

11. Sluneční erupce

Sluneční fyzika
LS 2007/2008

Michal Švanda

Astronomický ústav MFF UK
Astronomický ústav AV ČR

Energetické jevy na Slunci

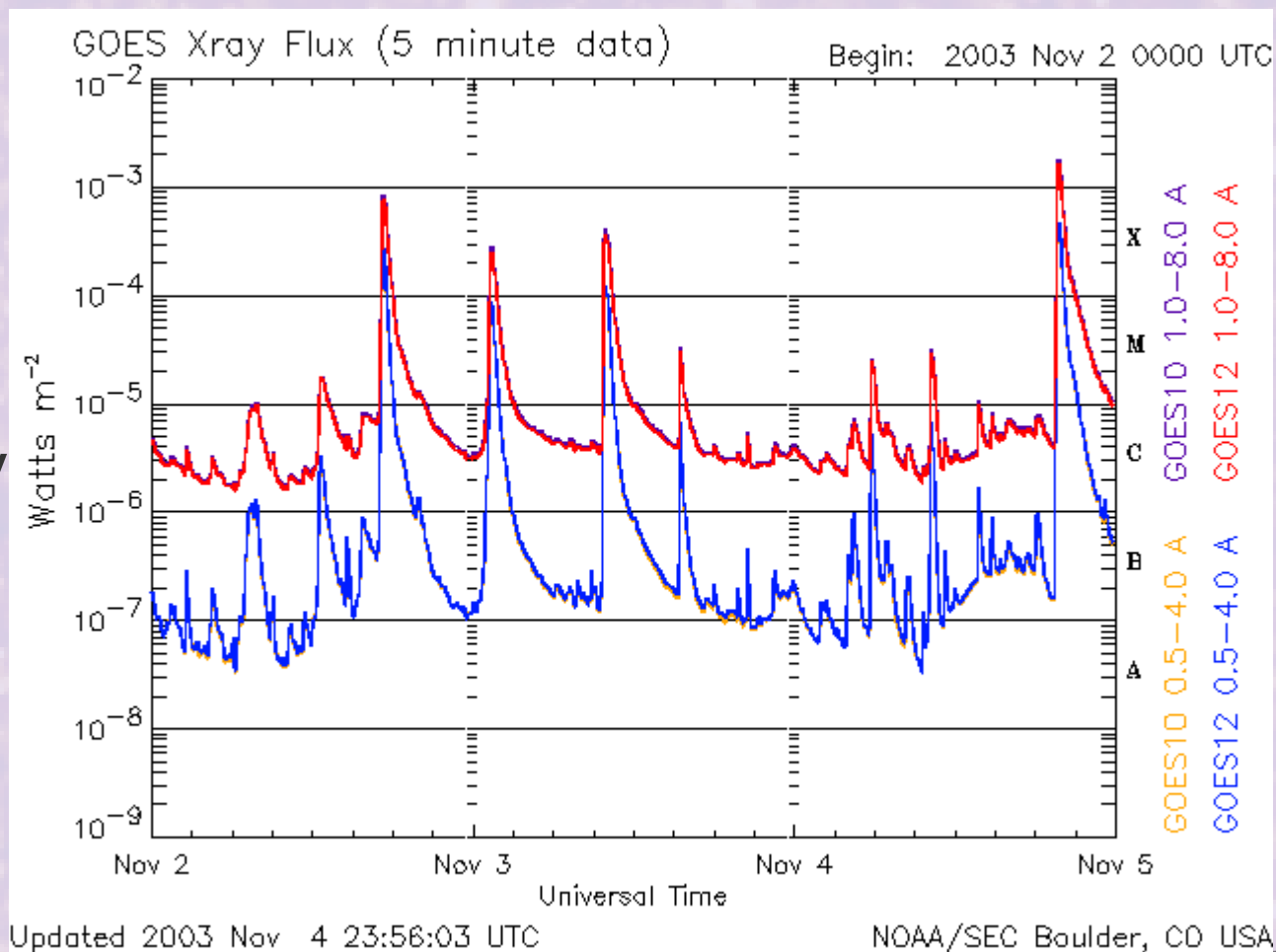
- 1. září 1859 – R. Carrington
 - Během zakreslování skupin slunečních skvrn si povšiml významného zjasnění, které trvalo cca 5 minut. Den poté zasáhla Zemi geomagnetická bouře.
 - Pozorování bílé erupce
- Erupce
 - Energetické jevy, uvolňuje se až 10^{25} J energie během maximálně pár desítek sekund
 - Pozorování v optickém oboru na H α čáře (chromosférické erupce, nejčastěji dvojvláknové, vlákna se od sebe rozestupují)
 - UV, rentgenové a rádiové záření – svědek netermálních procesů
 - Spojováno s rekonexí magnetického pole

Erupce z Hinode



Klasifikace erupcí

- Energetická
 - Tok energie v pásu 0,1–0,8 nm
 - A–X
- Podle plochy
 - S ($< 2^{\circ 2}$), 1, 2, 3, 4 ($> 25^{\circ 2}$)
- Podle intenzity
 - F, N, B

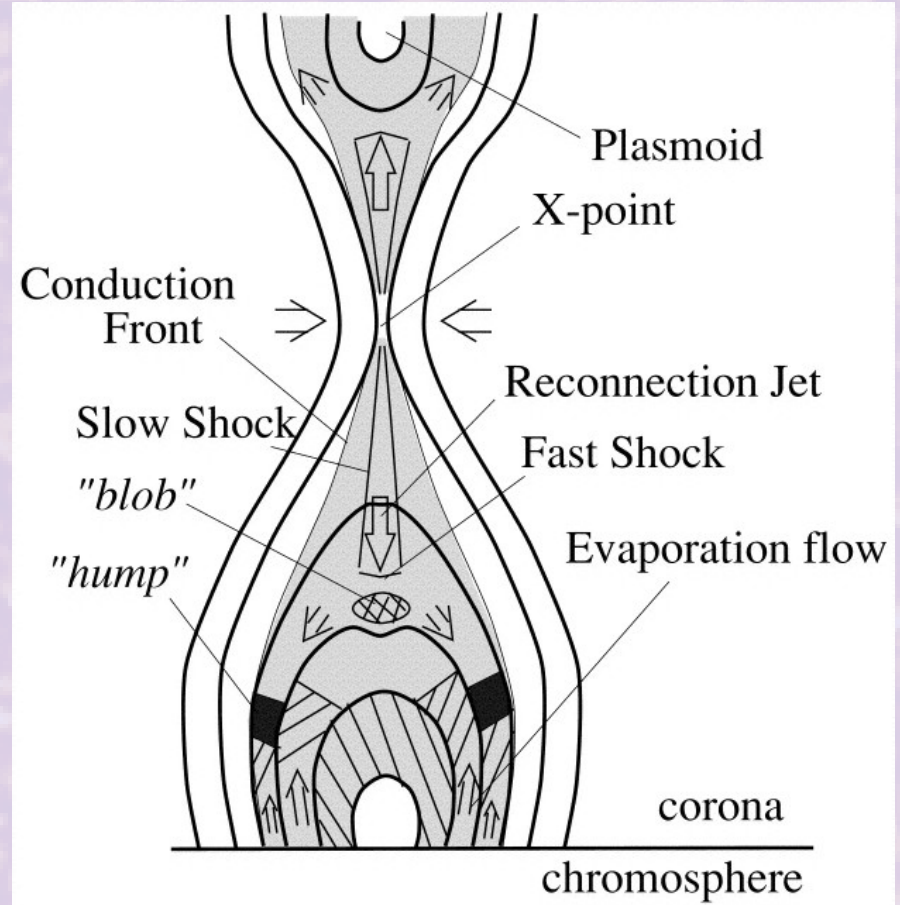


Disipace magnetických polí

- V oblasti proudových vrstev, které jsou formovány pohyby plazmatu. Deformace magnetických polí zvyšuje volnou energii, lokální deformace $\Delta\mathbf{B}$ produkuje proudovou vrstvu.
- Rapidní disipace nastane v místě, kde Maxwellův tensor produkuje proudovou vrstvu směrem klesající tloušťky.
- Explosivní disipace nastává v okolí singulárních bodů magnetického pole ($\mathbf{B} = 0$), kde k disipaci může dojít i přes nízkou rezistivitu.

