

# Sluneční erupce

Sluneční fyzika  
LS 2013/2014

**Michal Švanda**

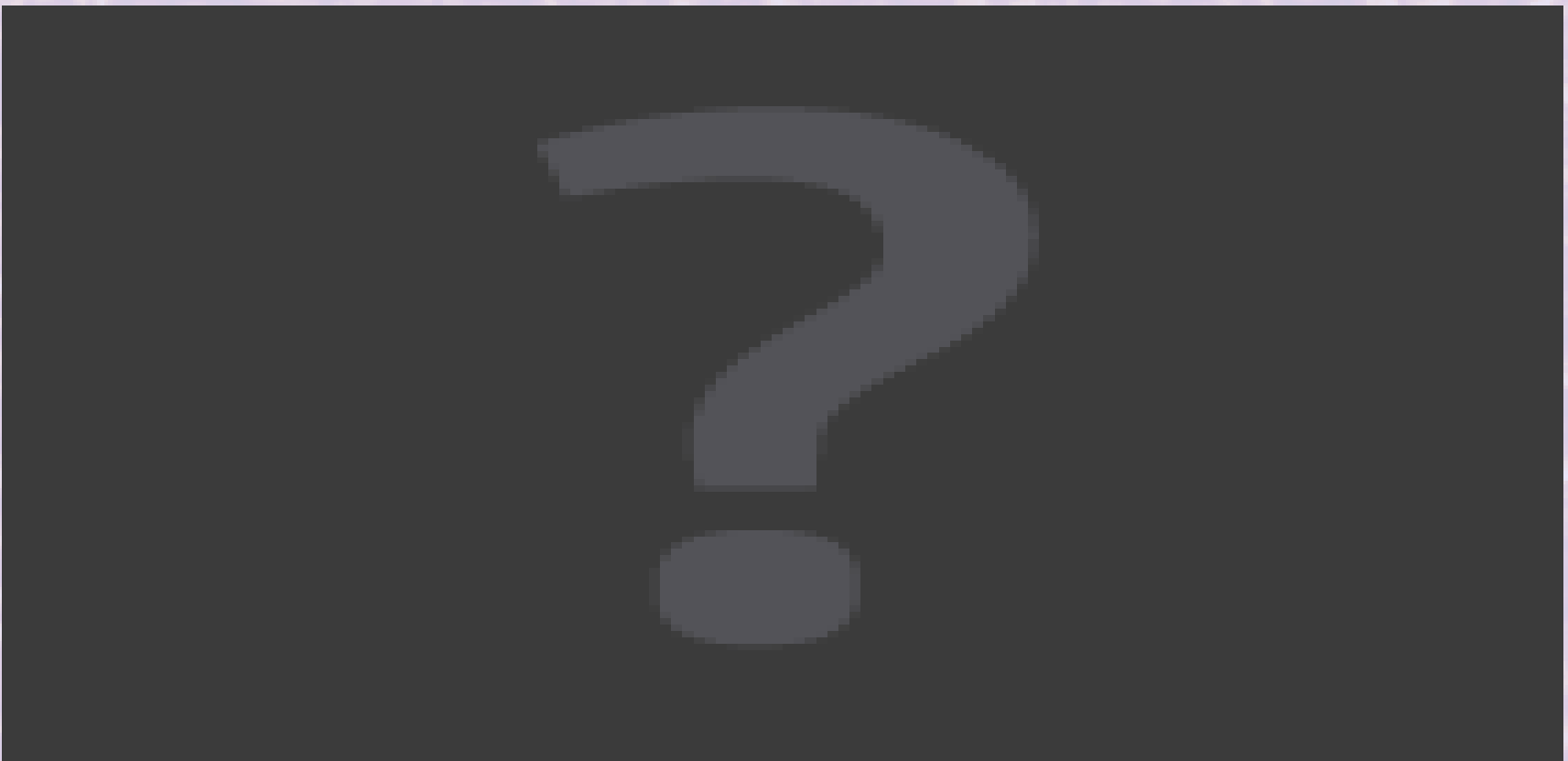
Astronomický ústav MFF UK  
Astronomický ústav AV ČR



# Energetické jevy na Slunci

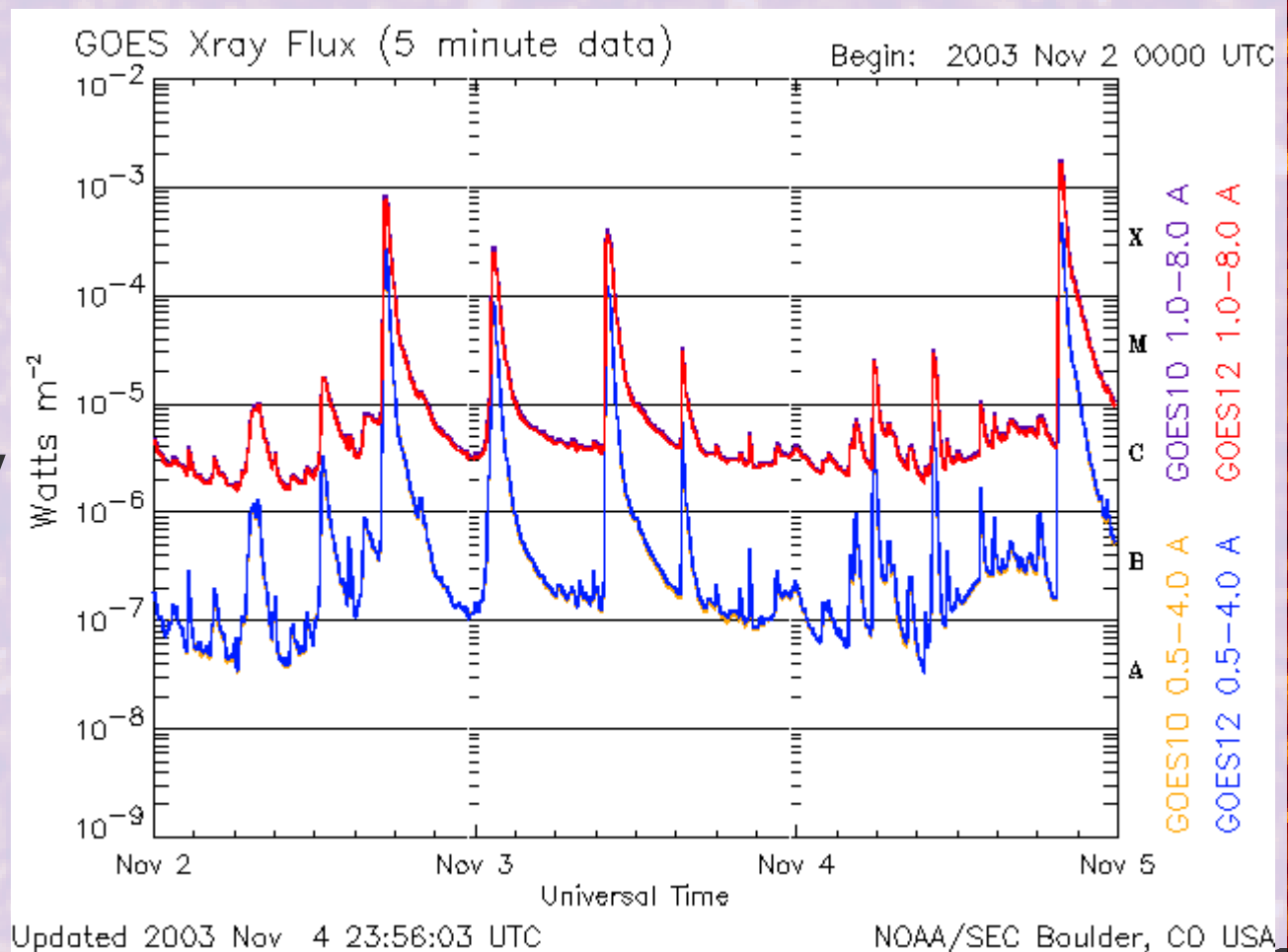
- 1. září 1859 – R. Carrington
  - Během zakreslování skupin slunečních skvrn si povšiml významného zjasnění, které trvalo cca 5 minut. Den poté zasáhla Zemi geomagnetická bouře.
  - Pozorování bílé erupce
- Erupce
  - Energetické jevy, uvolňuje se až  $10^{25}$  J energie během maximálně pár desítek minut
  - Pozorování v optickém oboru na H $\alpha$  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

