

Sluneční erupce

Sluneční fyzika
ZS 2011/2012

Michal Švanda

Astronomický ústav MFF UK
Astronomický ústav AV ČR



Energetické jevy na Slunci

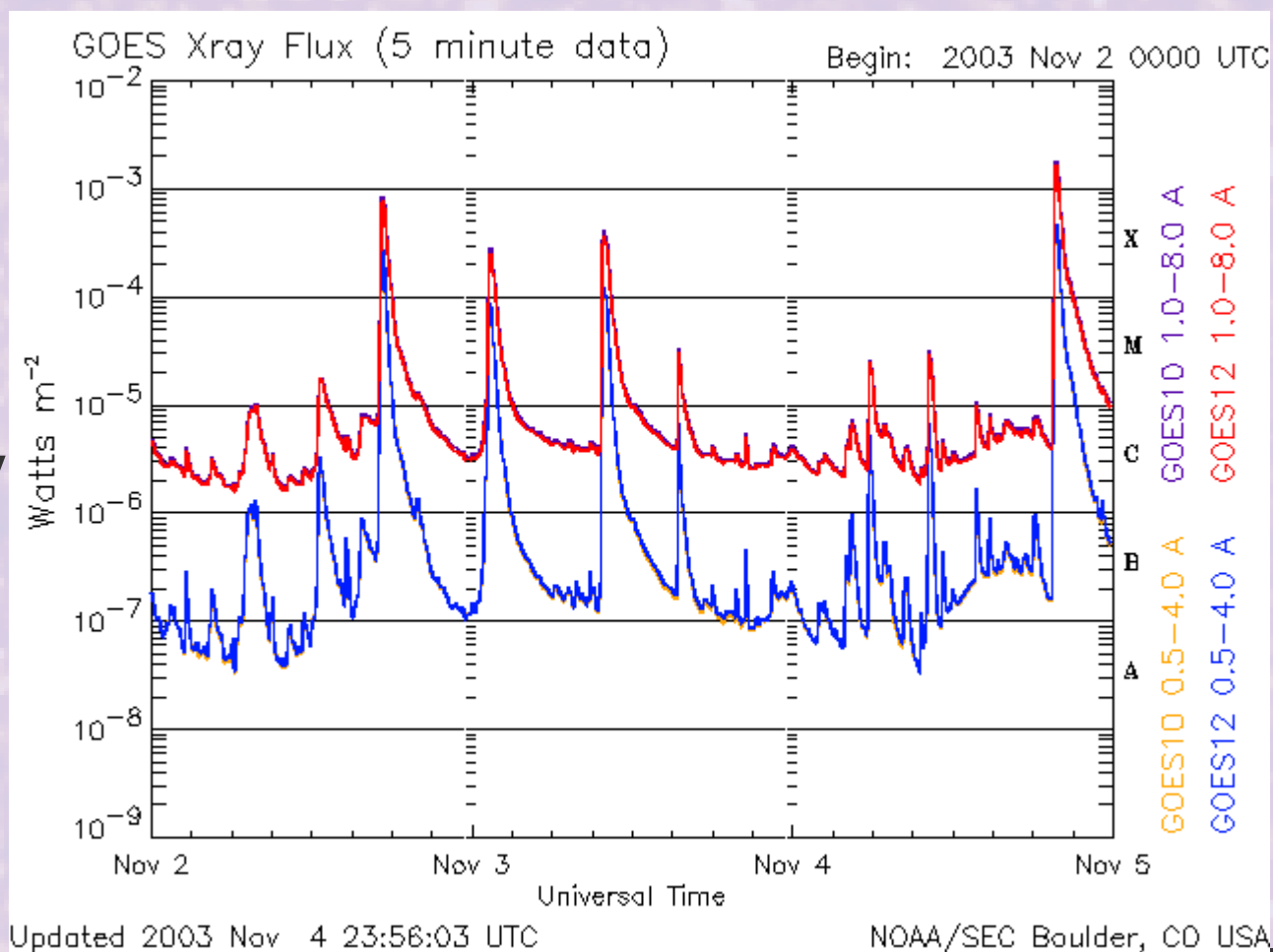
- 1. září 1859 – R. Carrington
 - Během zakreslování skupin slunečních skvrn si povšimli významného zjasnění, které trvalo cca 5 minut. Den poté zasáhla Zemi geomagnetická bouře.
 - Pozorování bílé erupce
- Erupce
 - Energetické jevy, uvolňuje se až 10^{25} J energie během maximálně pár desítek sekund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

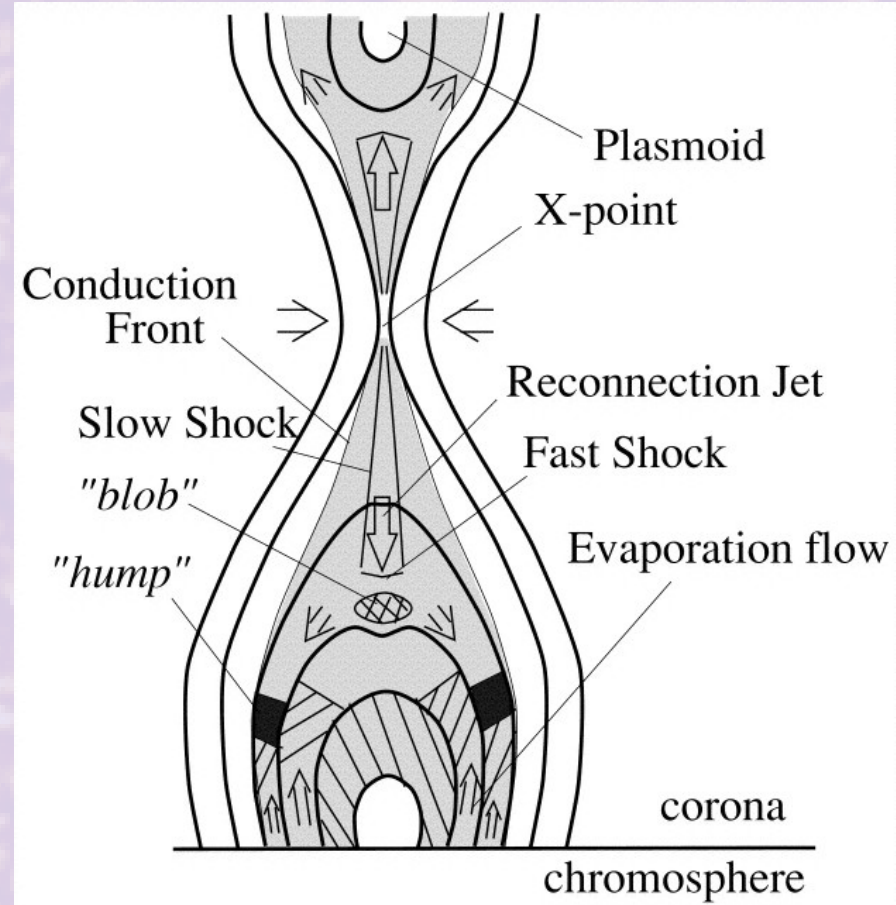


Disipace magnetických polí

- 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.