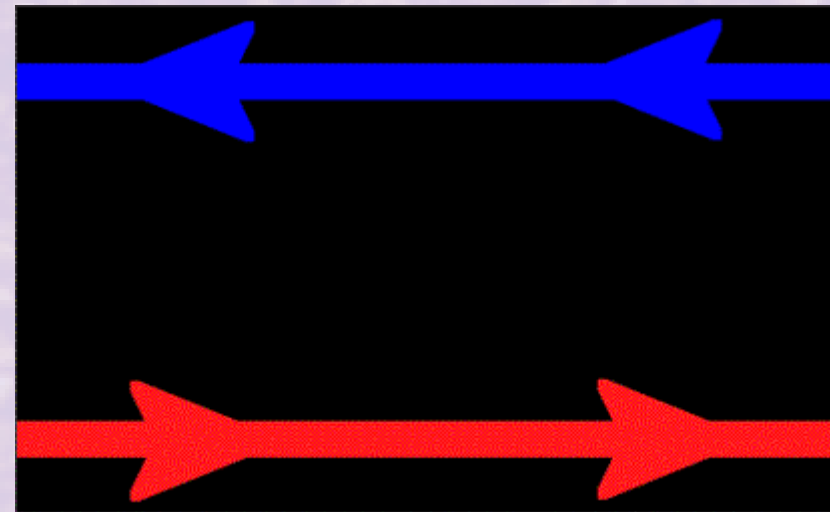
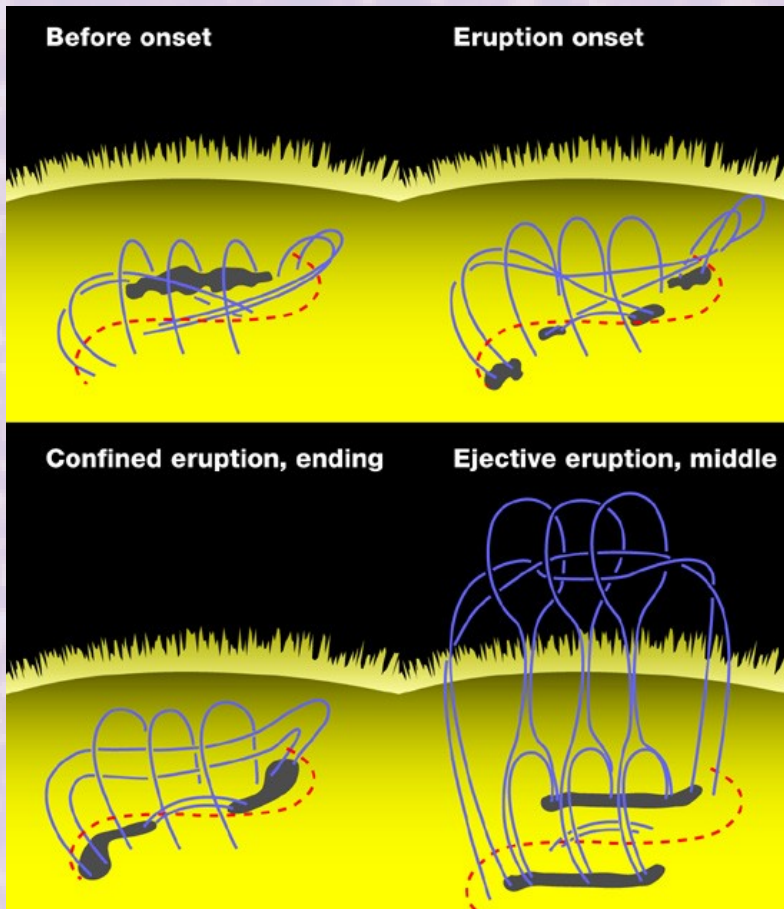
Standardní model sluneční erupce

- Rekonexe v koróně
- Smyčky v UV a X záření
- Zjasnění v chromosféře jako důsledek bombardování částicemi
 - Vysvětluje filamenty i jejich vzdalování
 - Bílá erupce?
- Post-flare loops
- CME jako průvodní jev?



Rekonexe magnetického pole

- Změna topologie magnetického pole, volná energie uvolněna ve formě energie a částic



- Ukládání volné energie do konfigurace pole
 - Např. fotosférickými pohyby

Sweet-Parker vs. Petschek

- Sweet-Parker (1957)

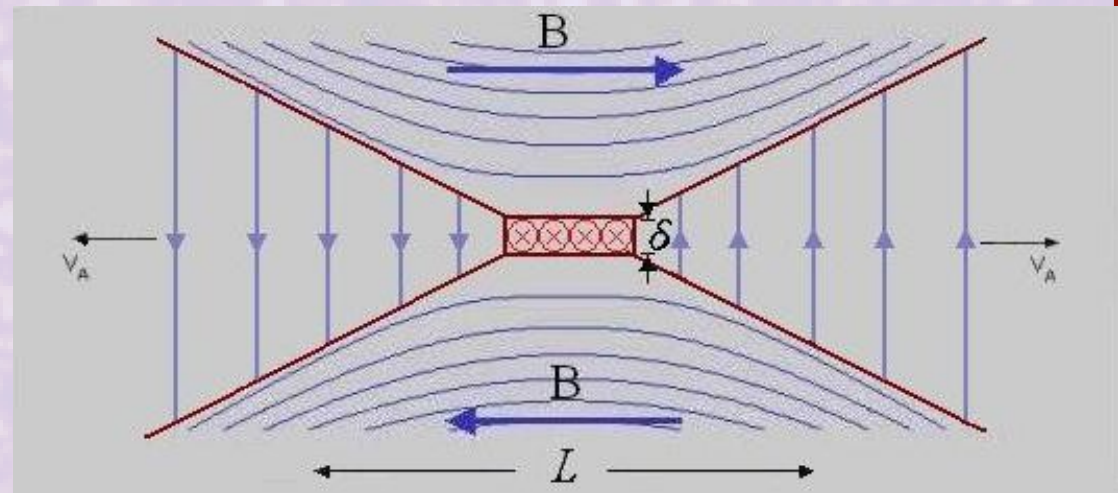
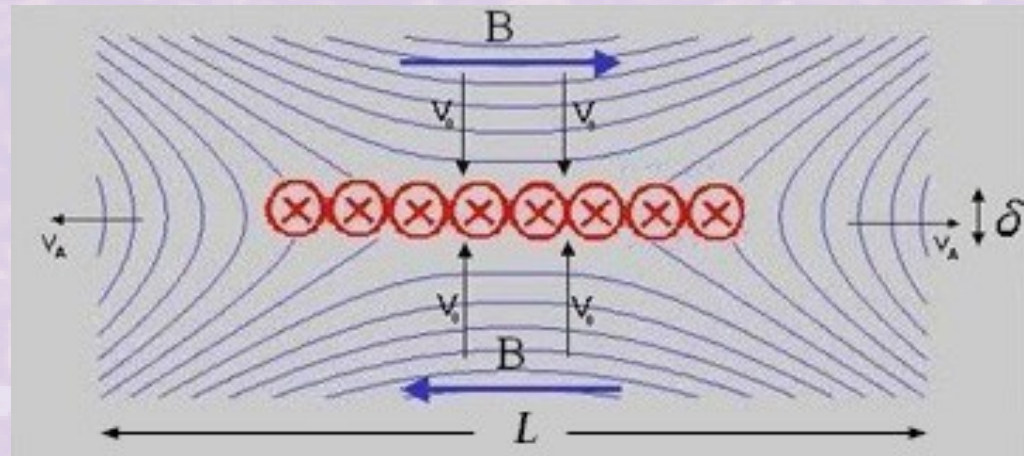
- Nedostatečná rychlost

- Petschek (1964)

- Modifikace morfologie
- Produkuje dostatečnou rychlost

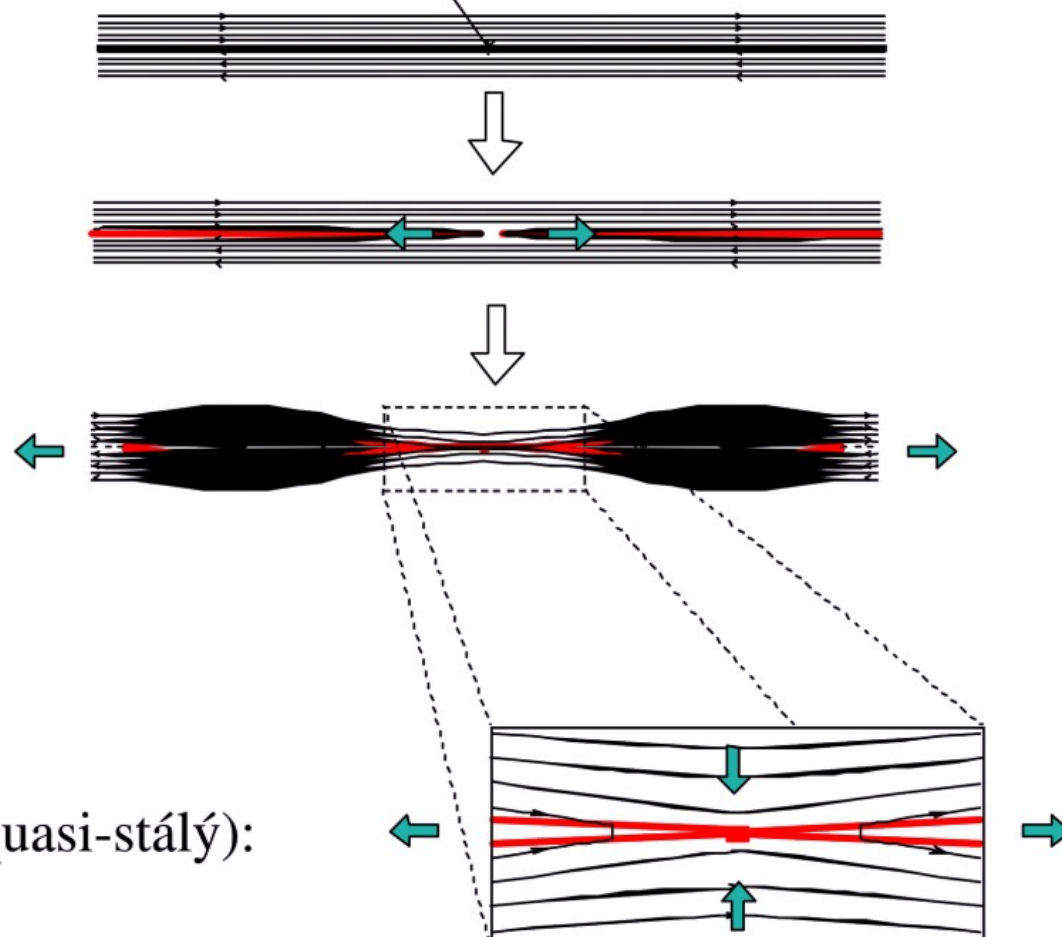
- Anomální rezistivita

- Důsledek plazmových nestabilit v oblastech proudové plochy, pokud rychlost elektronů dosáhne rychlosti plazmových vln