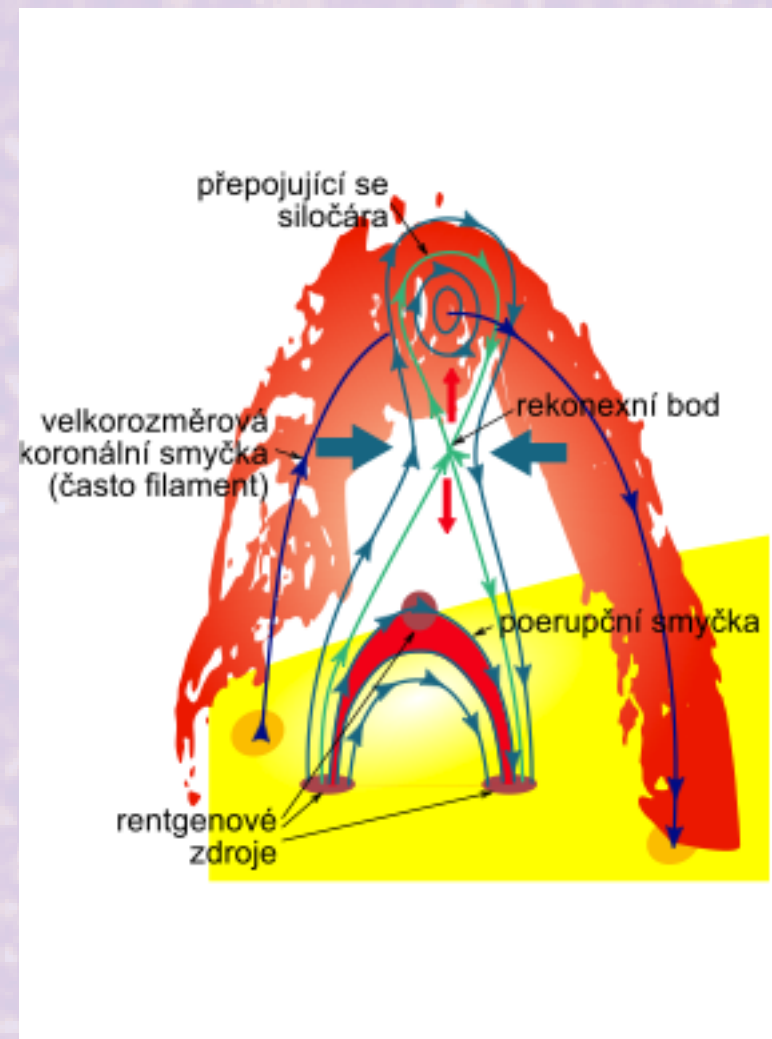


## Disipace magnetických polí

- 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.

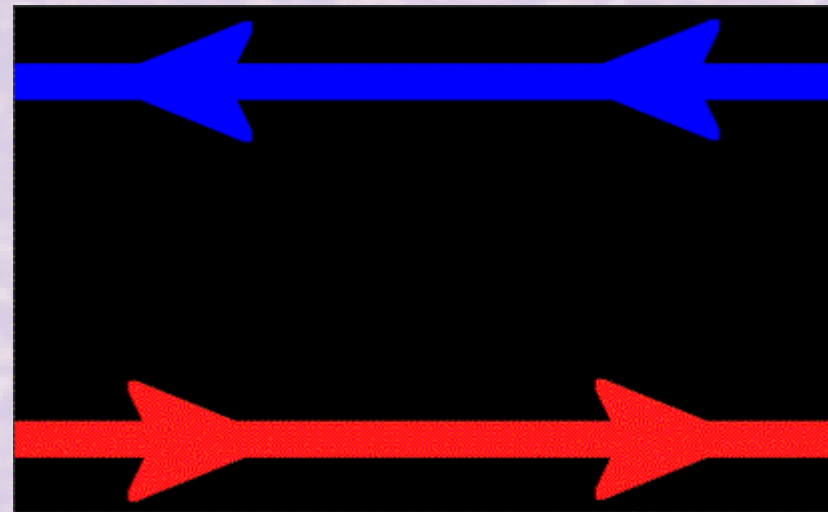
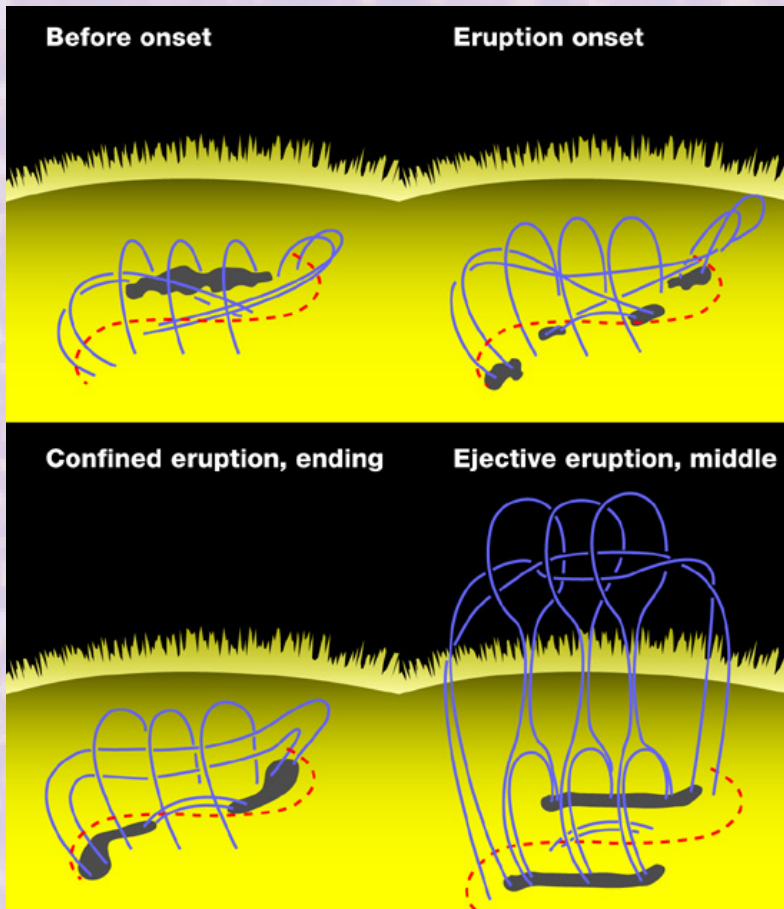
# Standardní model sluneční erupce