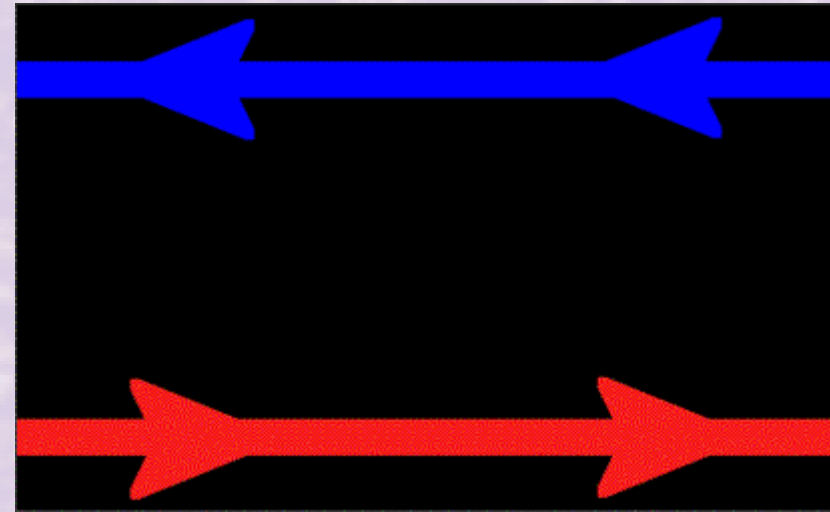
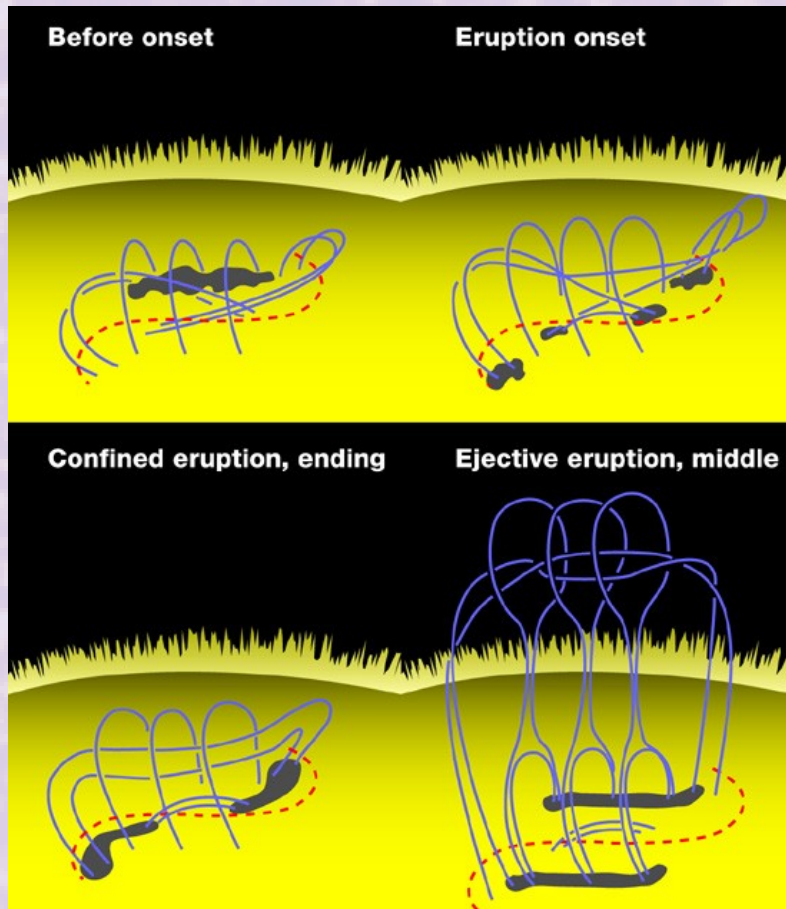
Standardní model sluneční erupce

- 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

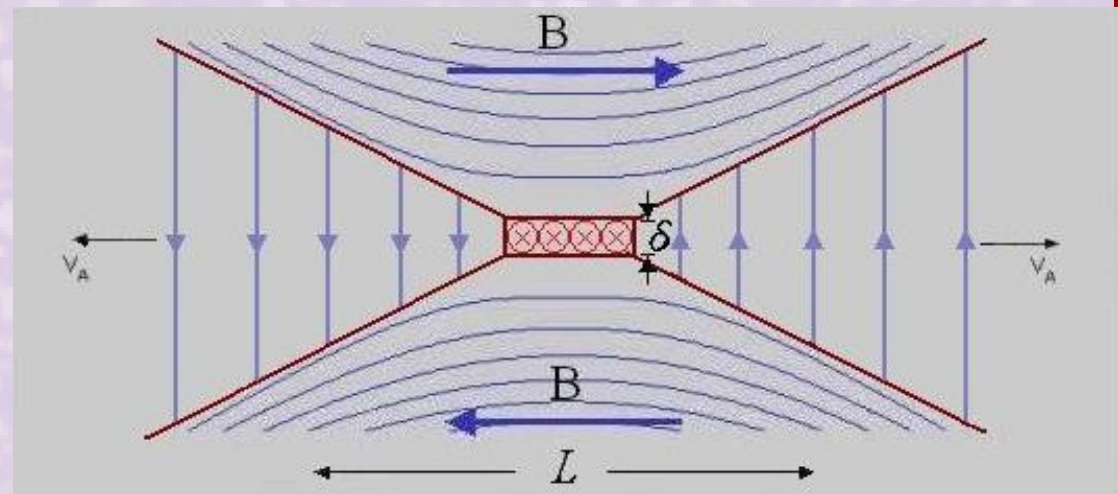
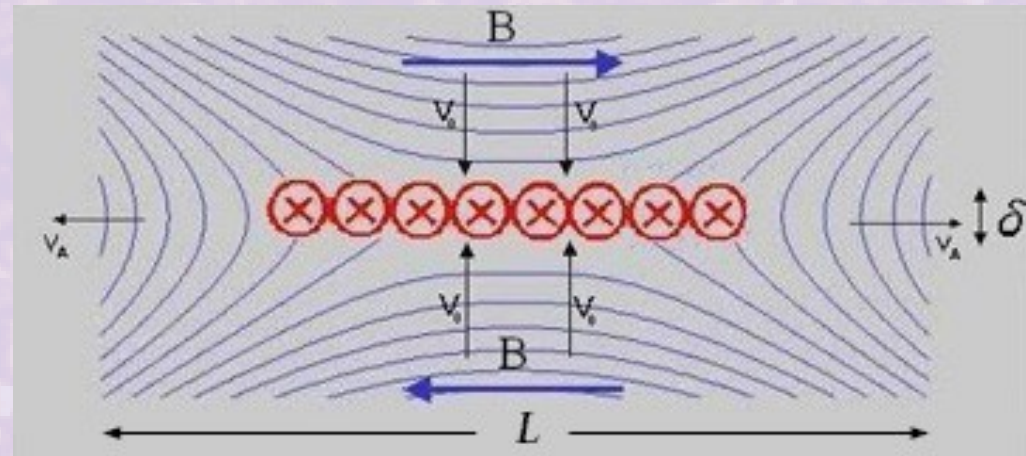
- Změna topologie magnetického pole, volná energie uvolněna ve formě energie a částic