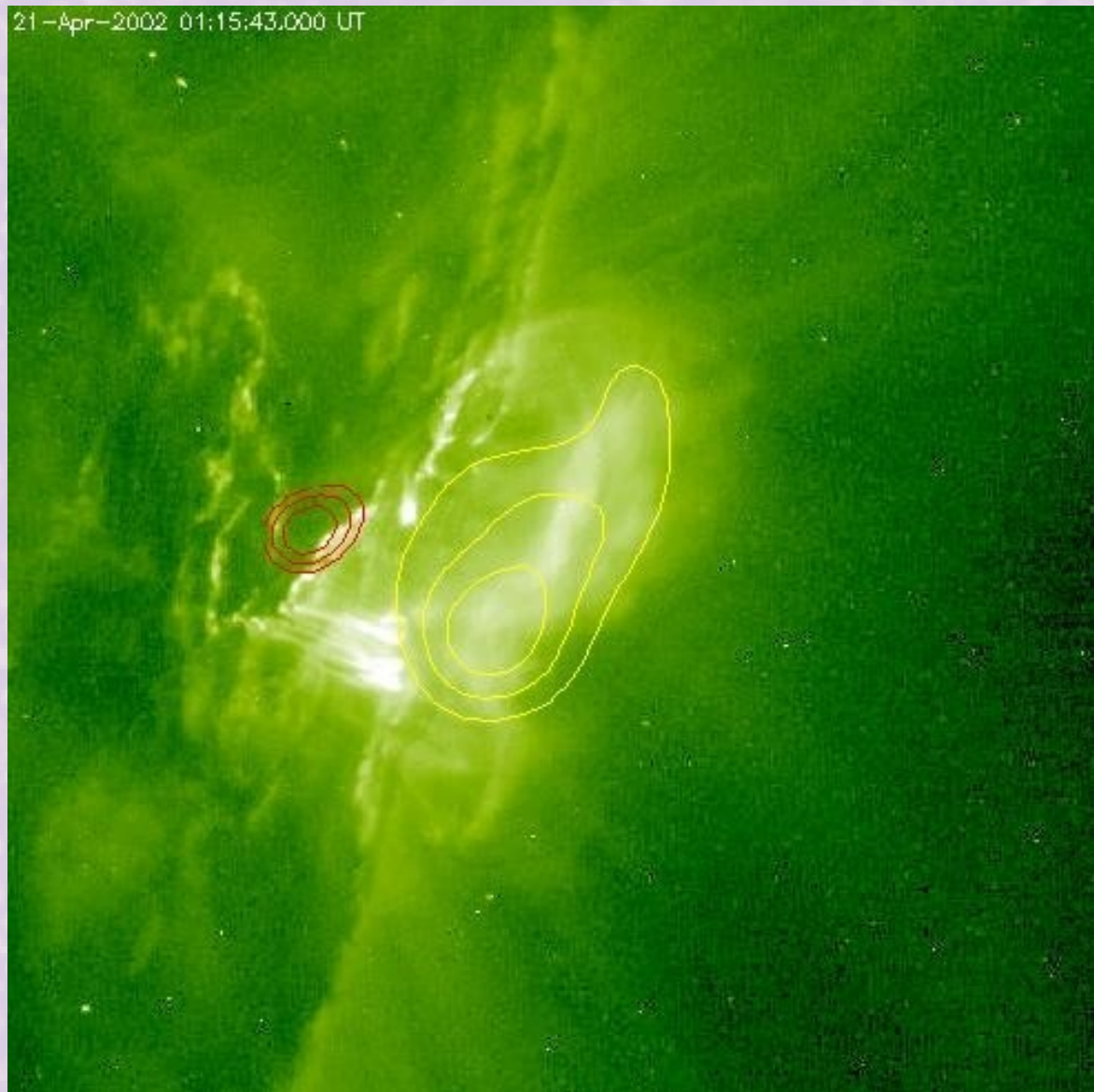
Interpretace Petschekova řešení

dočasně zvýšená rezistivita

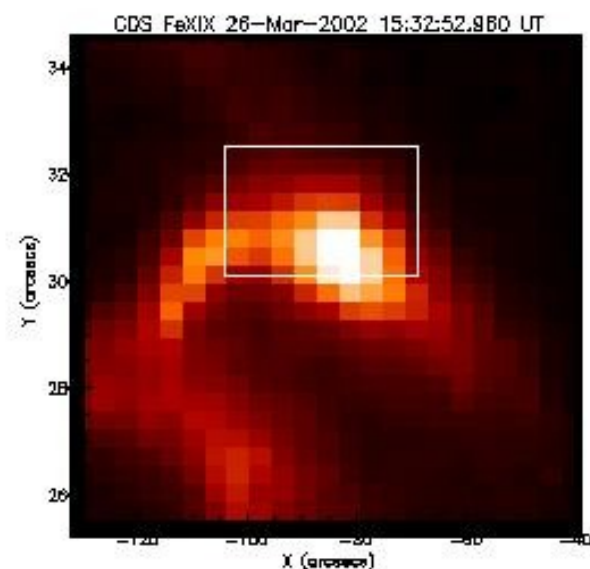
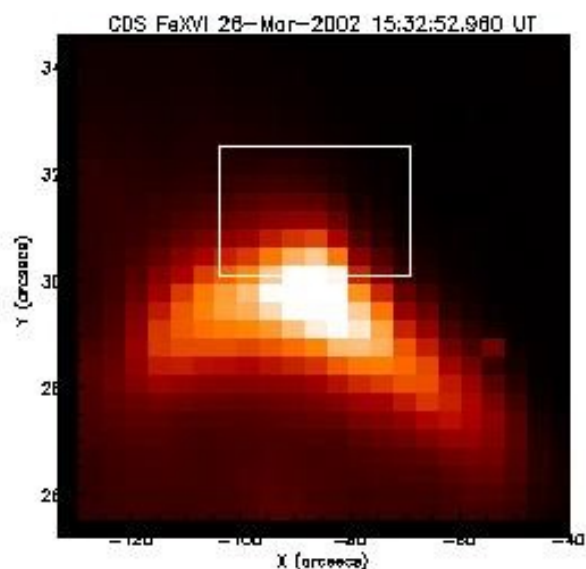
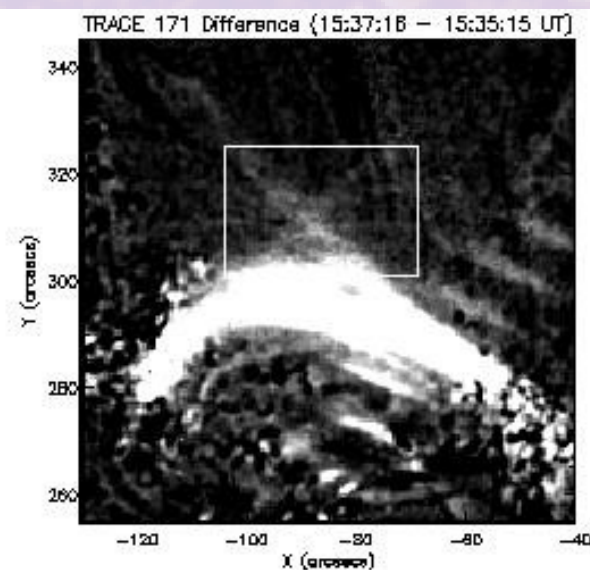
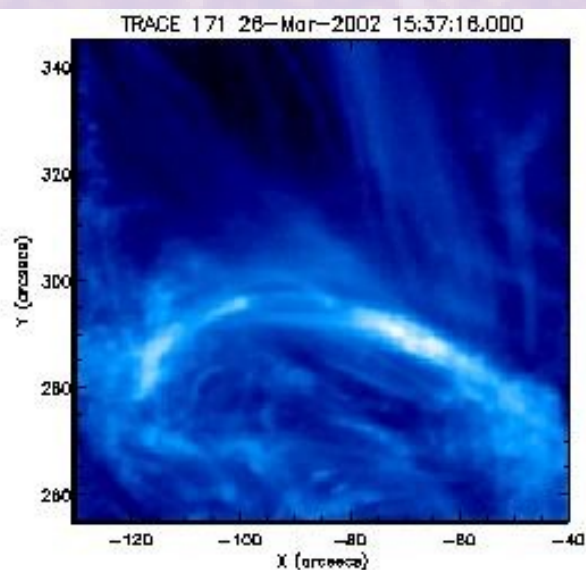


Petschek (quasi-stálý):