- 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

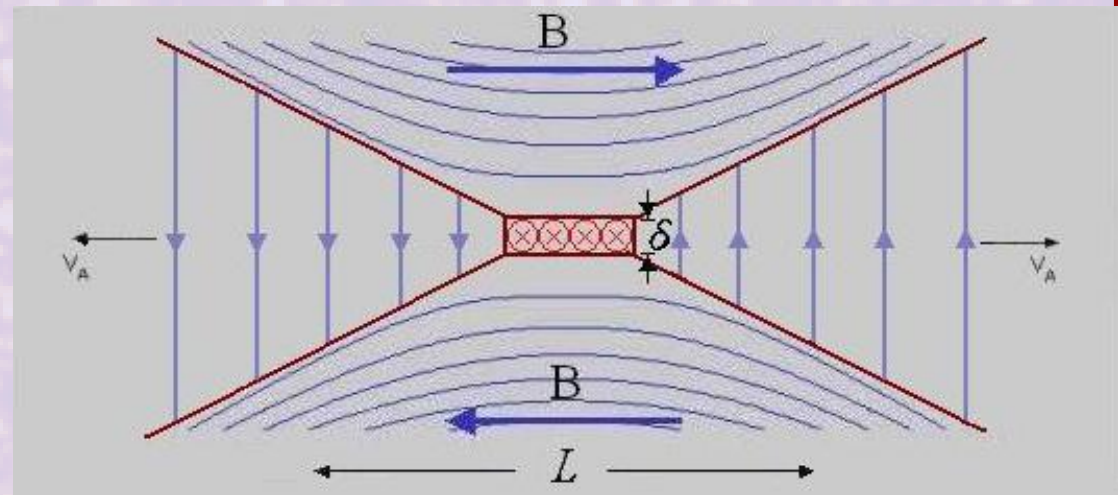
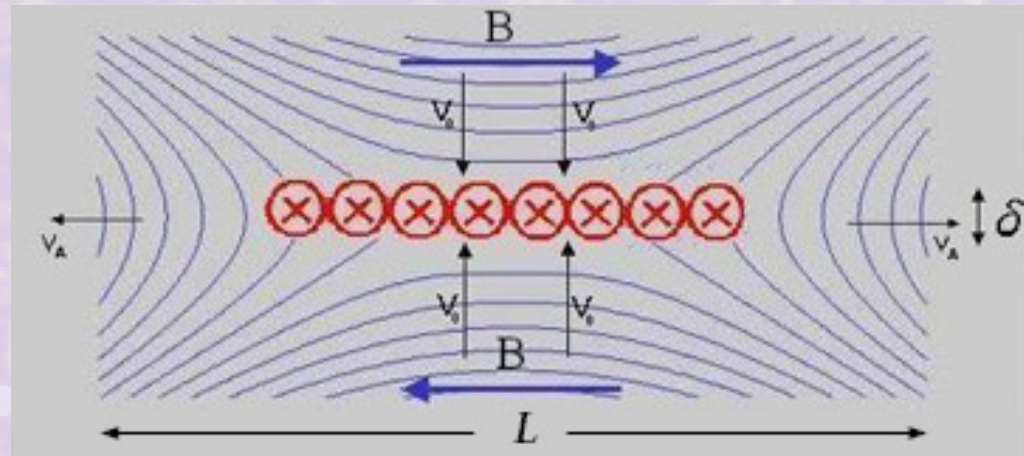
- Změna topologie magnetického pole, volná energie uvolněna ve formě energie a částic