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

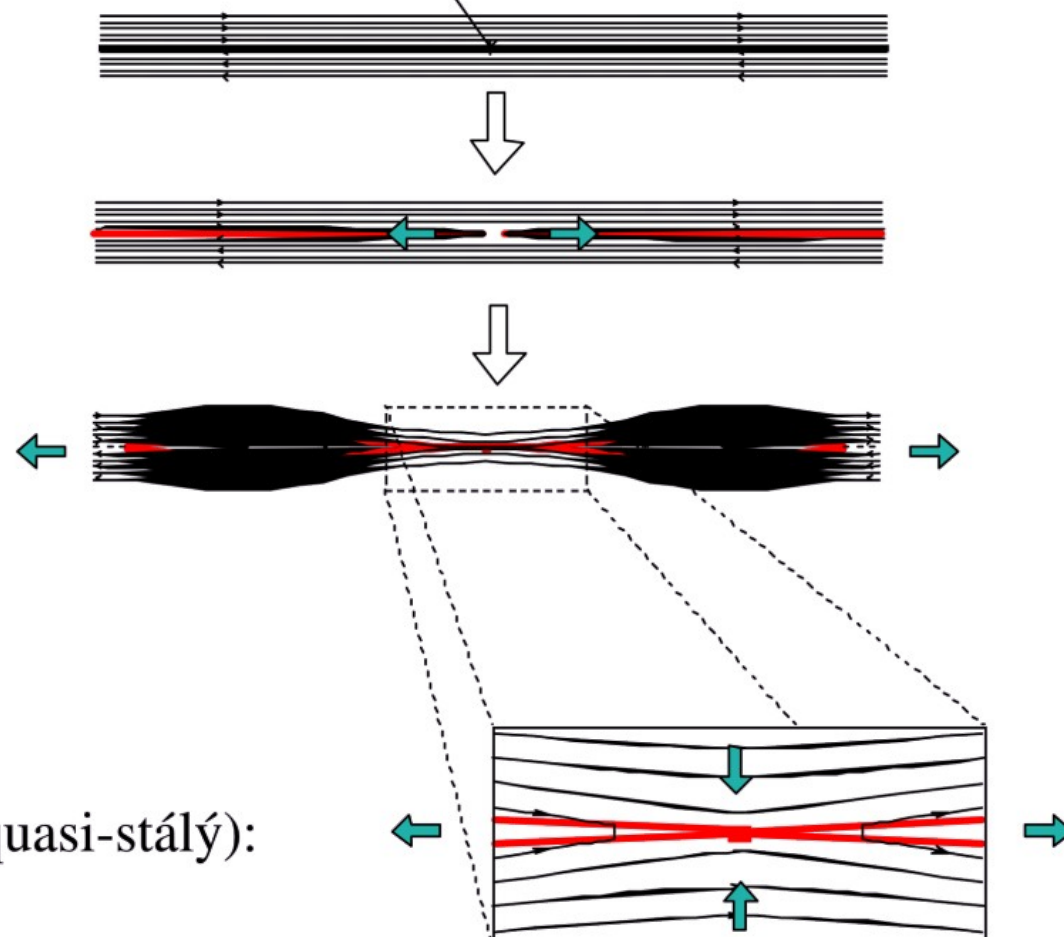
Sweet-Parker vs. Petschek

- 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



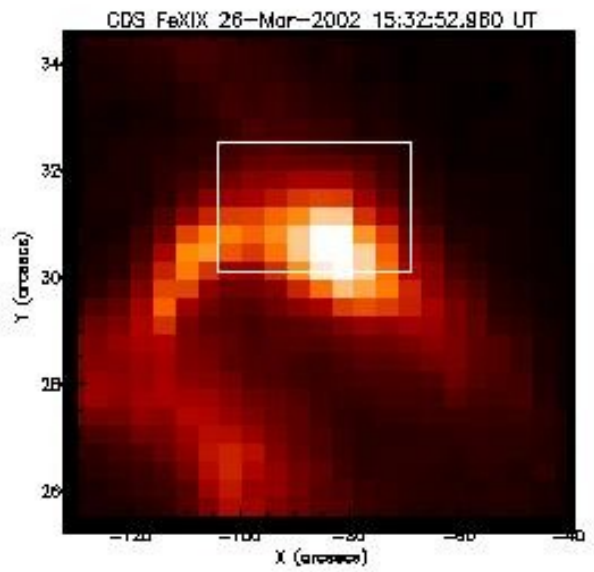
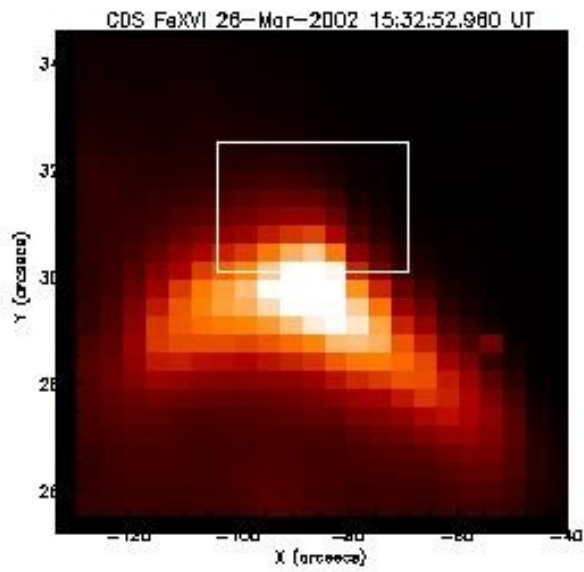
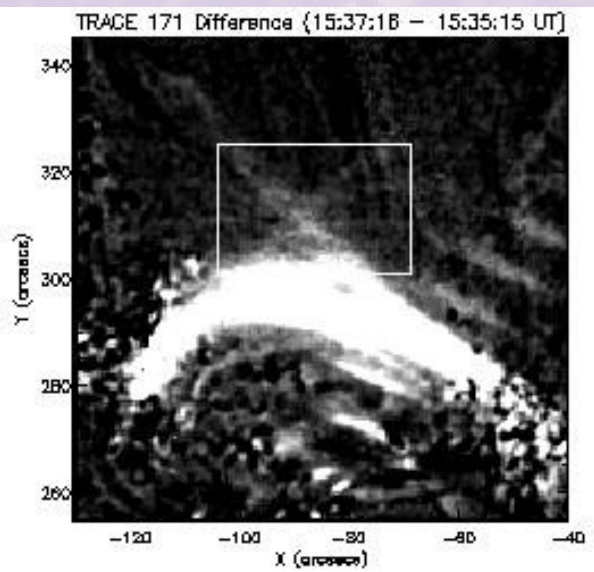
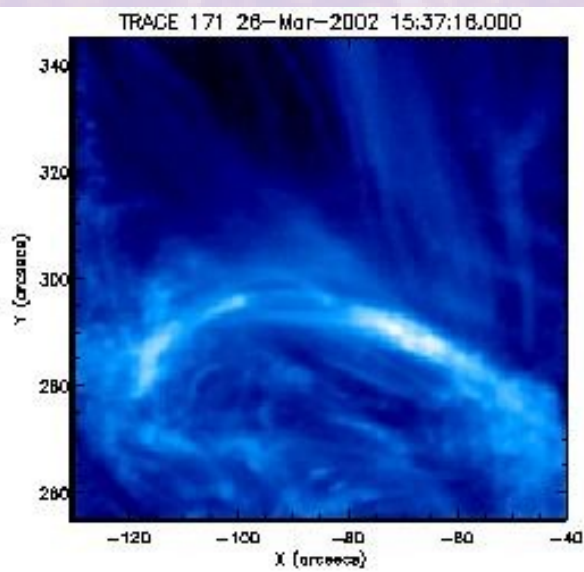
Interpretace Petschekova řešení

dočasně zvýšená rezistivita



Petschek (quasi-stálý):

