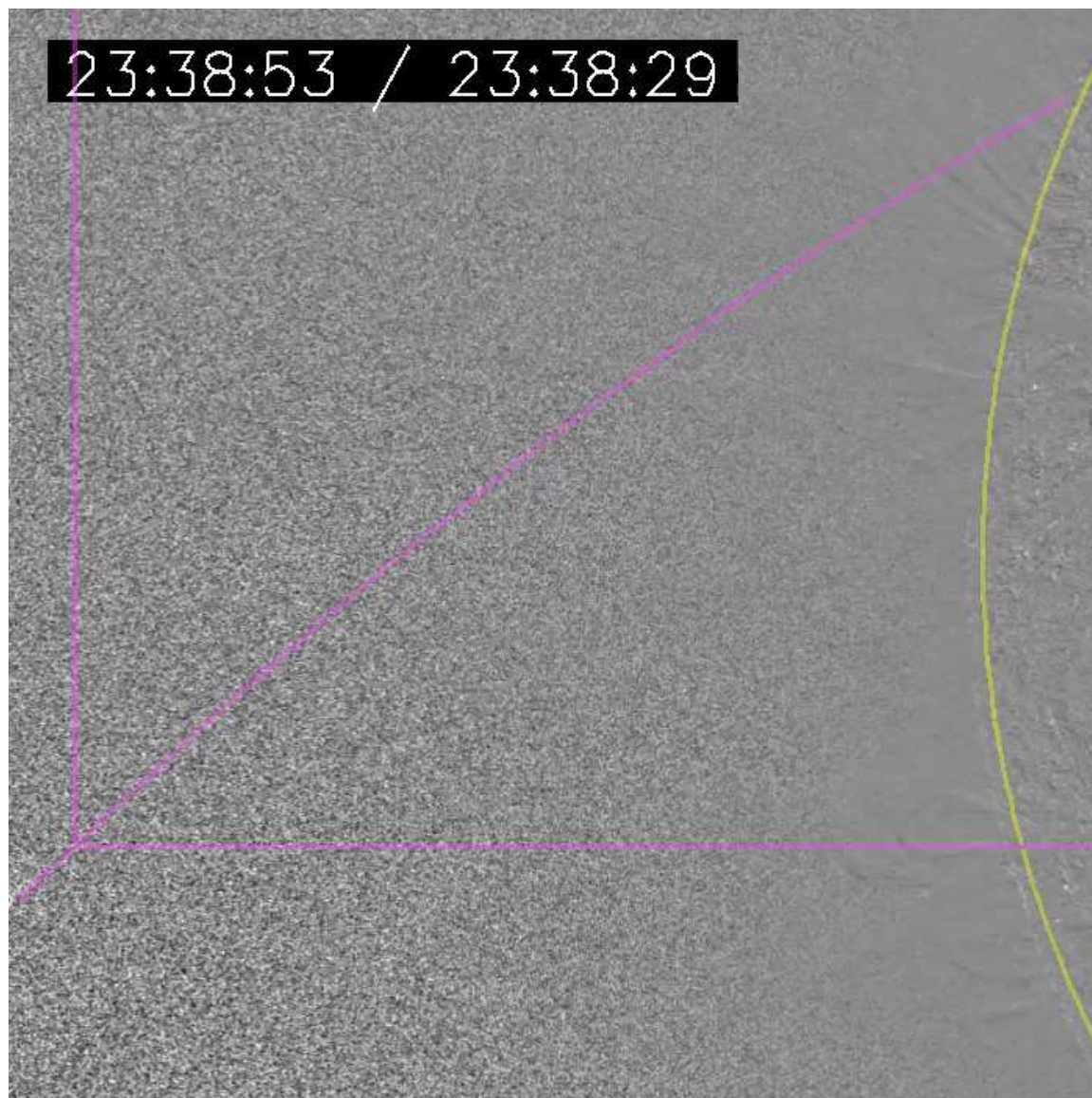
Hlavní problémy s transformátory



Supererupce (Shibayama et al. 2013)