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

# Sweet-Parker vs. Petschek

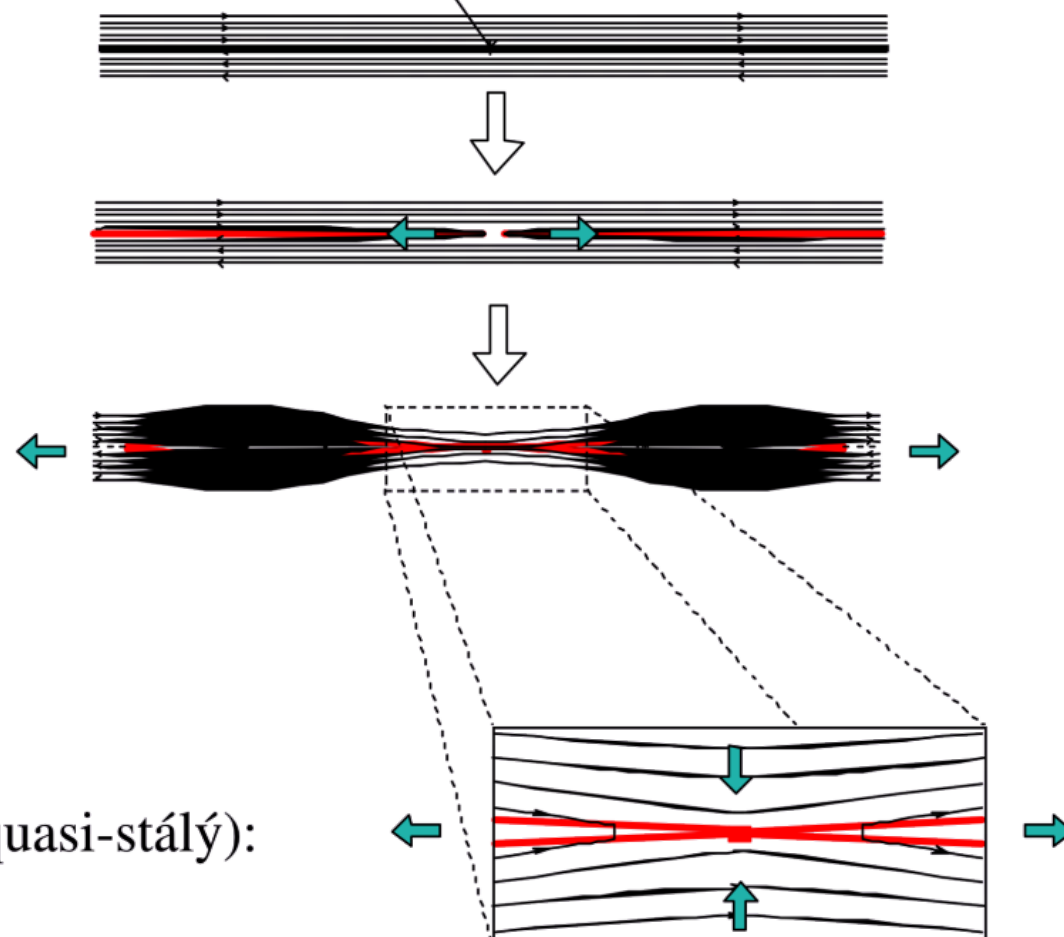
- Sweet-Parker (1957)
  - Nedostatečná rychlost
- Petschek (1964)
  - Modifikace morfologie
  - Produkuje dostatečnou rychlost
- Anomální rezistivita
  - Důsledek plazmových nestabilit v oblastech proudové plochy, pokud rychlost elektronů dosáhne rychlosti plazmových vln





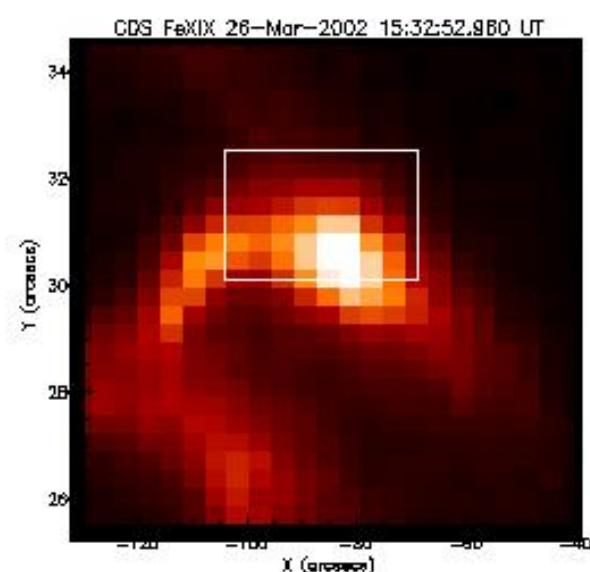
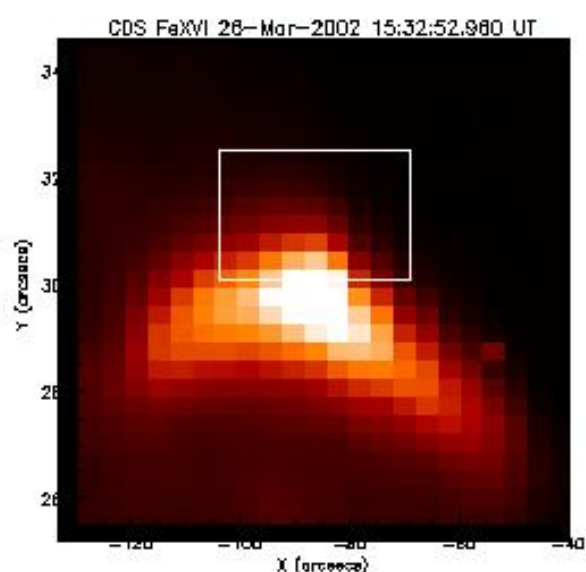
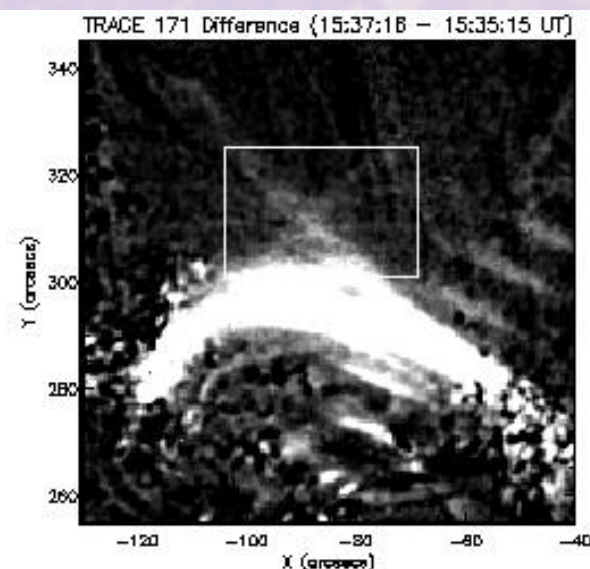
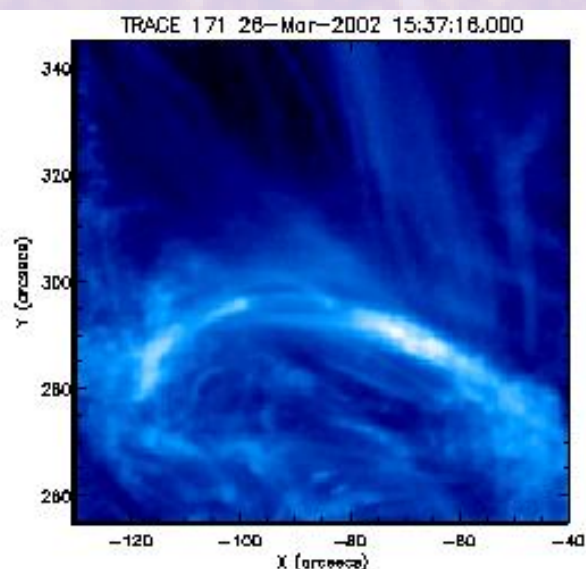
# Interpretace Petschekova řešení

dočasně zvýšená rezistivita



Petschek (quasi-stálý):