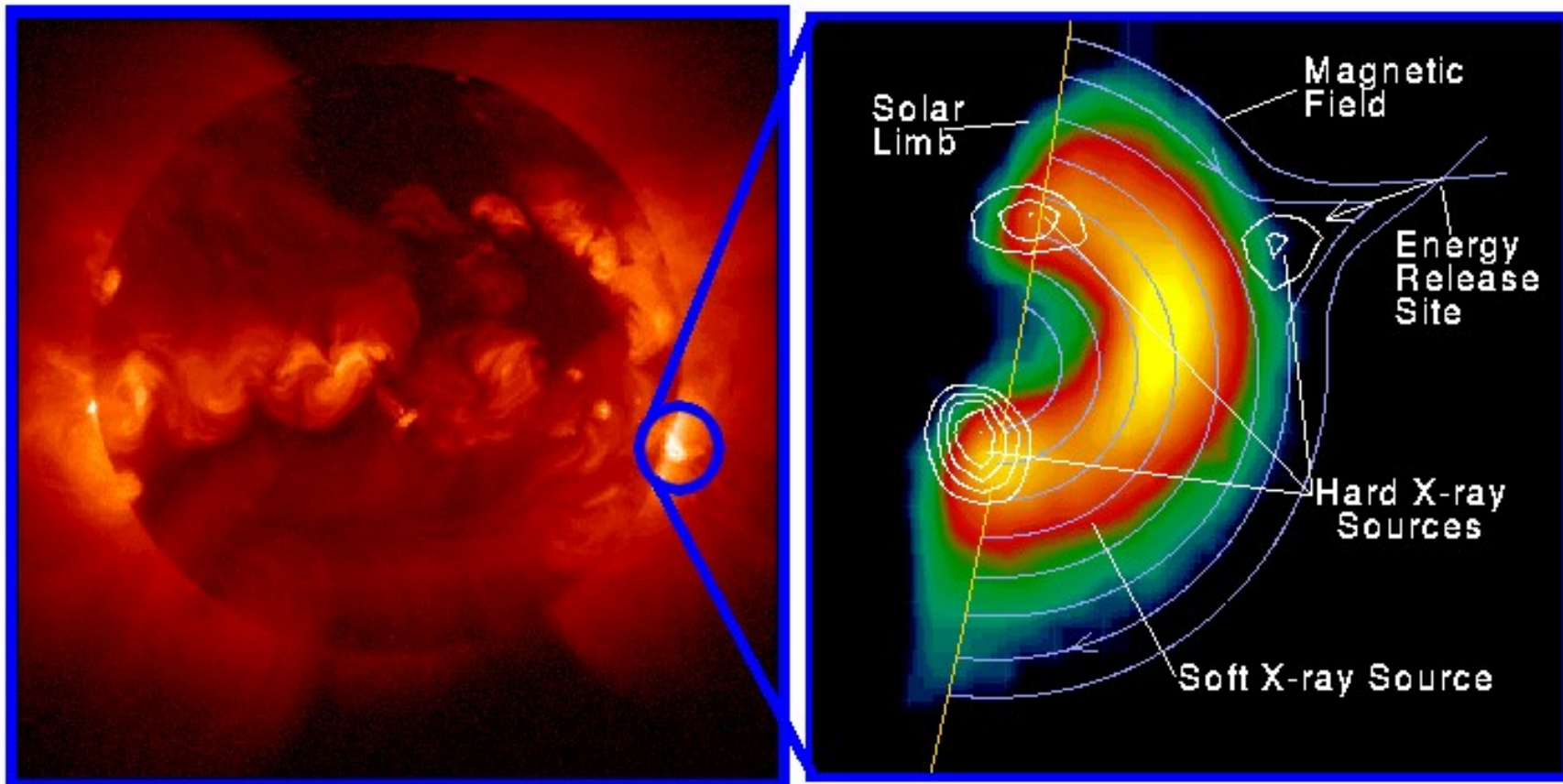
X-point



Kaspová struktura



SXR vs. HXR

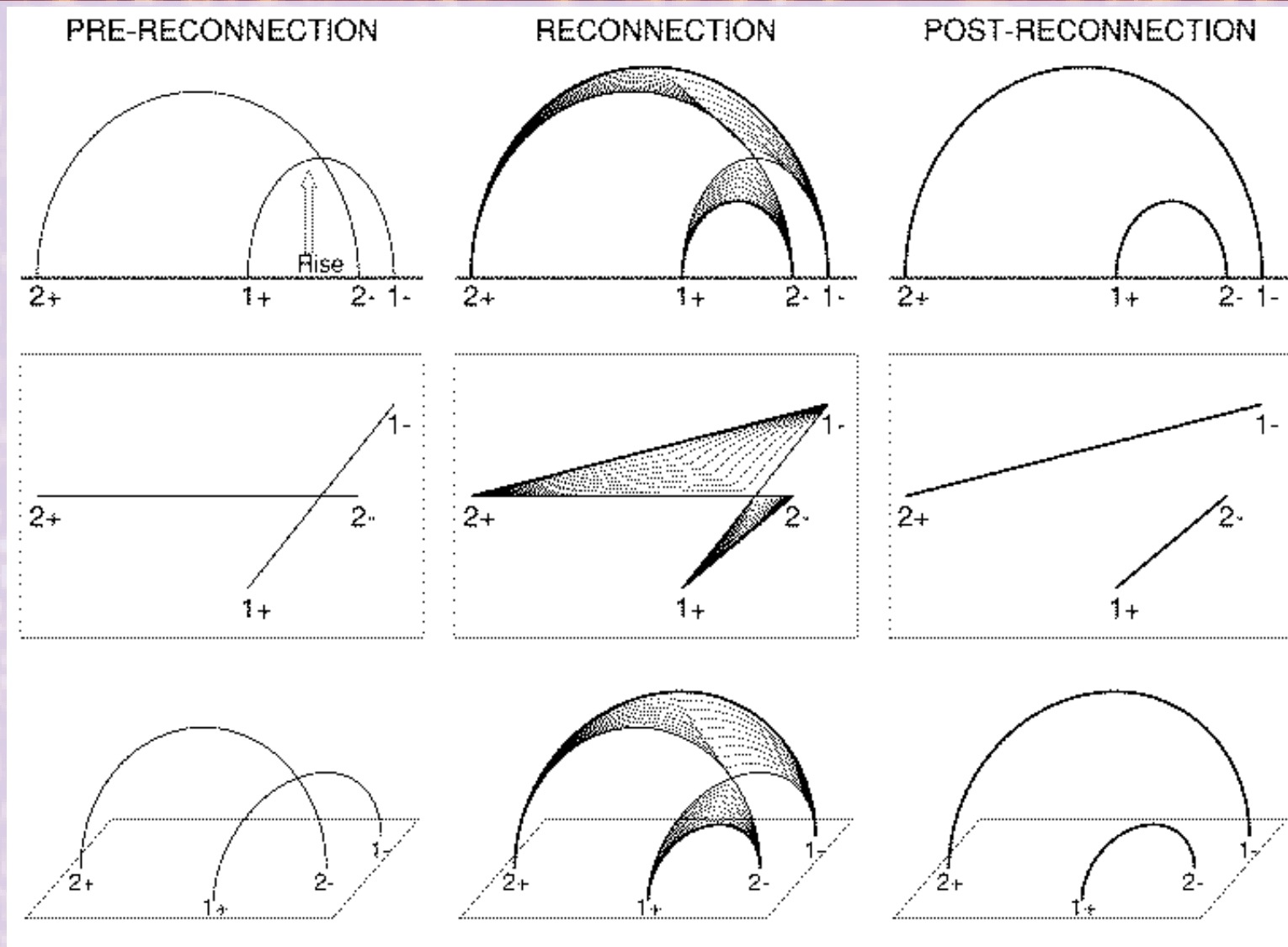


Yohkoh X-ray Image of a Solar Flare, Combined Image in Soft X-rays (left) and Soft X-rays with Hard X-ray Contours (right). Jan 13, 1992.

Simulace rekonexe

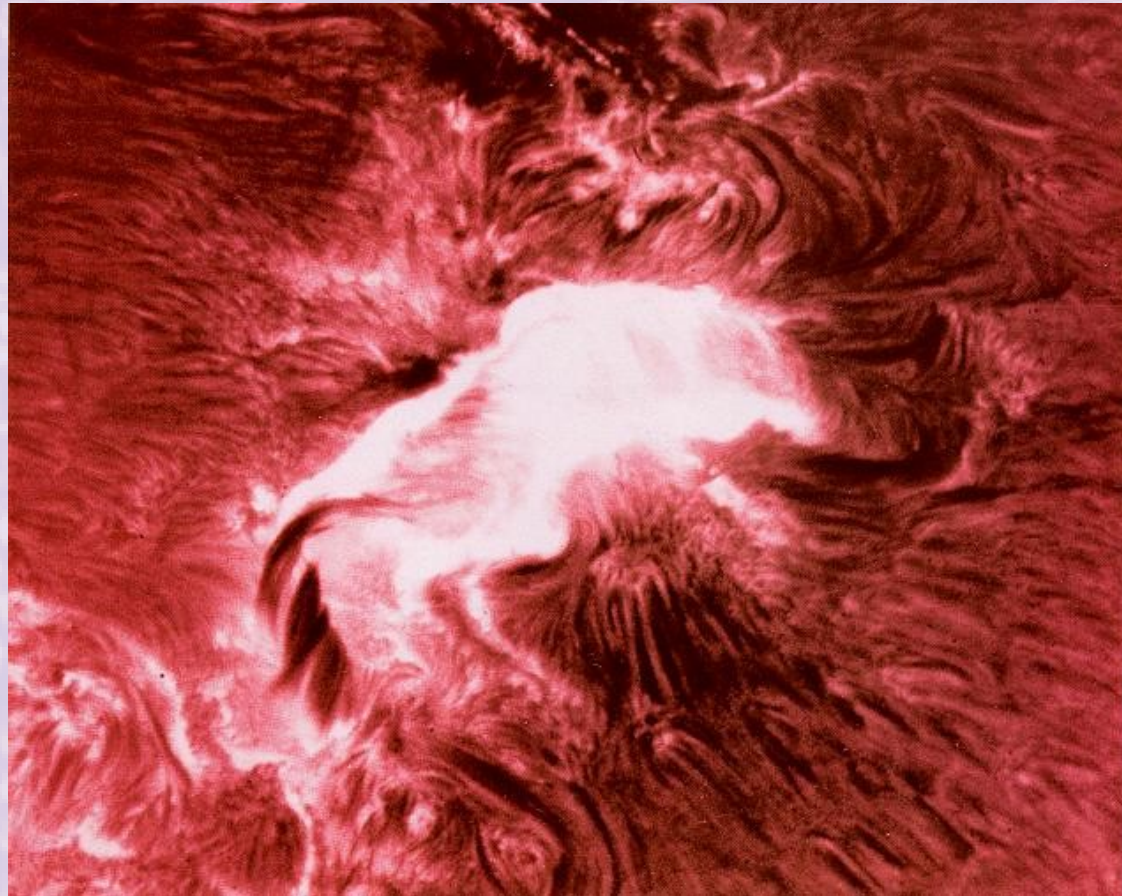


Rekonexe v kvadrupólní konfiguraci



Odporová vnořování nového pole do starého existujícího – konfigurace δ slunečních skvrn