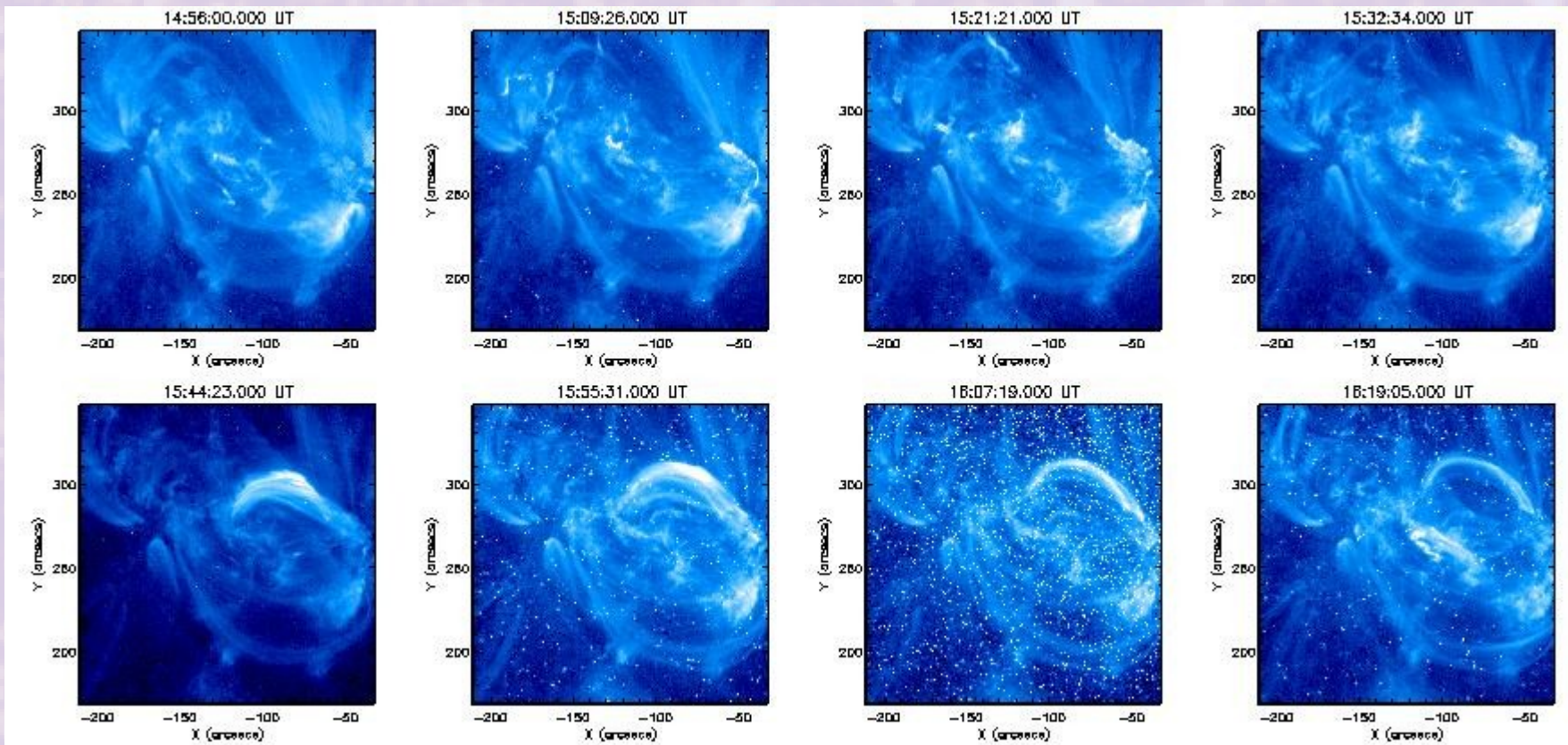
Pozorovací důkaz magnetické rekonexe



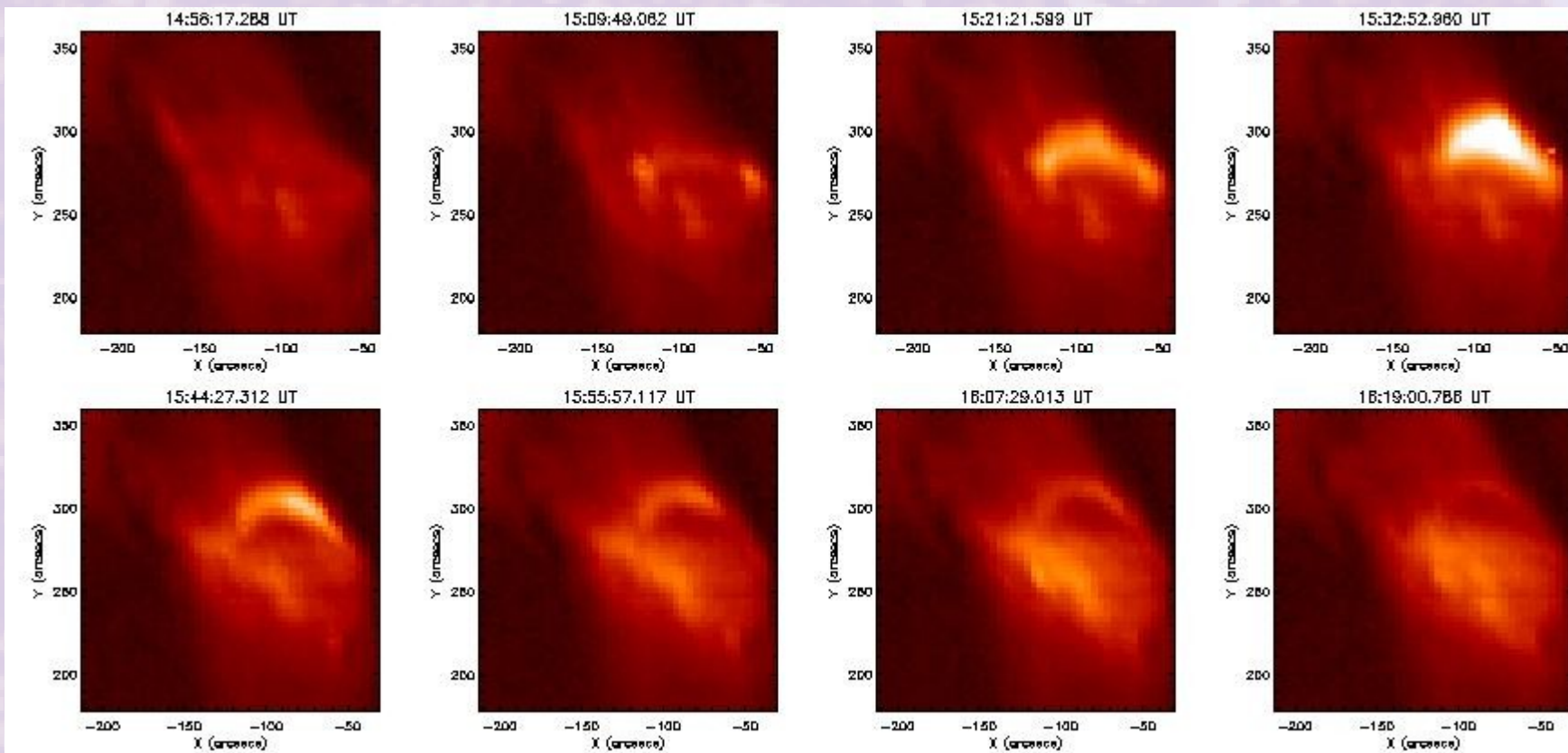
X-point



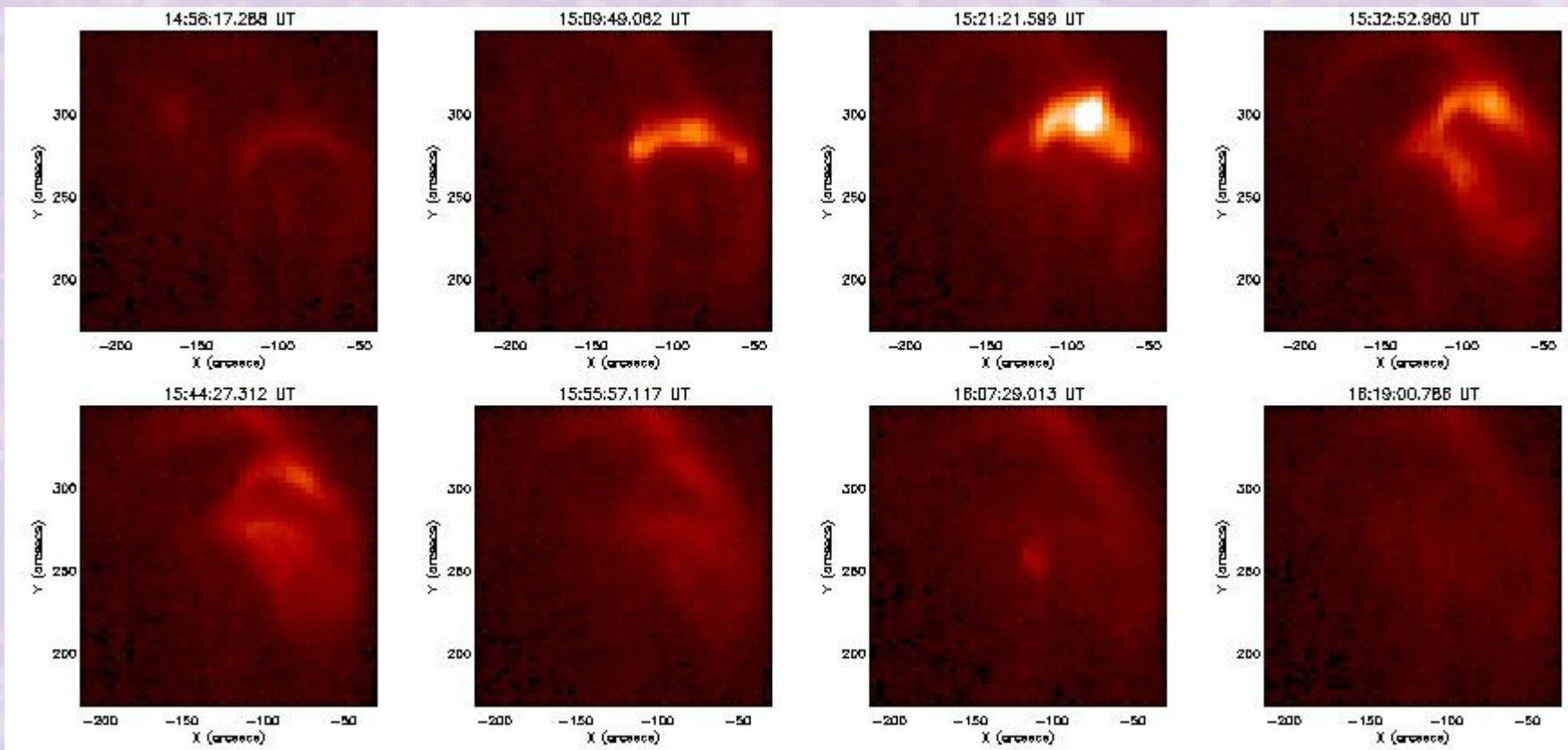
TRACE Fe IX/X (~ 1 MK)



TRACE Fe XVI (~ 2,5 MK)



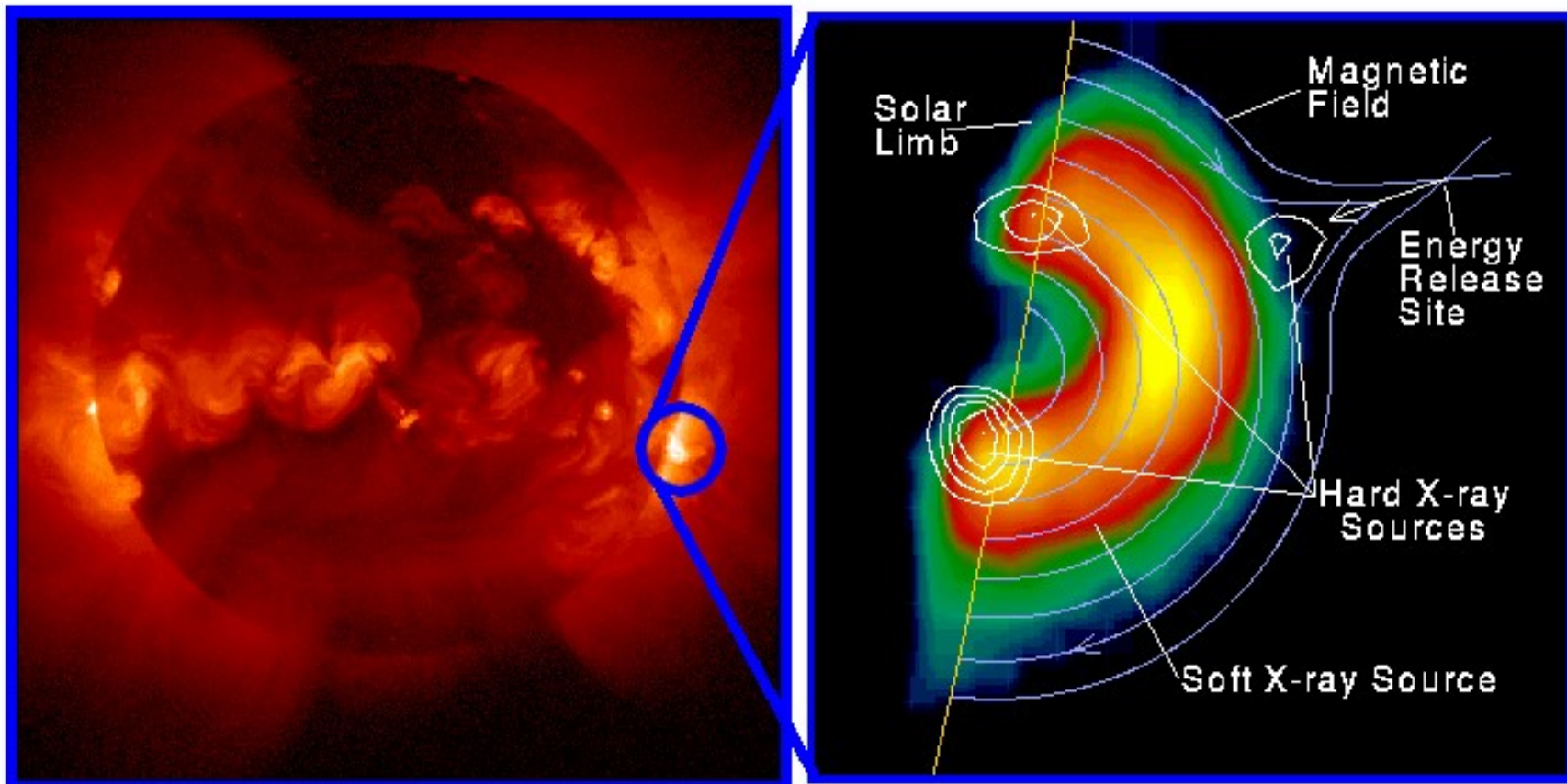