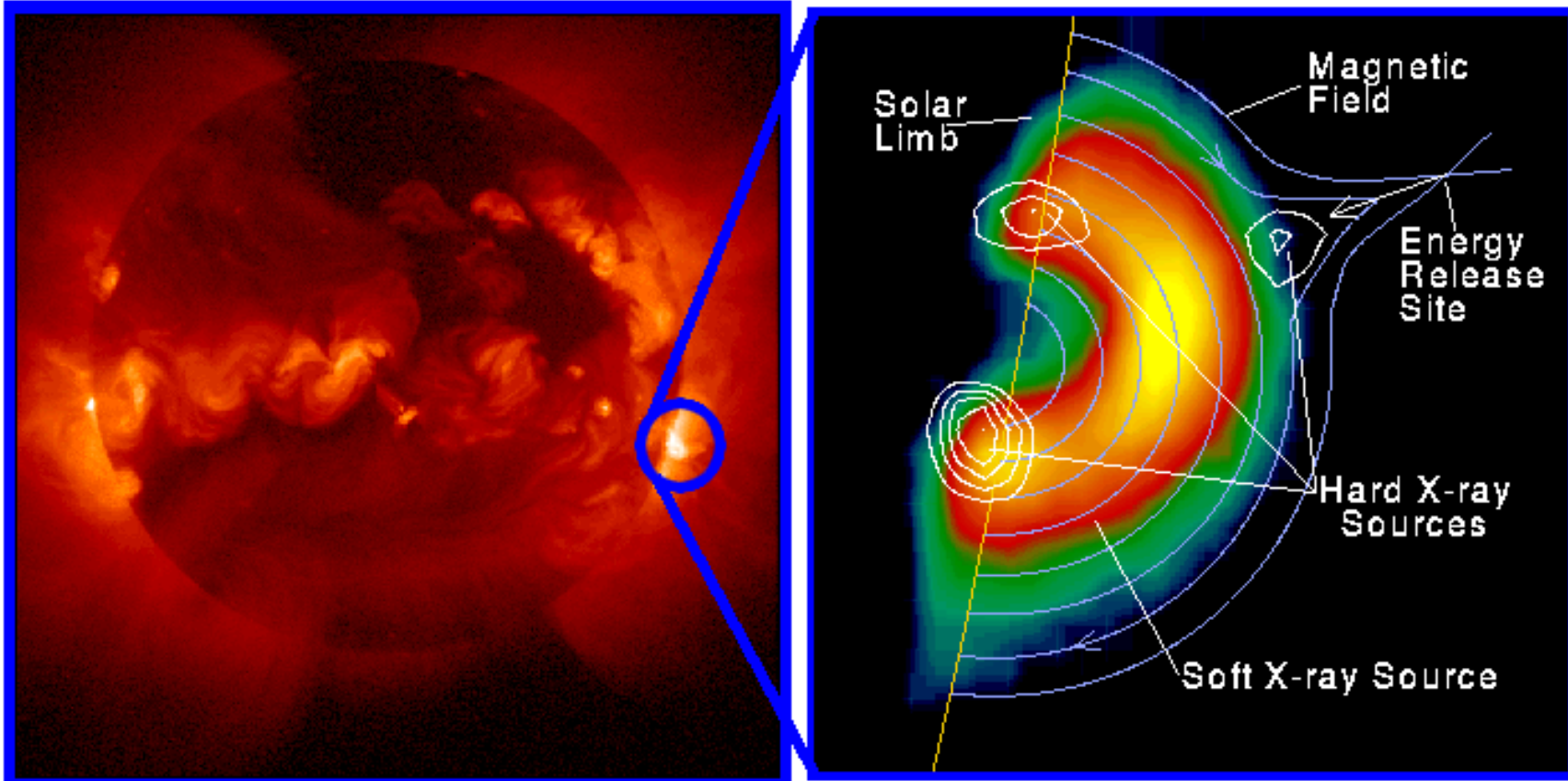
# X-point



## Kaspová struktura



# SXR vs. HXR

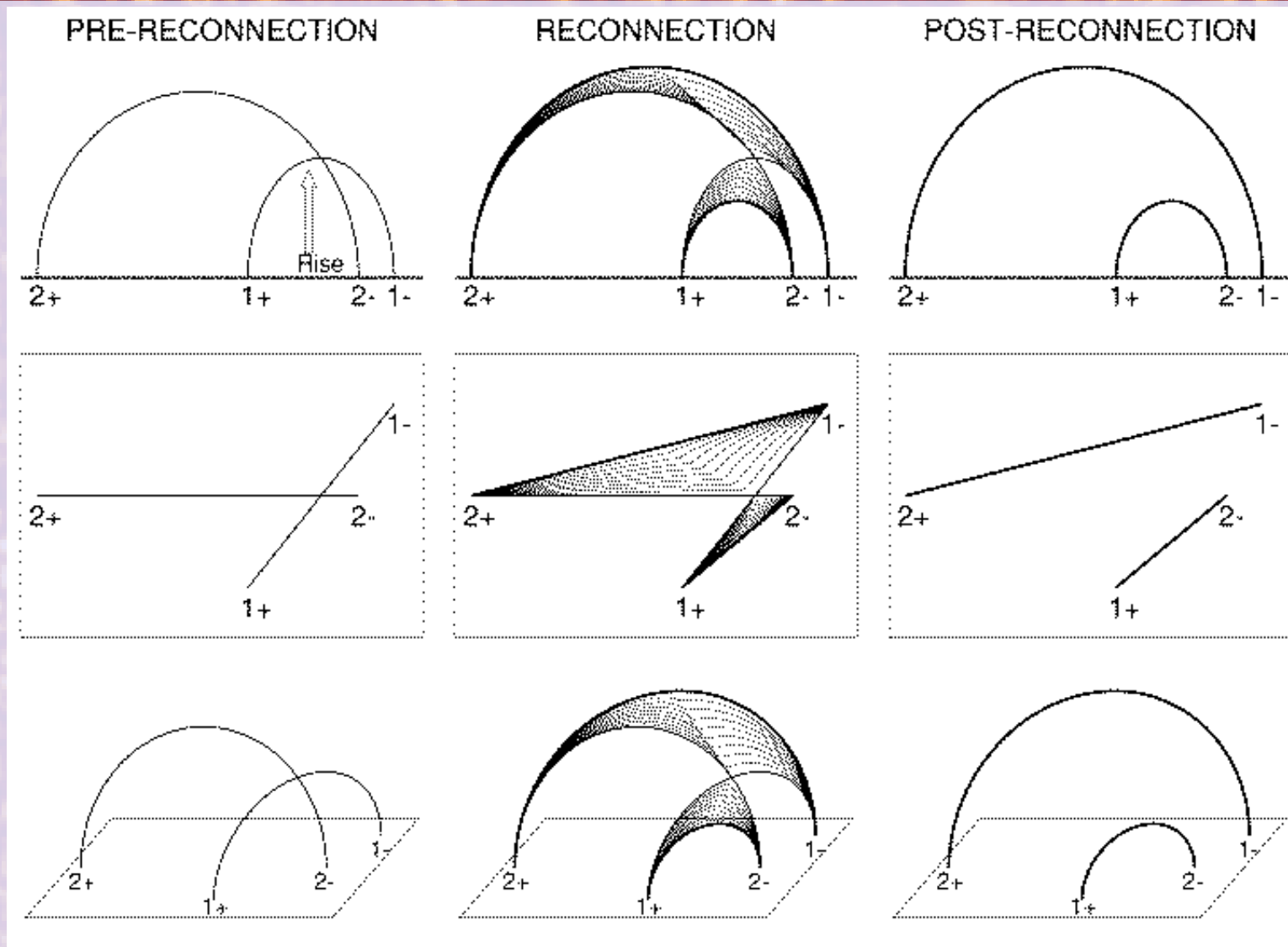


Yohkoh X-ray Image of a Solar Flare, Combined Image in Soft X-rays (left) and Soft X-rays with Hard X-ray Contours (right). Jan 13, 1992.