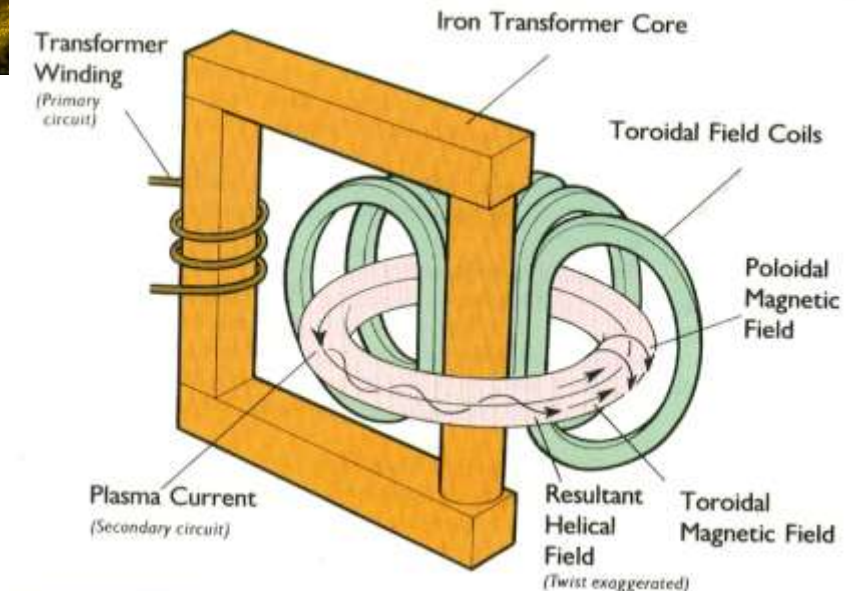
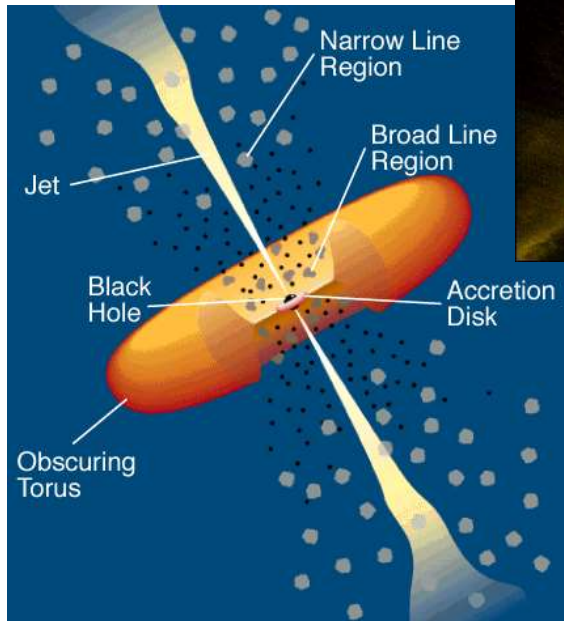
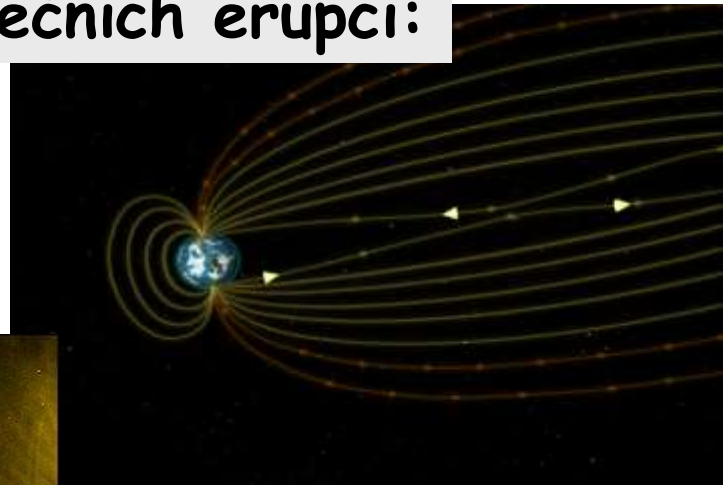