TRACE Fe XIX (~ 7,9 MK)



Kaspová struktura

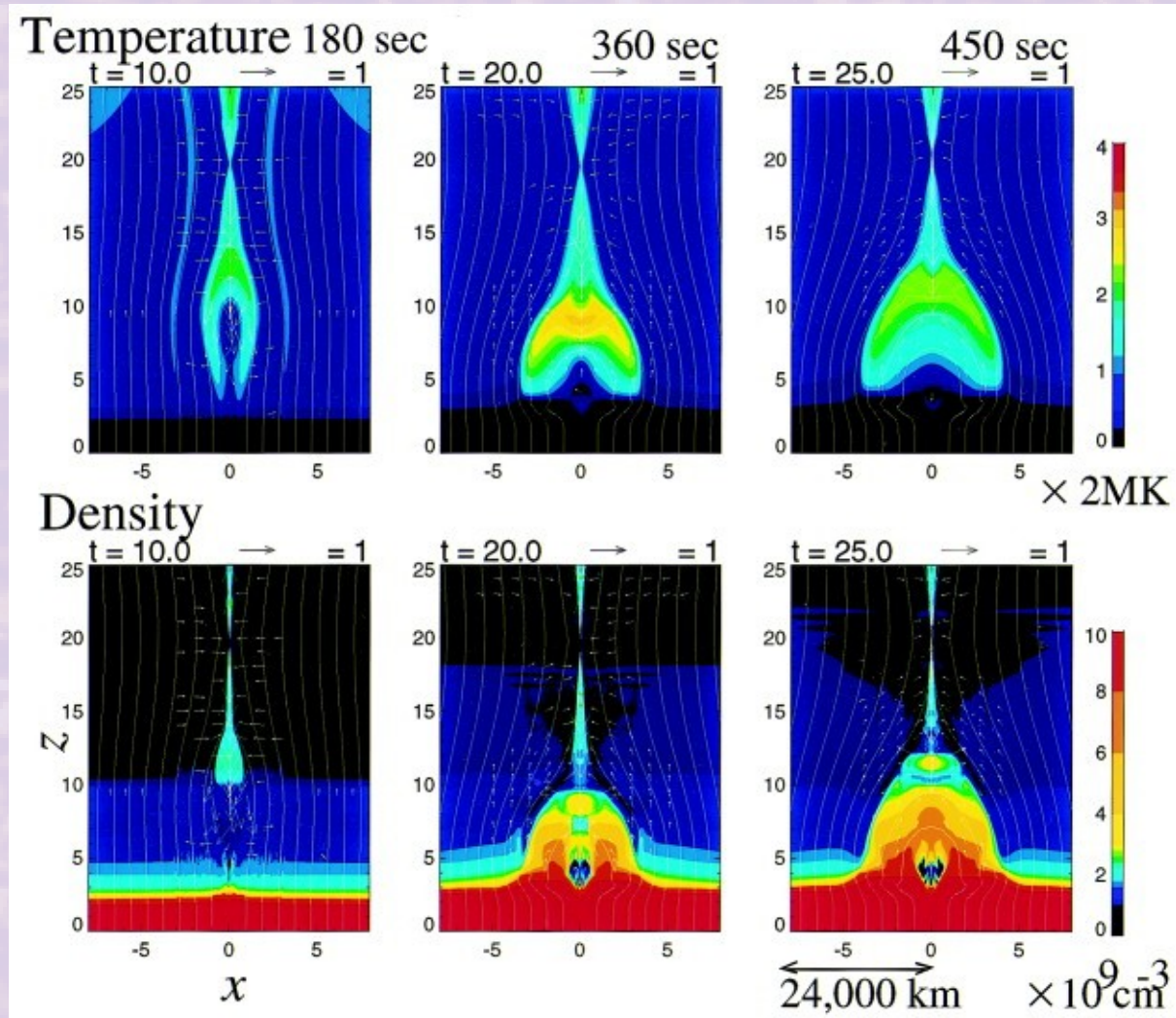


SXR vs. HXR



Yohkoh X-ray Image of a Solar Flare, Combined Image in Soft X-rays (left) and Soft X-rays with Hard X-ray Contours (right). Jan 13, 1992.