# Simulace rekonexe

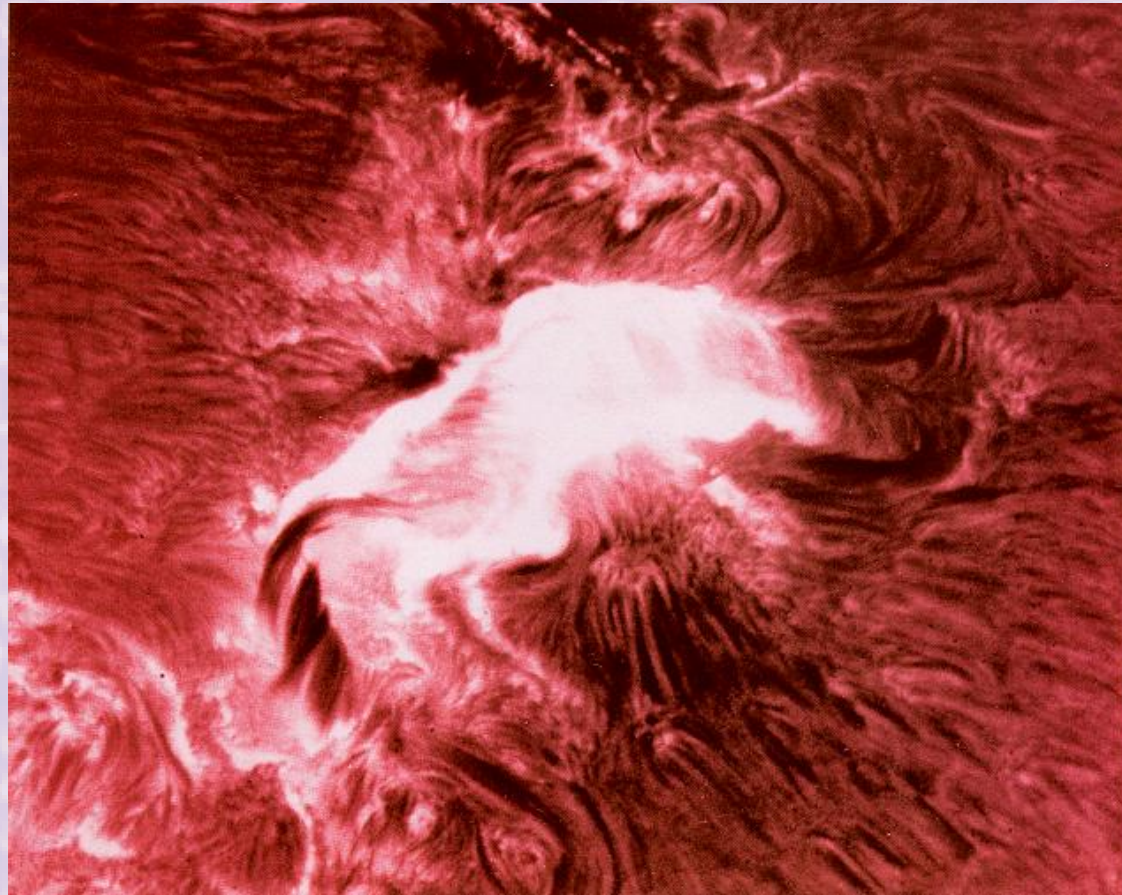


# Rekonexe v kvadrupólní konfiguraci



Odporová vnořování nového pole do starého existujícího – konfigurace  $\delta$  slunečních skvrn