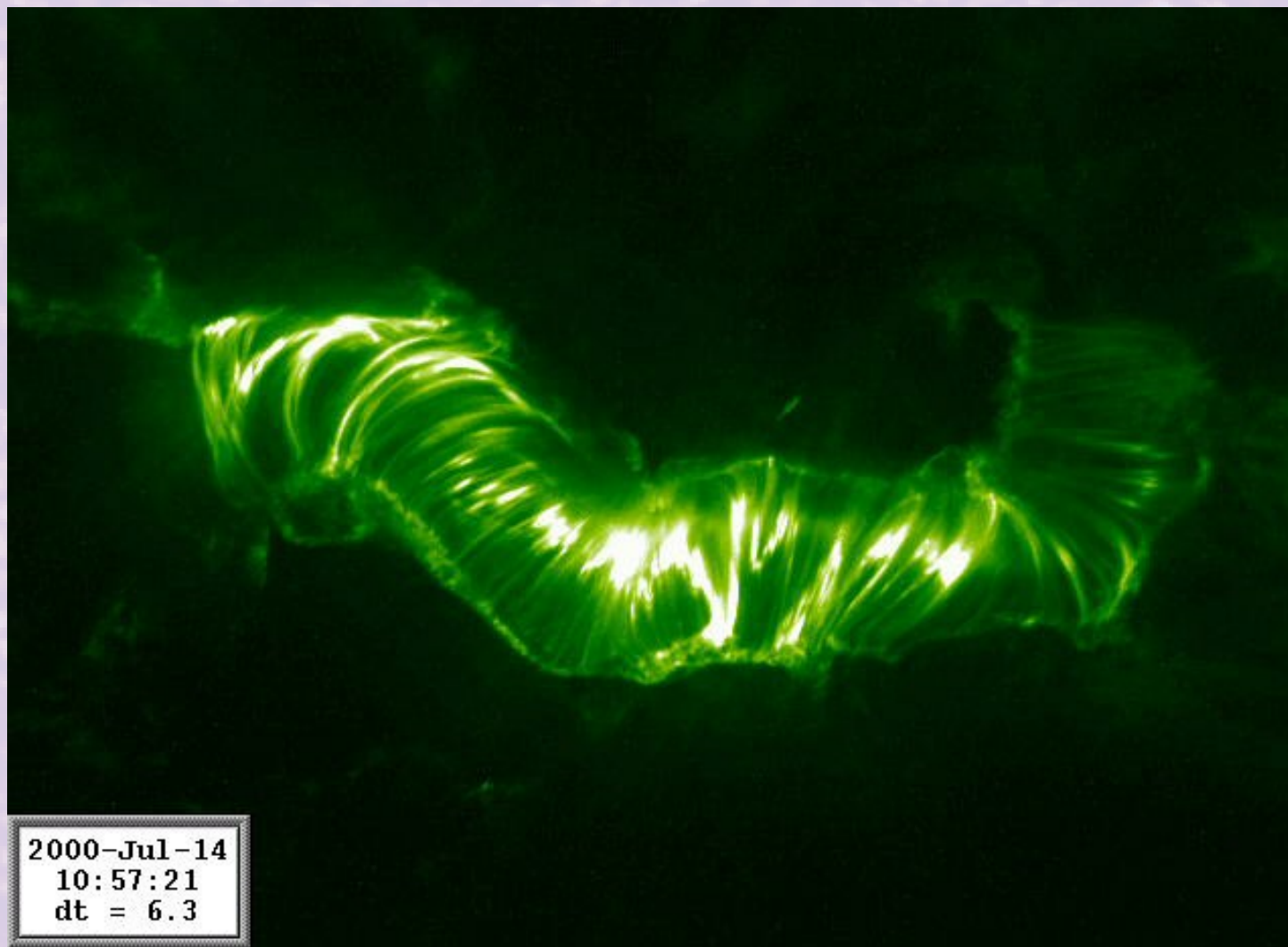
- Zjasnění = ohřev bombardováním částicemi z koróny
- Dvě vlákna – toky podél formujících se poerupčních smyček
- Bílá erupce = bombardování až fotosféry