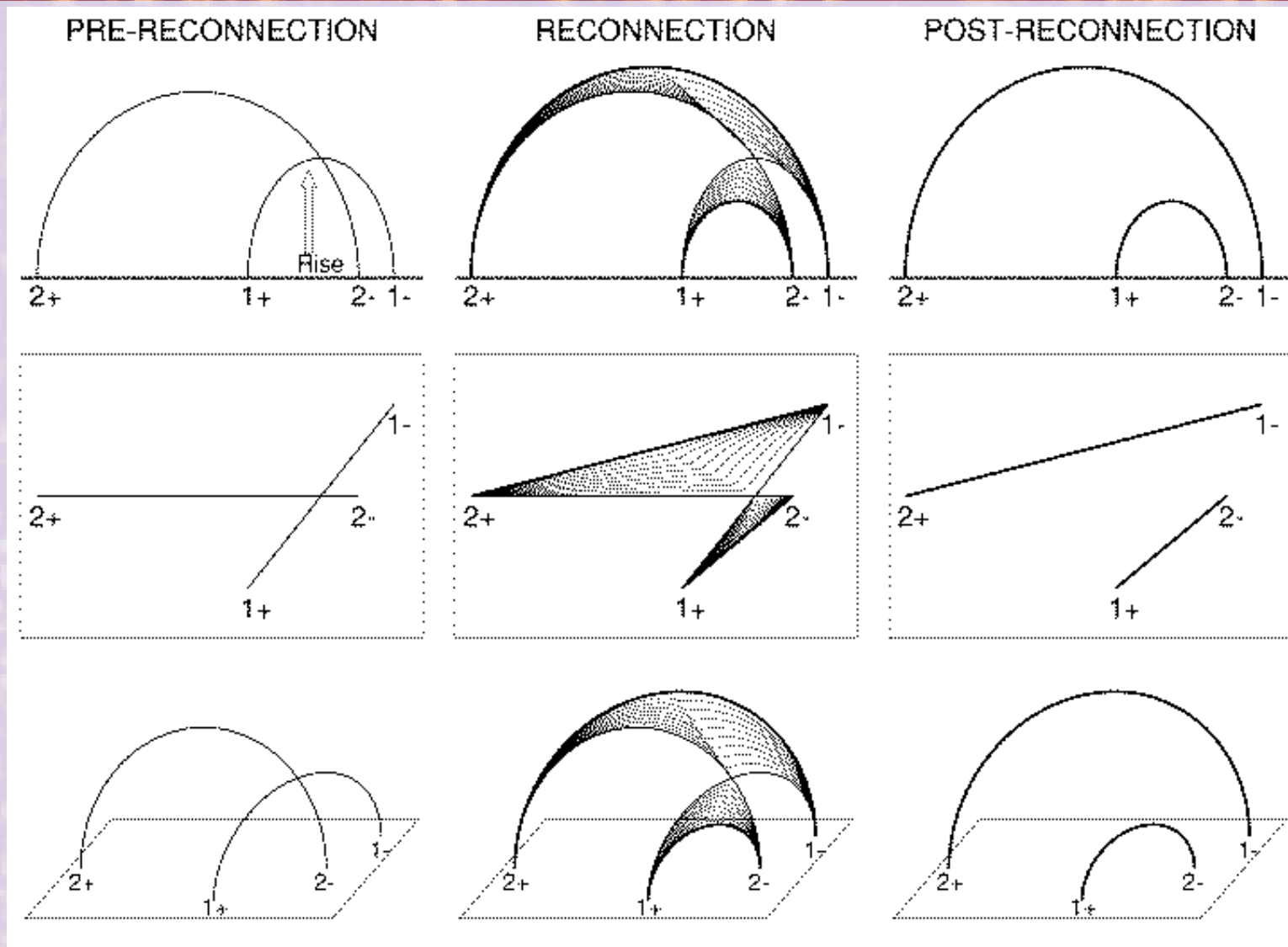
Simulace rekonexe



Simulace rekonexe

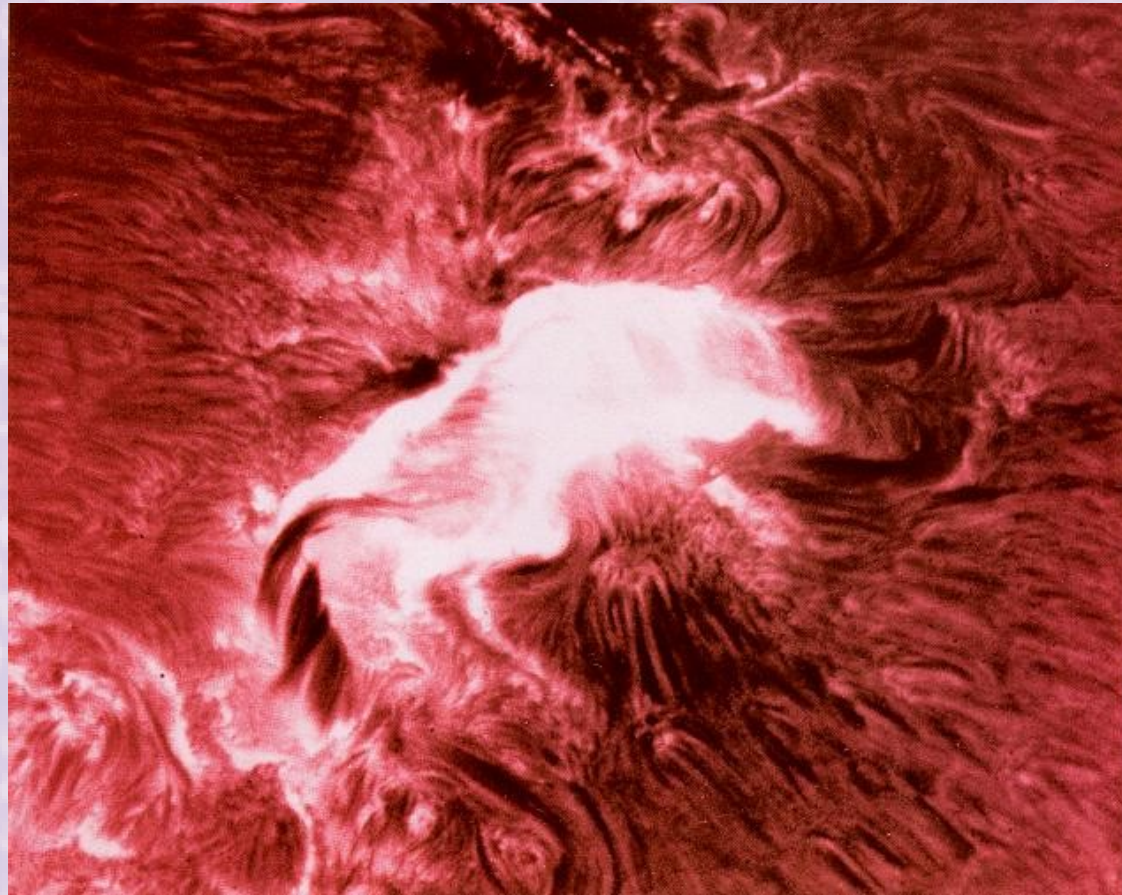


Rekonexe v kvadrupólní konfiguraci



Odpovídá vynořování nového pole do starého existujícího – konfigurace δ slunečních skvrn