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

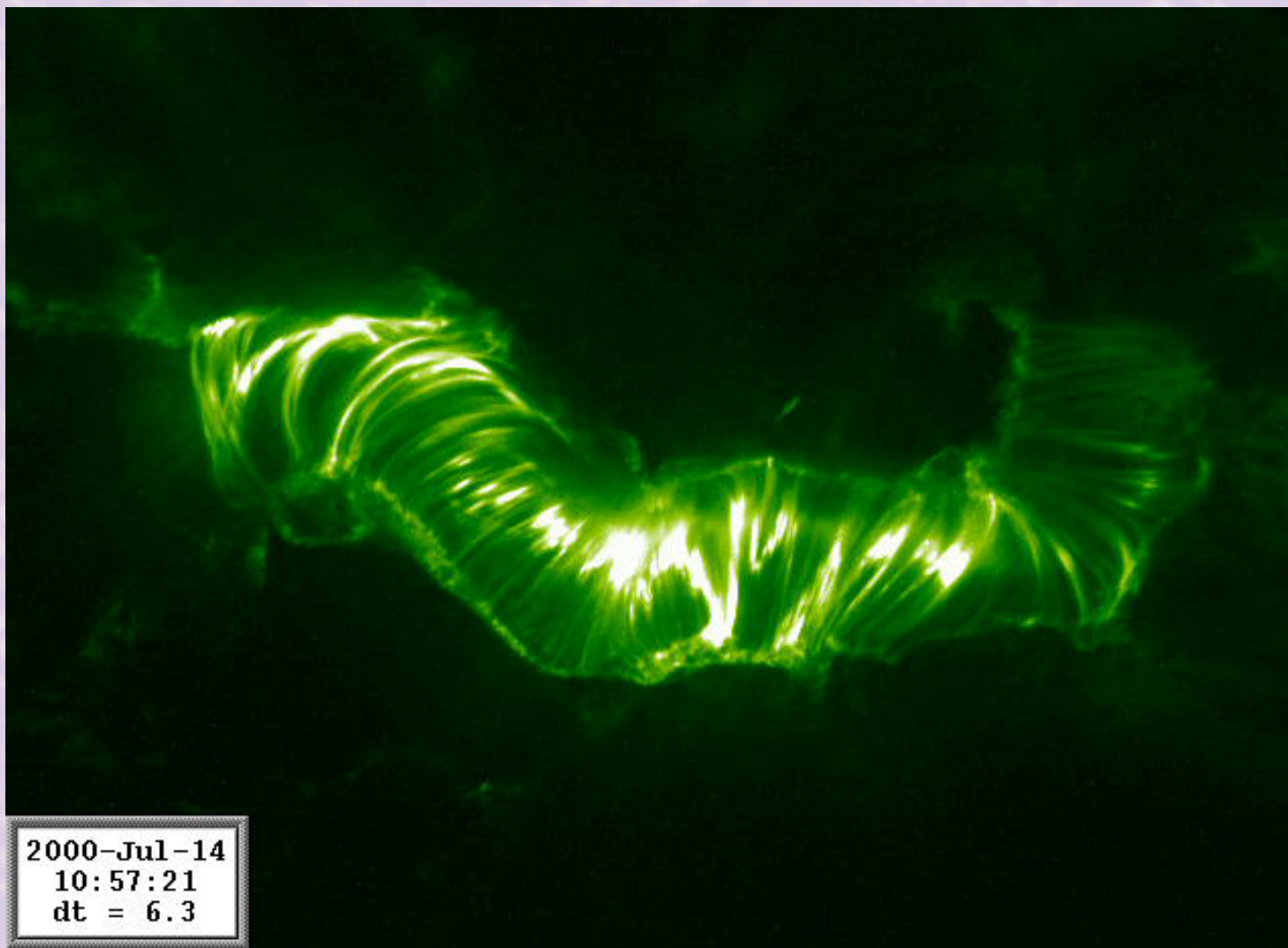


# Erupce v H $\alpha$ : animace





# Poerupční smyčky v EIT



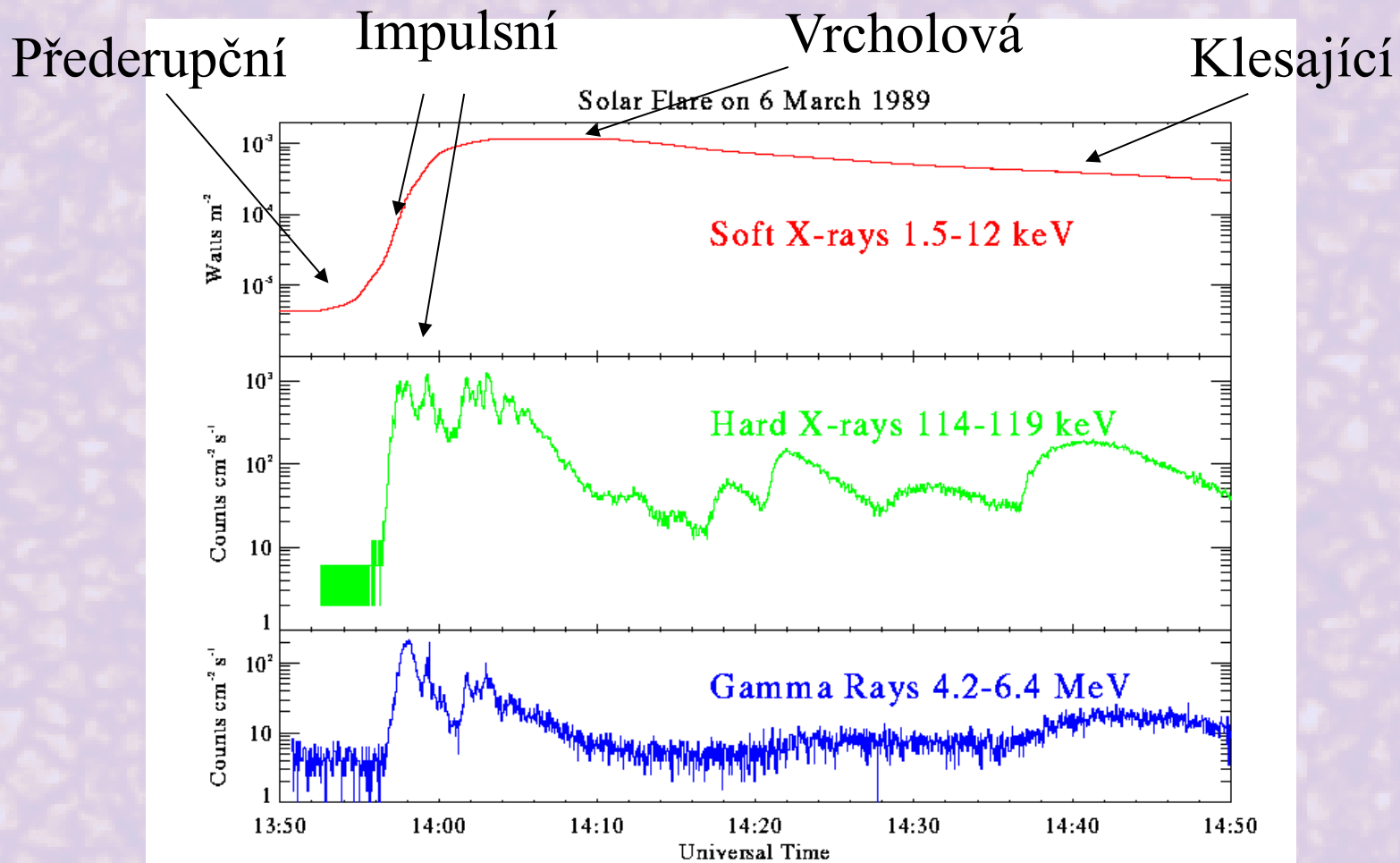
## Poerupční smyčky: video



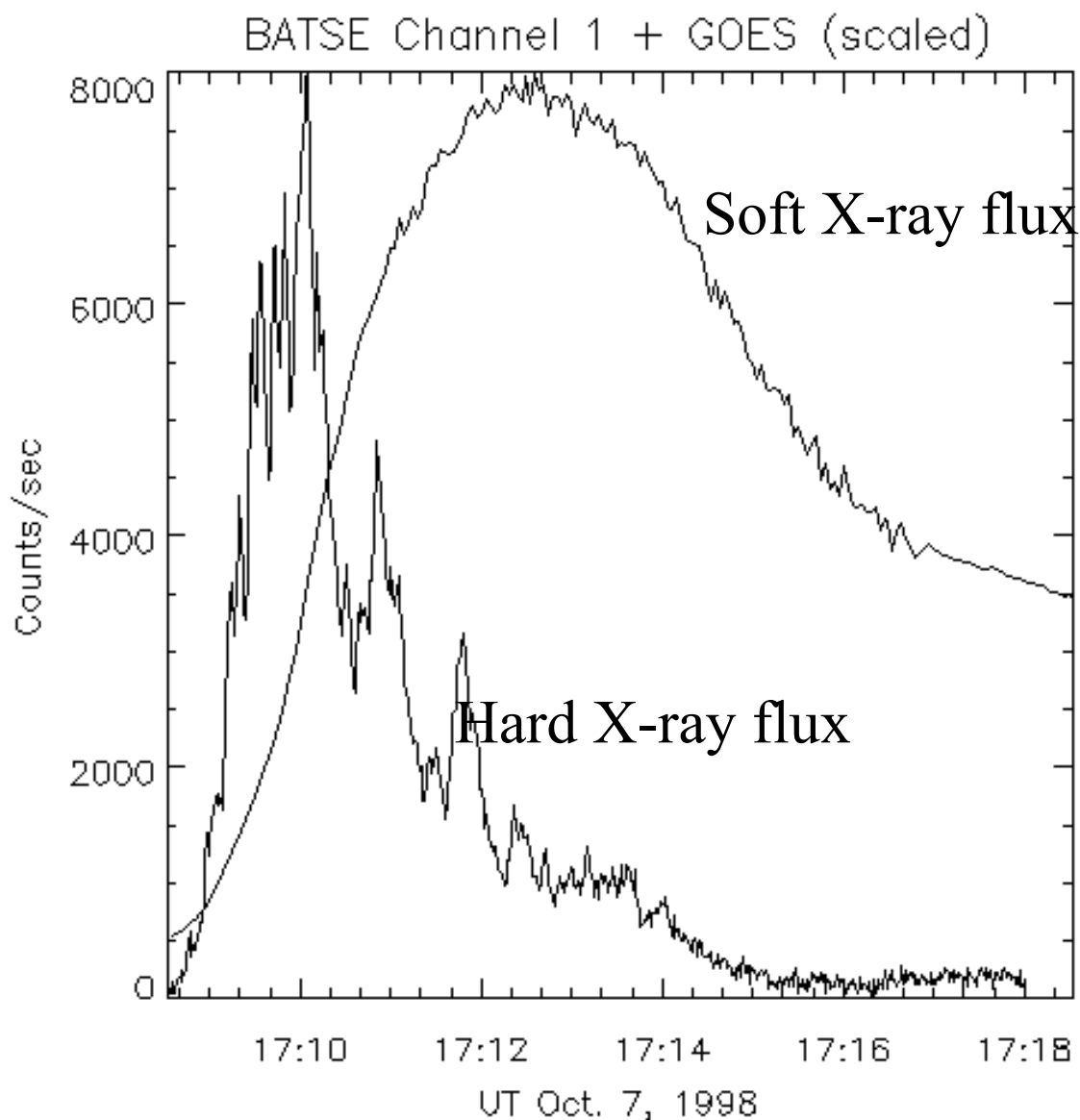