Komety v blízkosti Slunce

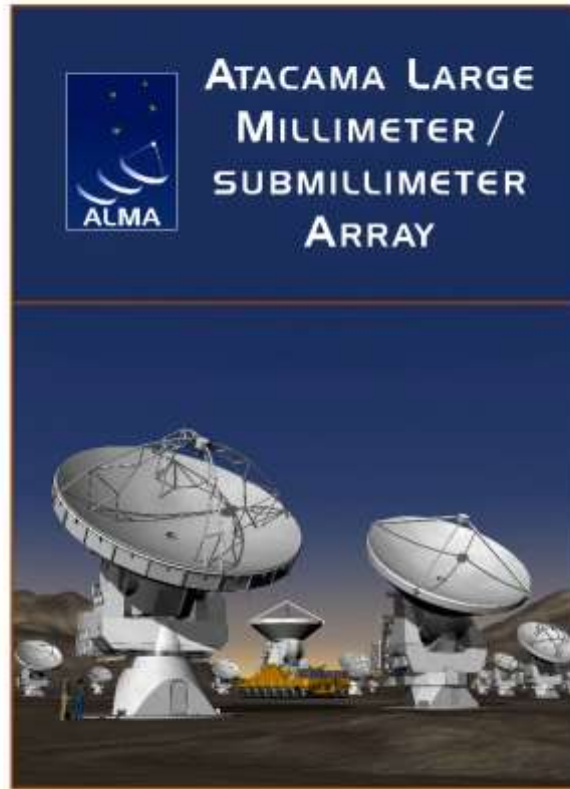


Užití výsledků studia slunečních erupcí:

- Sluneční a stelární erupce
- Plazmové procesy v magnetosférách Země a jiných planet
- Neutronové hvězdy a magnetary
- Akreční disky
- Laboratorní plazma, TOKAMAK



ALMA projekt



ALMA, the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array, will be a single research instrument composed of up to 80 high-precision antennas, located on the Chajnantor plain of the Chilean Andes in the District of San Pedro de Atacama, 5000 m above sea level. ALMA will enable transformational research into the physics of the cold Universe, regions that are optically dark but shine brightly in the millimeter portion of the electromagnetic spectrum. Providing astronomers a new window on celestial origins, ALMA will probe the first stars and galaxies, and directly image the formation of planets.

ALMA will operate at wavelengths of 0.3 to 9.6 millimeters, where the Earth's atmosphere above a high, dry site is largely transparent, and will provide astronomers unprecedented sensitivity and resolution. The 12 m antennas will have reconfigurable baselines ranging from 15 m to 18 km. Resolutions as fine as 0.005" will be achieved at the highest frequencies, a factor of ten better than the Hubble Space Telescope.

Závěry:

1. Primárním procesem ve slunečních erupcích je magnetická rekonexe.
2. Při magnetické rekonexi vznikají plazmoidy, které navzájem interagují a přitom jsou velice efektivně urychlovány částice, které pak dále generují elektromagnetické záření od radiového až po gama záření.
3. Při mohutných erupcích je vyvržen magnetický oblak s koronální hmotou, který pak ovlivňuje celý meziplanetární prostor, včetně okolí Země.

4. Supererupce jednou za 10000 let?
5. Vliv erupcí především na elektrické sítě, satelity a dálkové spojení
6. Využití výsledků studia slunečních erupcí:
 - a) Vliv erupcí na procesy na Zemi
 - b) Erupce na hvězdách
 - c) Procesy v magnetosférách Země i jiných planet
 - d) Neutronové hvězdy a magnetary
 - e) Akreční disky
 - f) Laboratorní plasma, TOKAMAKY