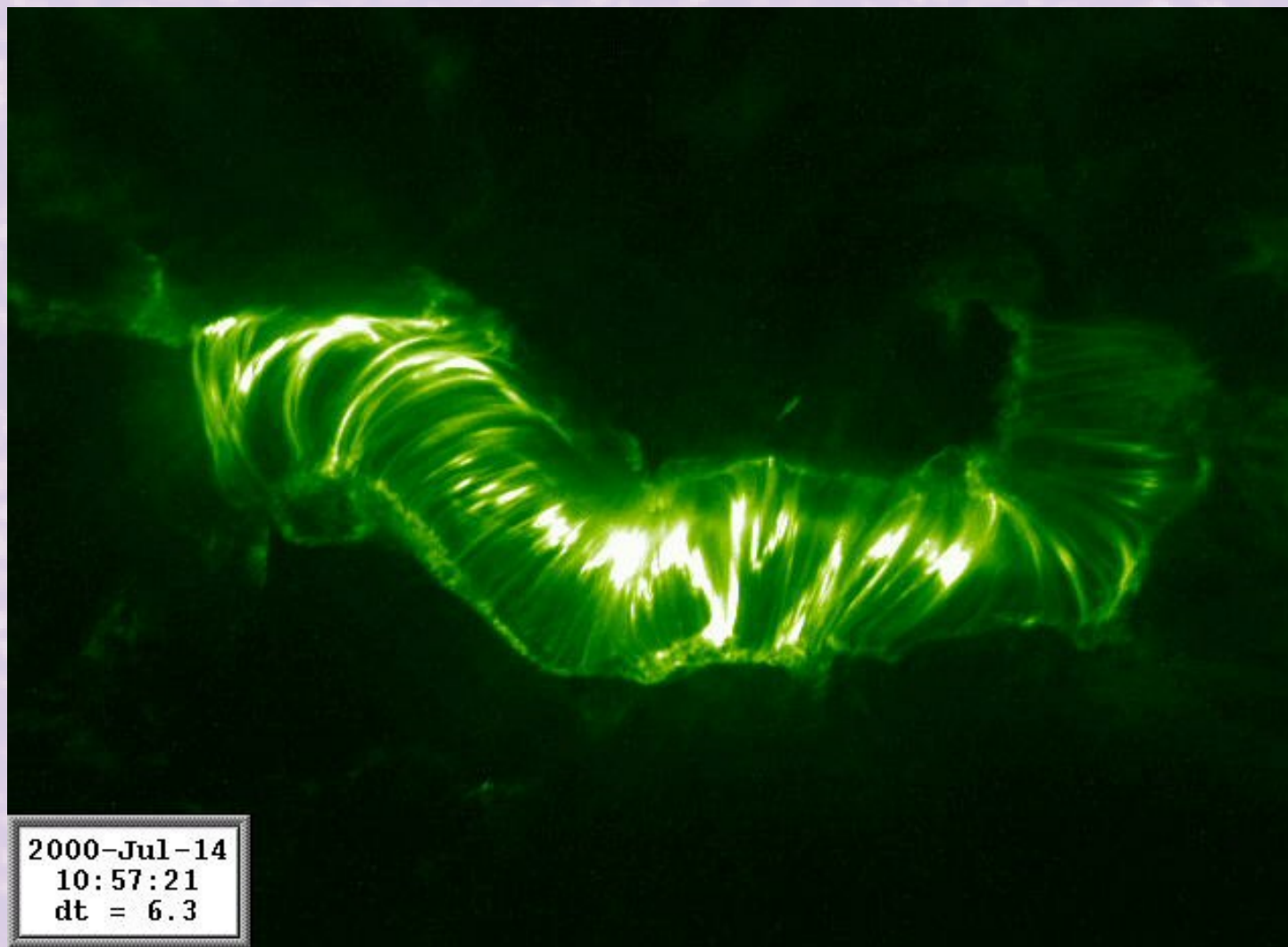
- Zjasnění = ohřev bombardováním částicemi z koróny
- Dvě vlákna – toky podél formujících se poerupčních smyček
- Bílá erupce = bombardování až fotosféry