# Formace poerupčních smyček: TRACE



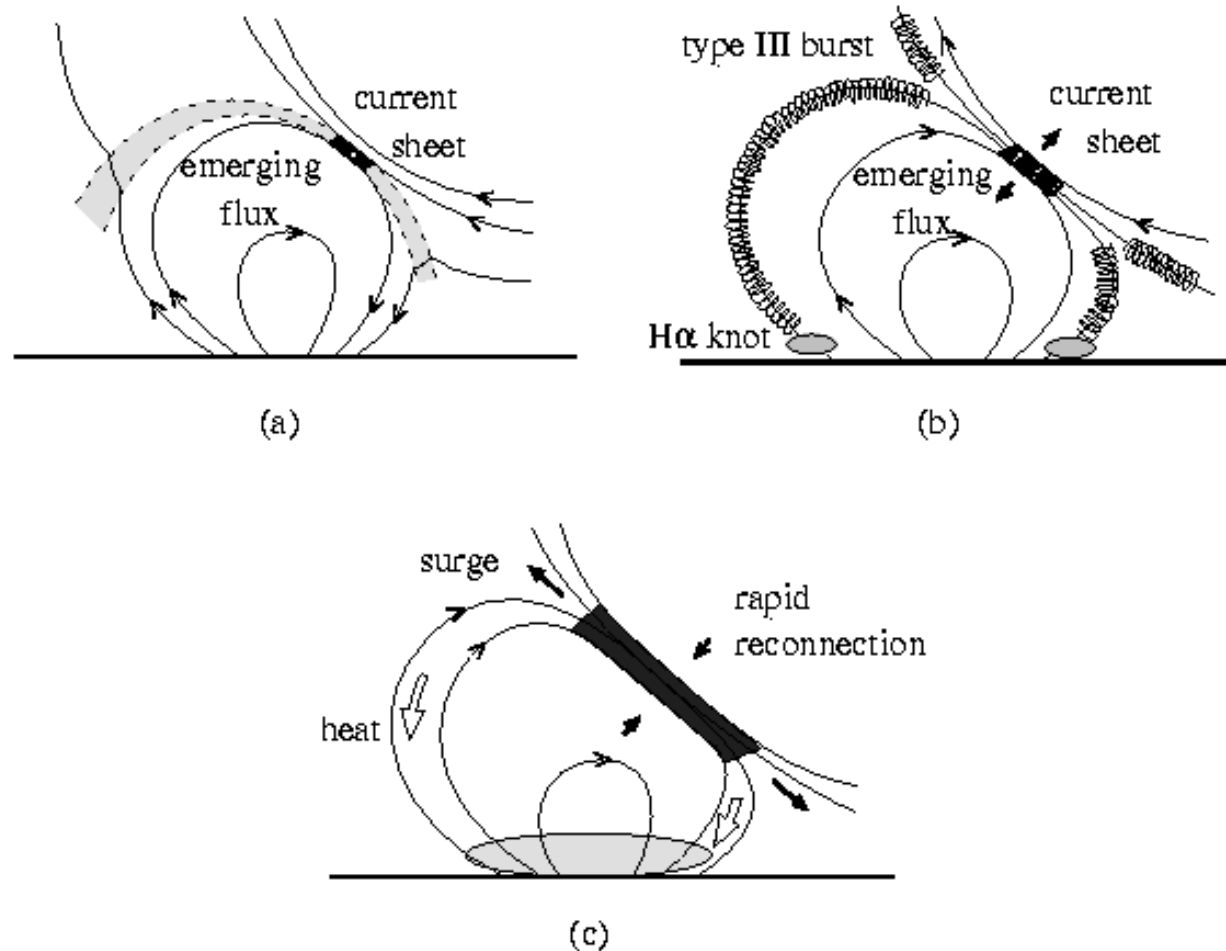
# Fáze erupce



## Neupertův efekt



- Během rostoucí fáze je SXR tok integrálem HXR toku



- Rekonexe při vynořování nových magnetických polí

**Erupce = komplex jevů**