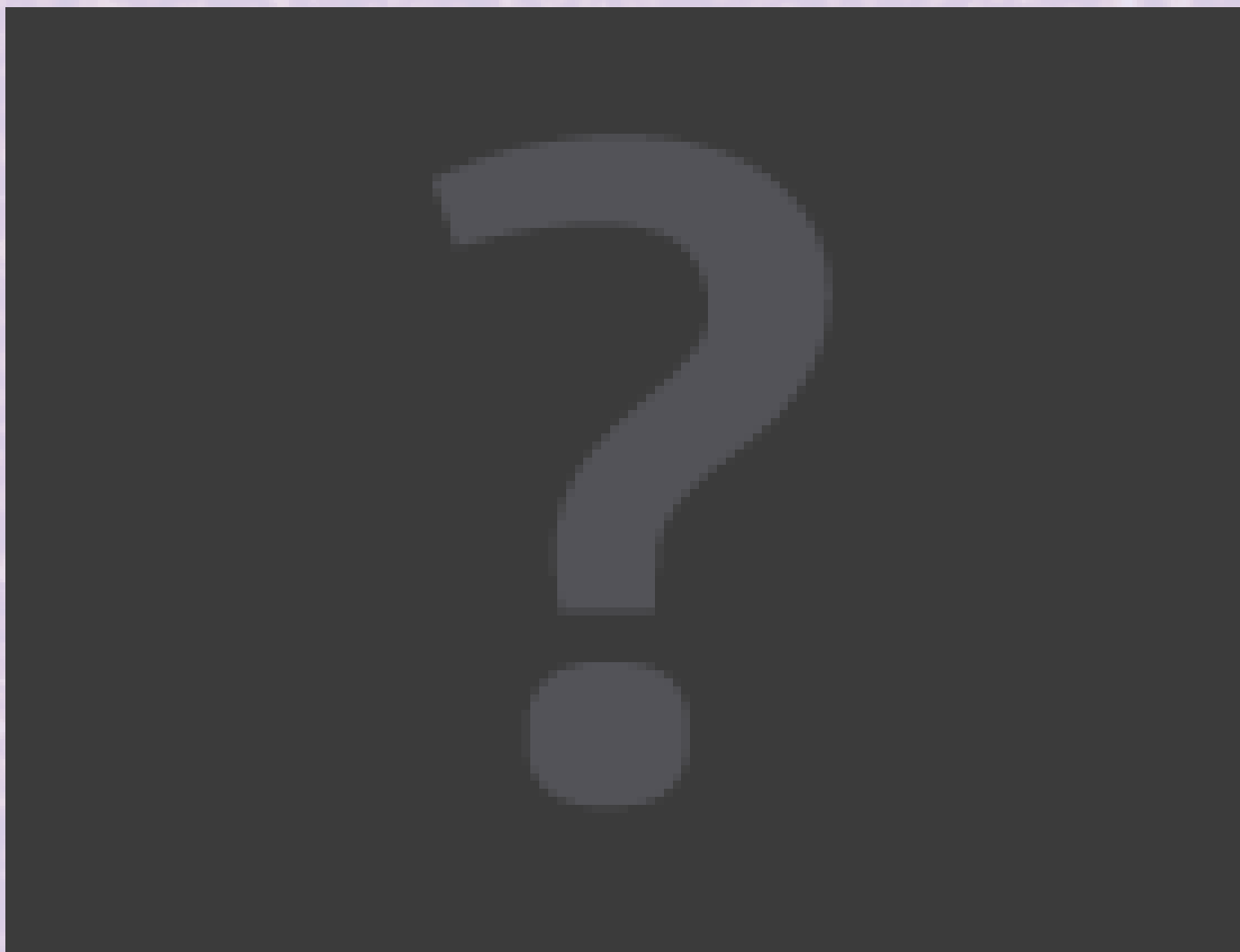
Erupce v H α : animace



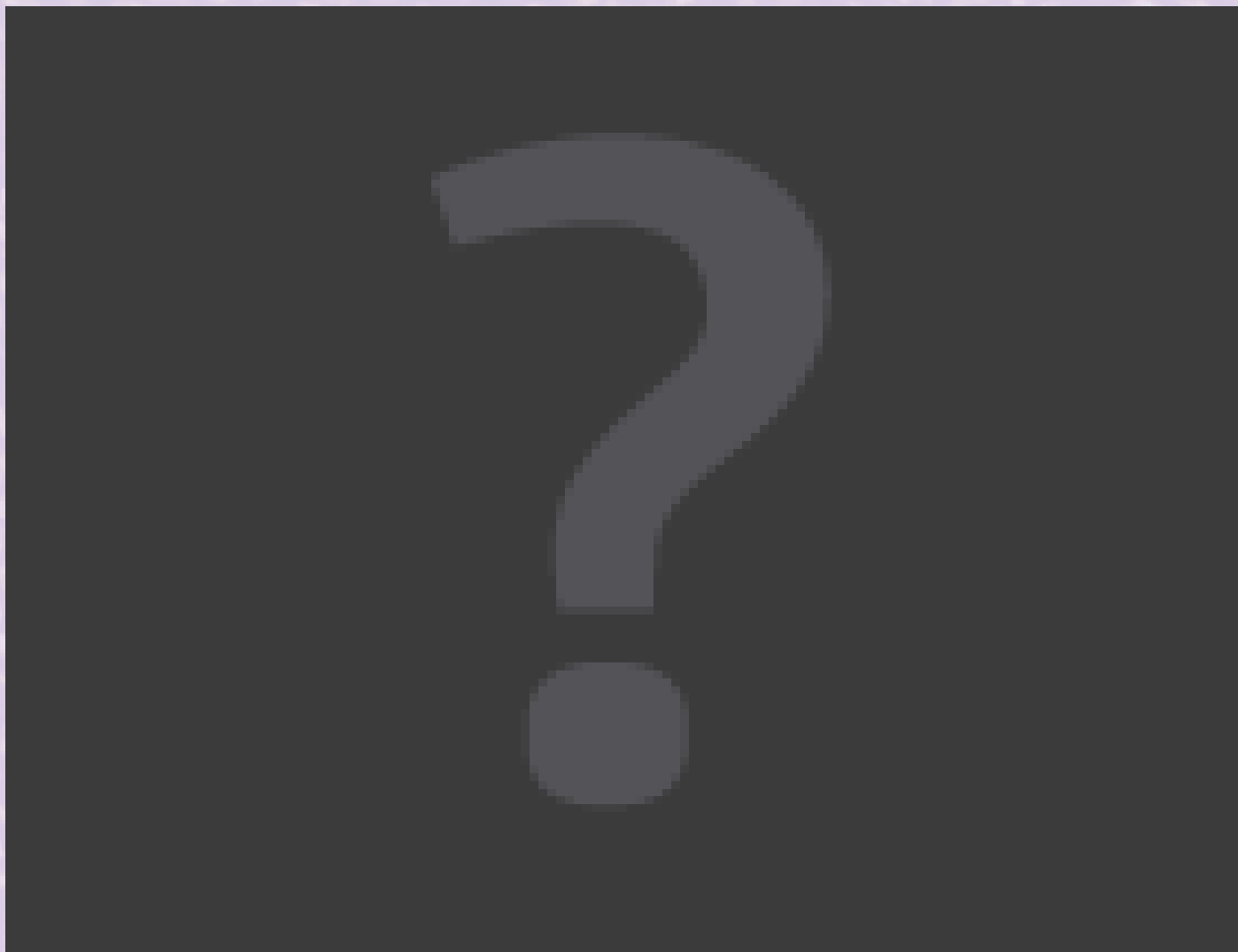
Poerupční smyčky v EIT



Poerupční smyčky: video