Erupce v H α : animace



Poerupční smyčky v EIT



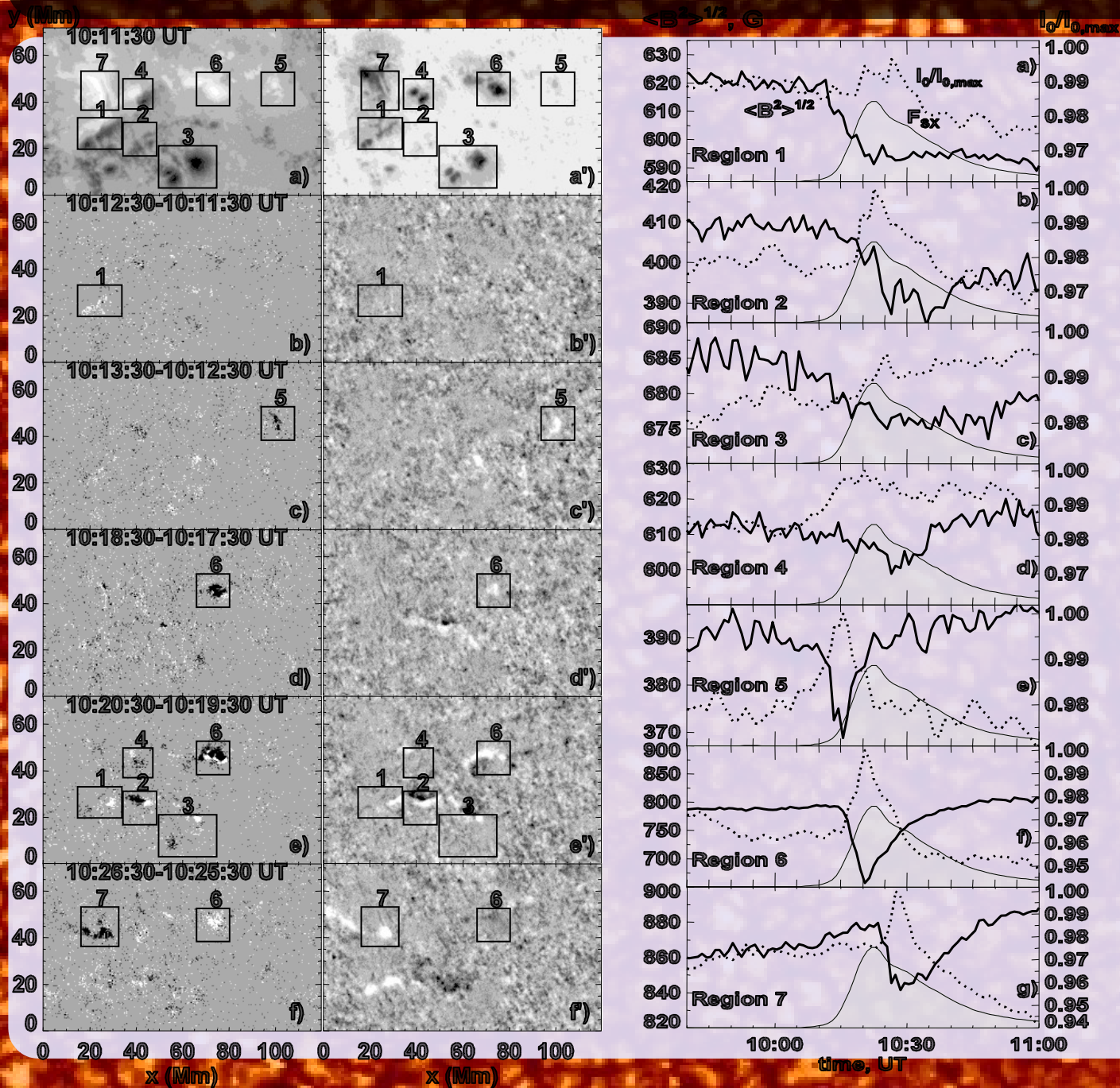
Poerupční smyčky: video



Formace poerupčních smyček: TRACE

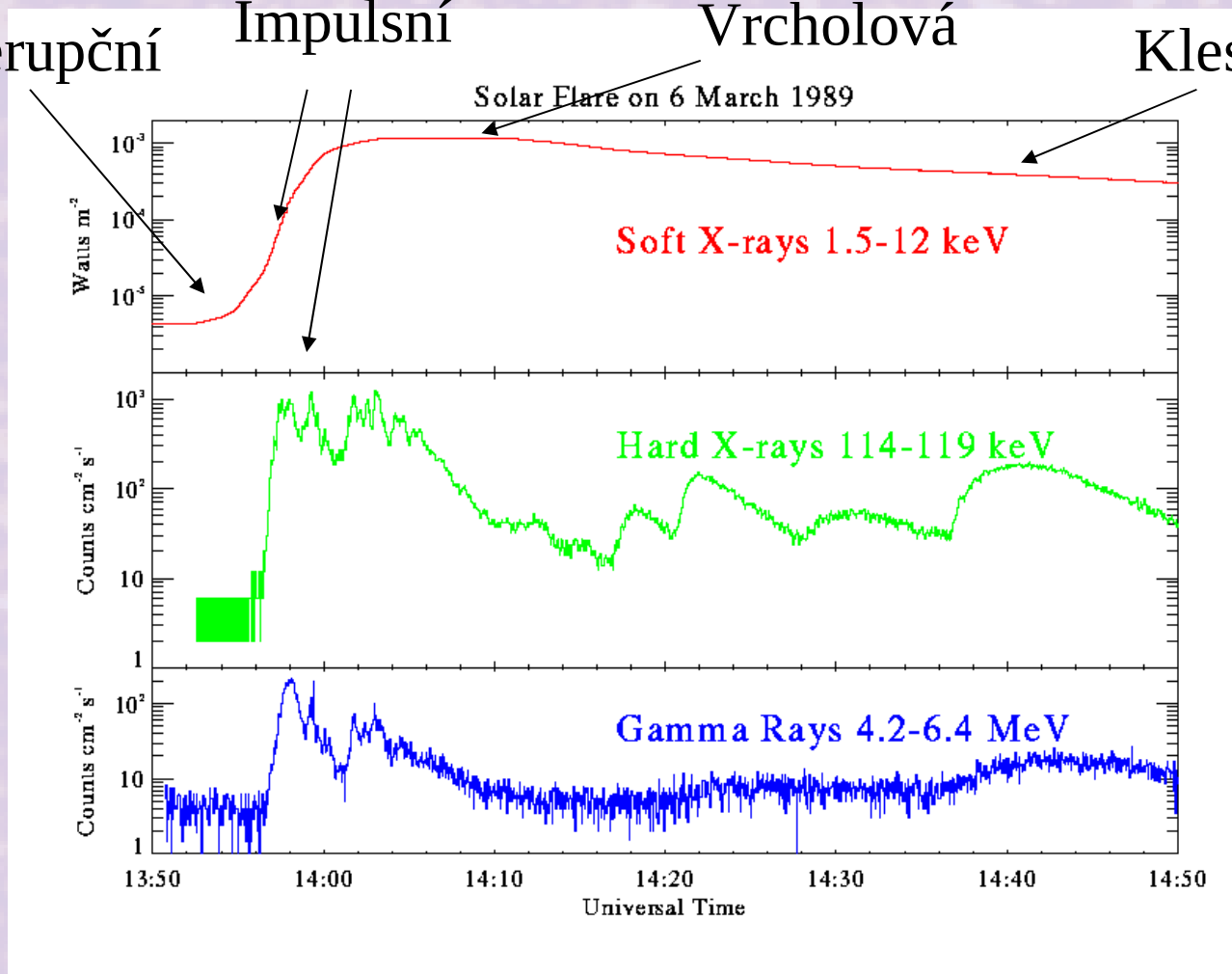


Vývoj magnetického pole v erupci

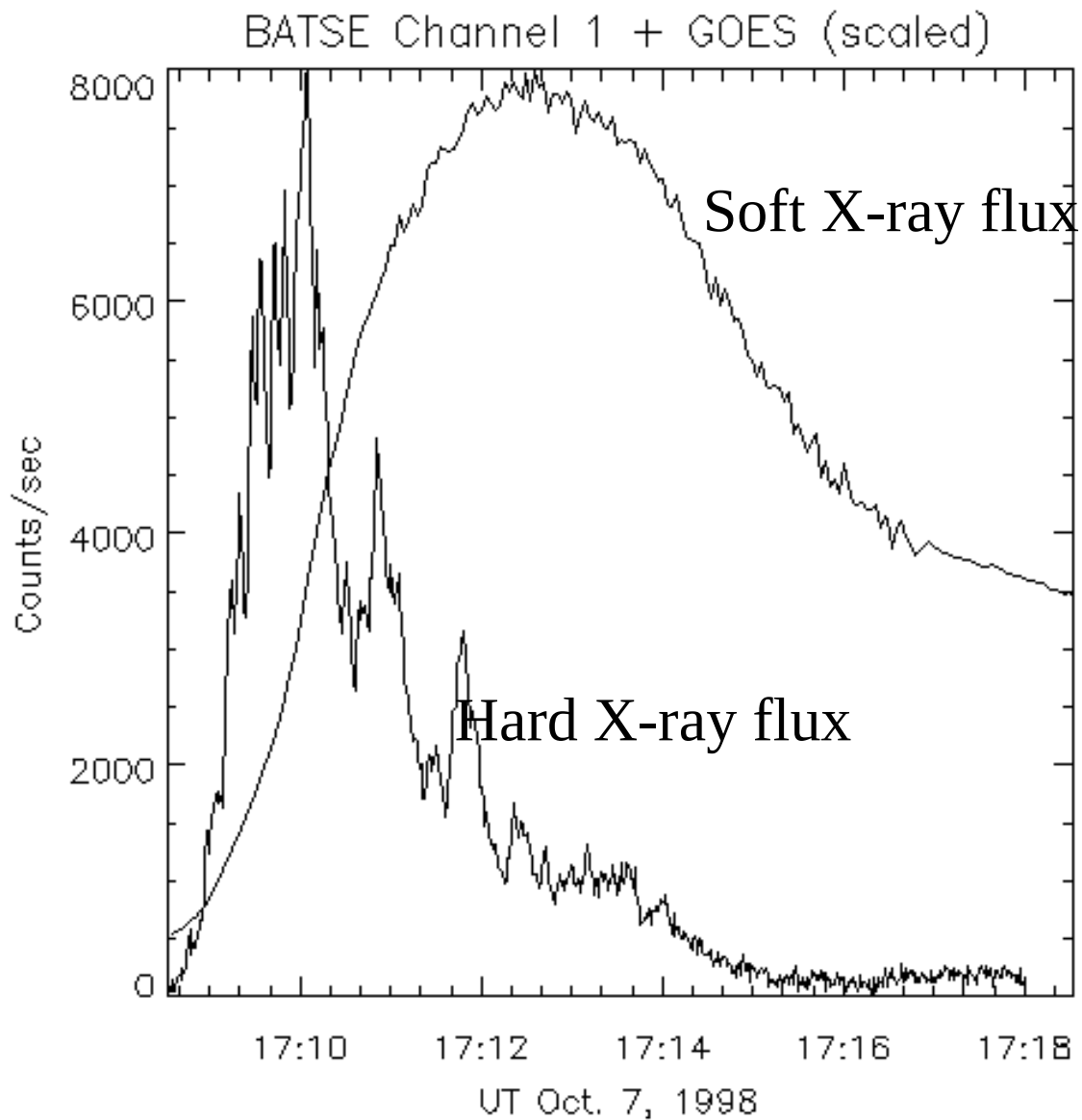


- Plná = magnetické pole
- Čárkovaná = jas fotosféry
- Šedá = vývoj XRT toku pro celé Slunce

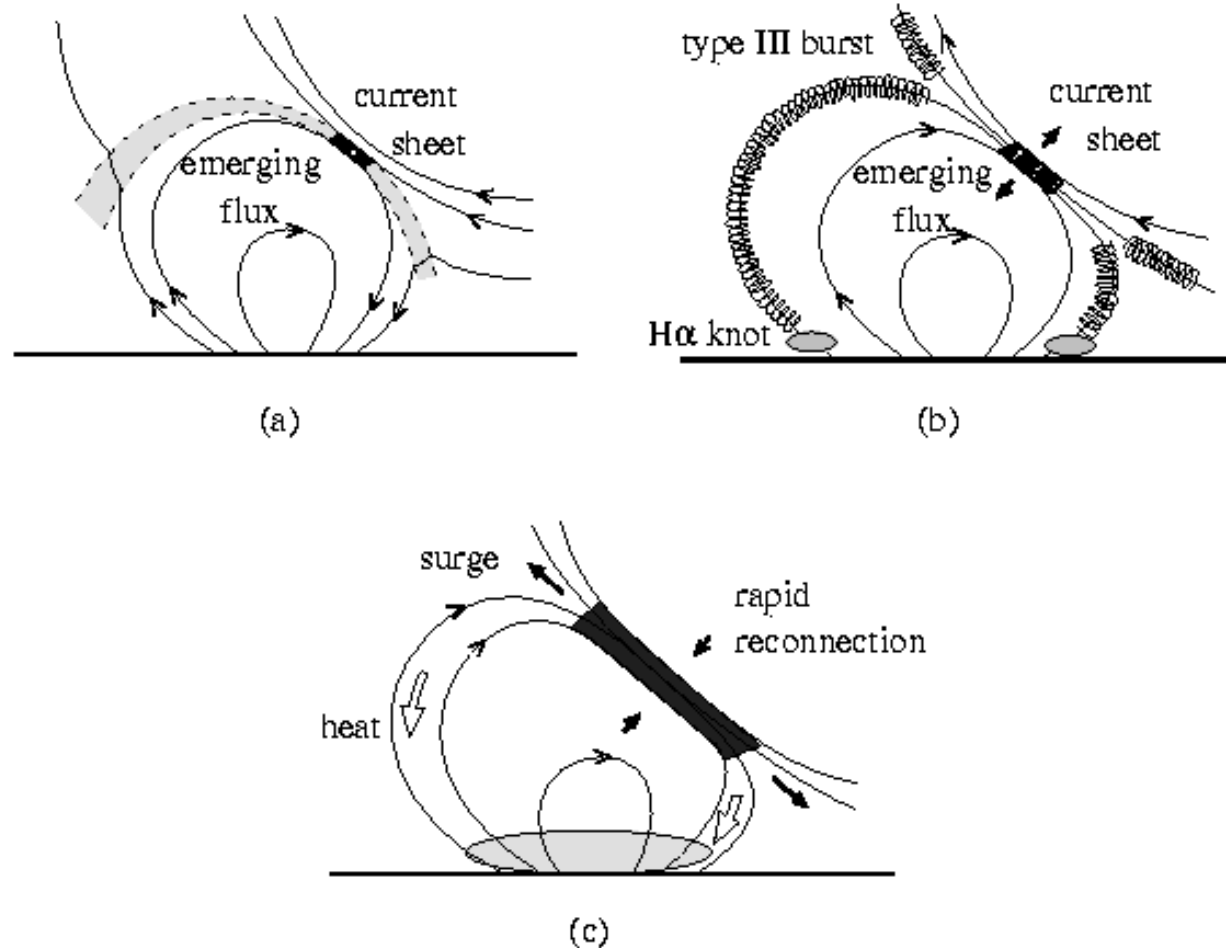
Přederupční Impulsní Vrcholová Klesající



Neupertův efekt



- Během rostoucí fáze je SXR tok integrálem HXR toku



- Rekonexe při vynořování nových magnetických polí

Erupce = komplex jevů



粒子加速の標準理論 Fermi Acceleration

(Courtesy of M. Scholer)