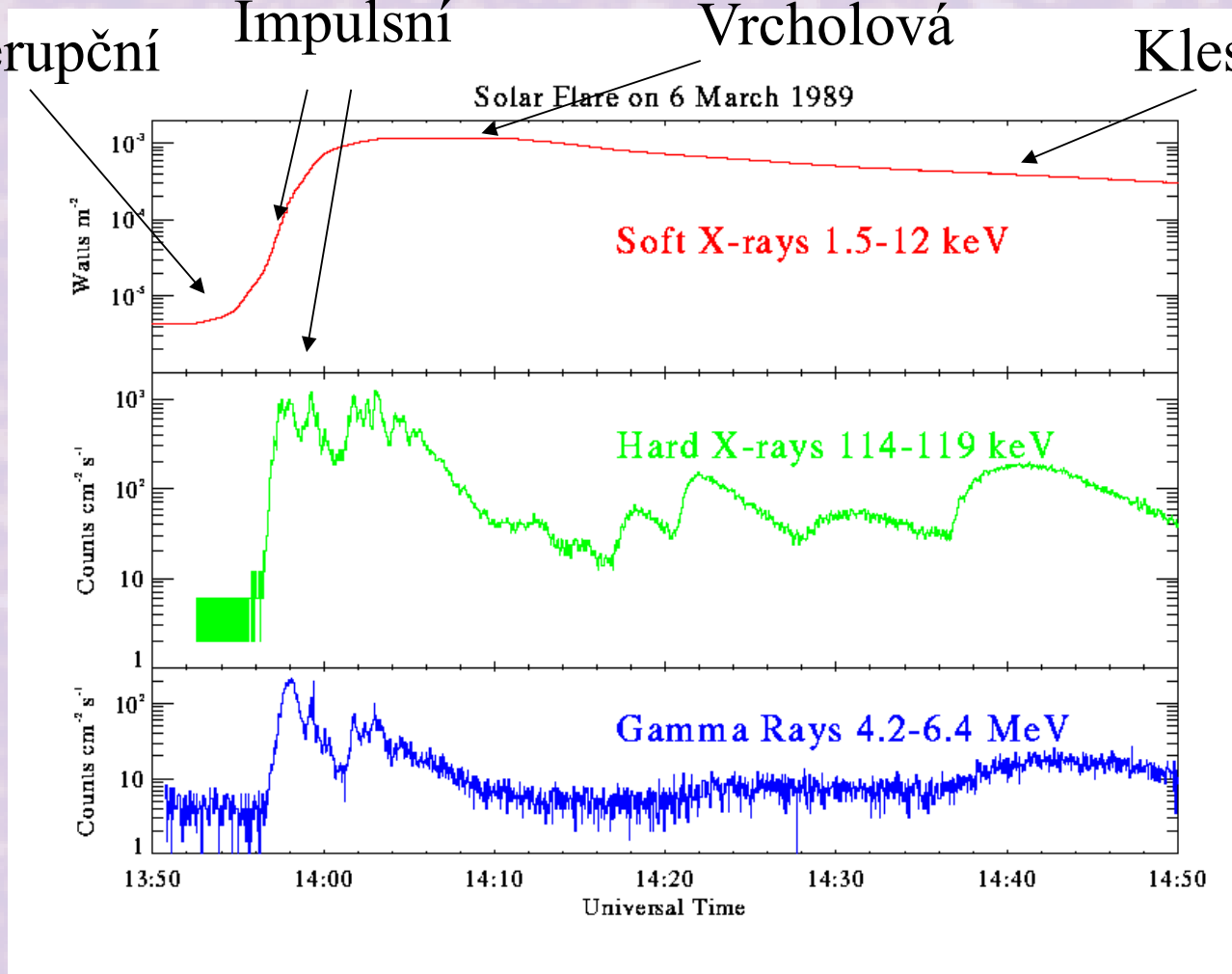


Formace poerupčních smyček: TRACE

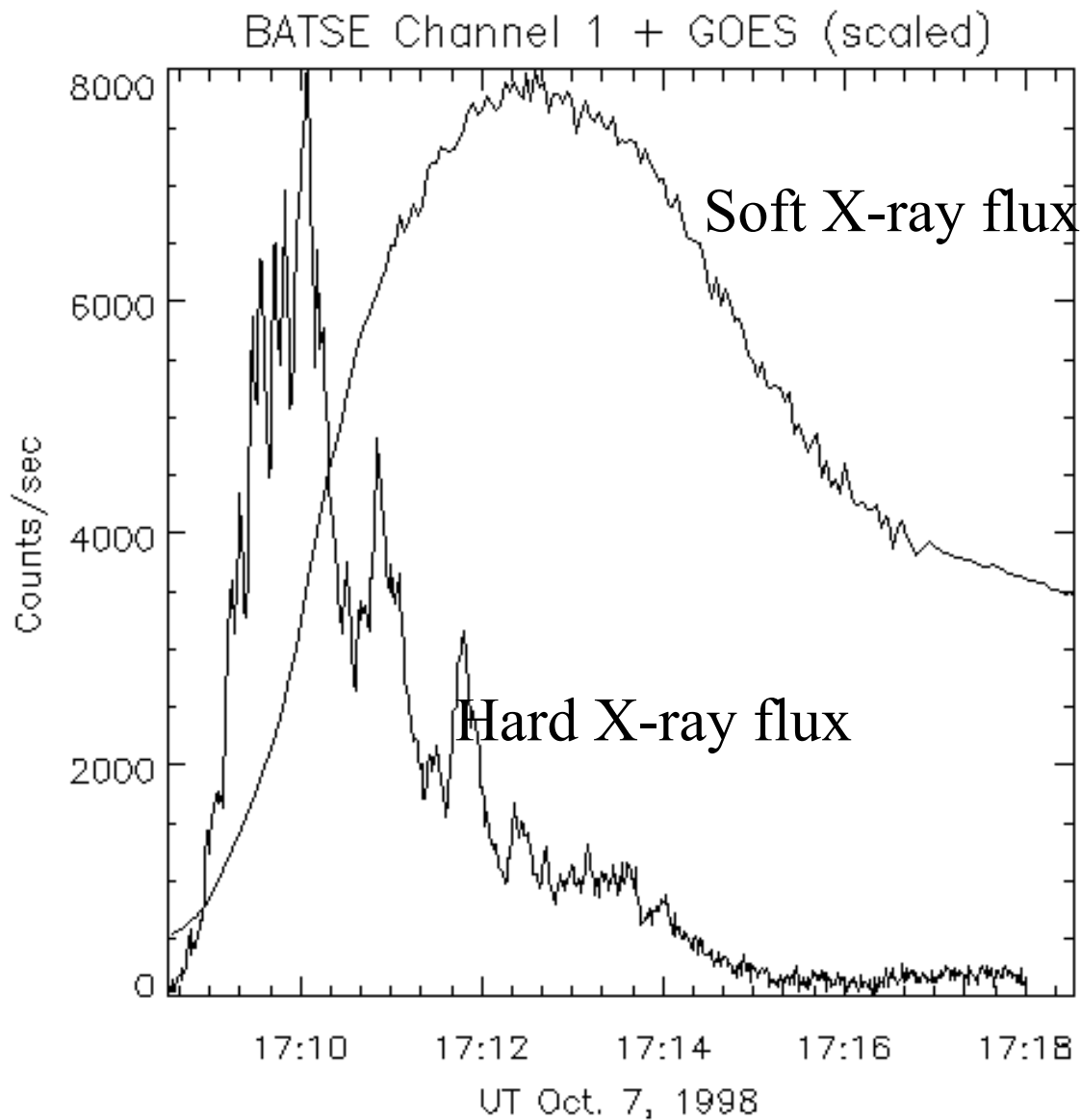


Fáze erupce

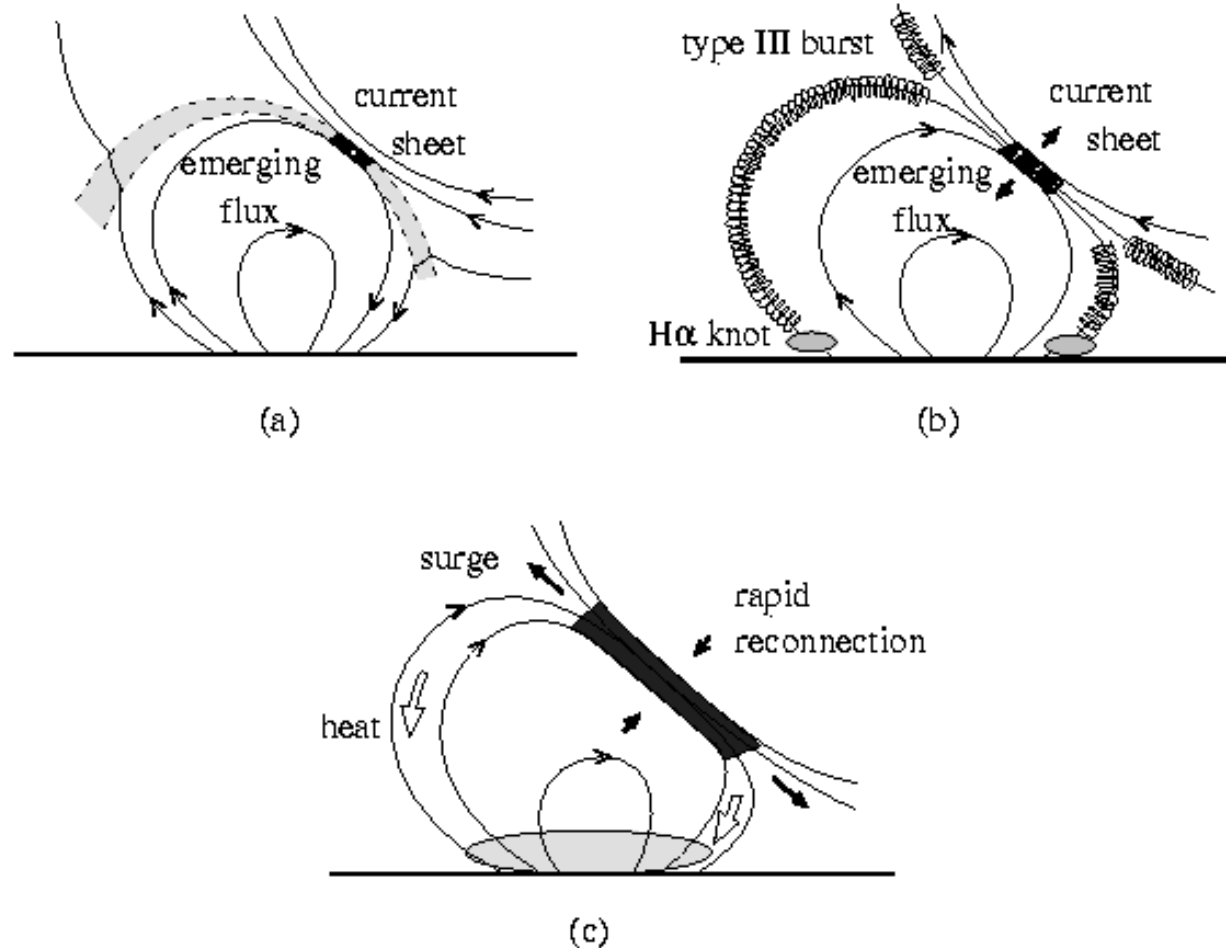
Přederupční Impulsní Vrcholová Klesající



Neupertův efekt



- Během rostoucí fáze je SXR tok integrálem HXR toku



- Rekonexe při vynořování nových magnetických polí

Erupce = komplex jevů

