



**PROGRAM
CEZHRANIČNEJ
SPOLUPRÁCE**

SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



**EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA**

SPOLOČNE BEZ HRANÍČ



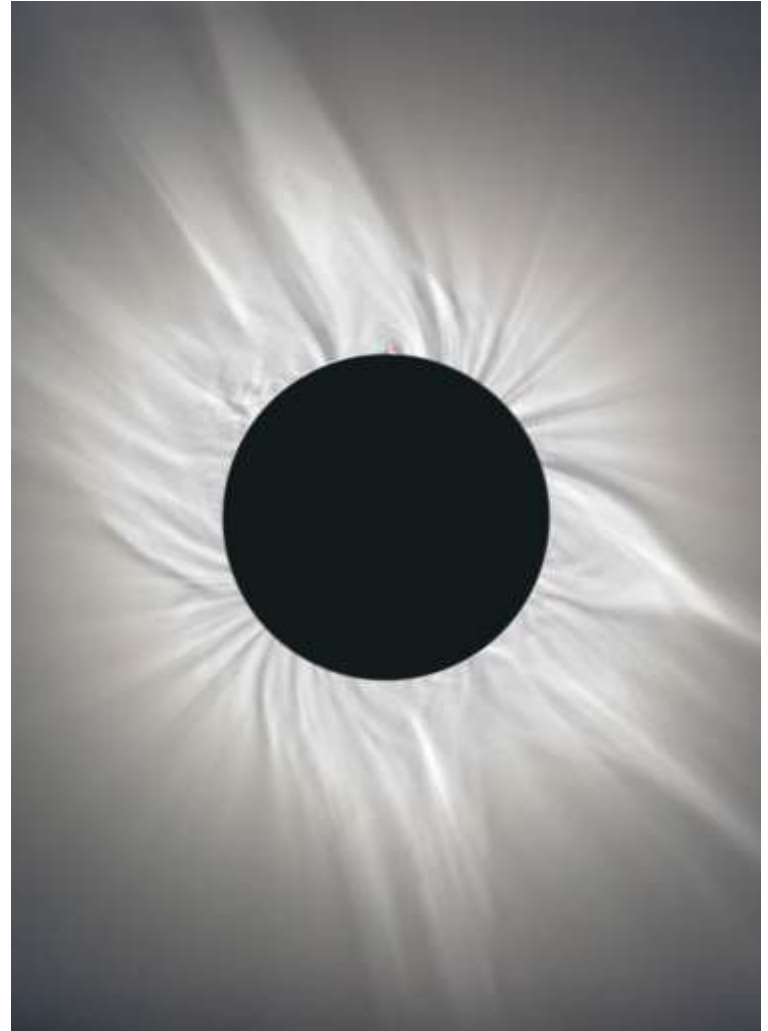
FOND MIKROPROJEKTŮ

Slunce a Sluneční soustava

Michal Švanda
Astronomický ústav AV ČR
Astronomický ústav UK

Kde končí Slunce?

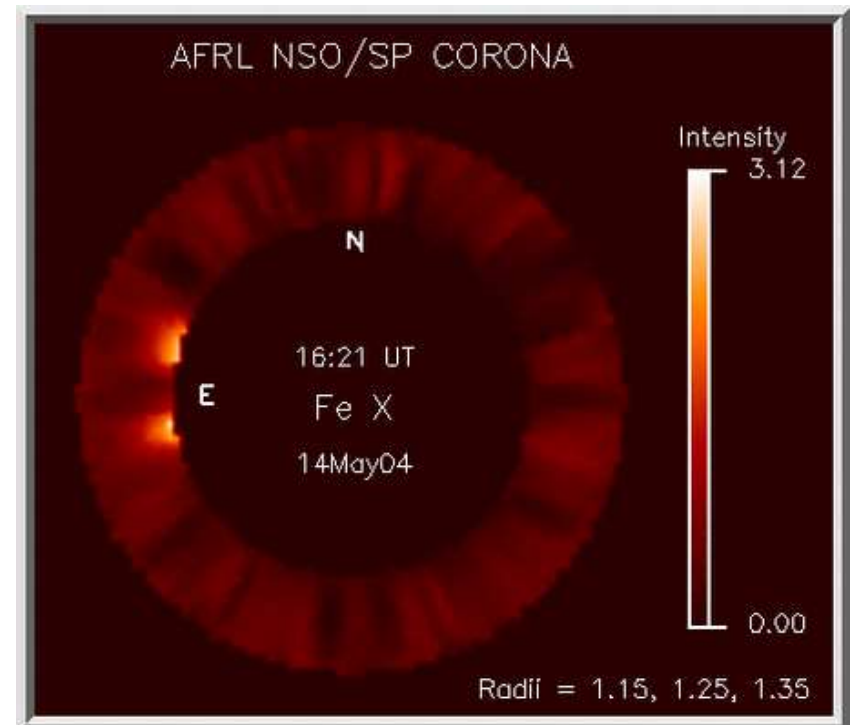
- Fotosféra – spodní vrstva atmosféry, hraniční vrstva tělesa
- Chromosféra – řídká „vrstva“ výše, záření dominováno čarami vodíku („podobně jako u A hvězd)
- Koróna – střípatá „vrstva“ volně se rozpínající do meziplanetárního prostoru
- Chromosféra i koróna řízeny magnetickým polem, ohřívány netermálními procesy (dominantní proces není jistě určen)



Koróna

- F – Fraunhoferovy čáry
- K – kontinuum – vysoká teplota, čáry rozmyty pohyby
 - Polarizovaná
 - Thomsonův rozptyl na volných elektronech
- E – emisní
 - Vlastní záření, velmi slabá
 - Zakázané čáry i v optické oblasti spektra
 - Zelená koróna
 - „Korónium“ = FeX (637,5 nm)

- T – termální emise částic prachu



Koróna mění tvar



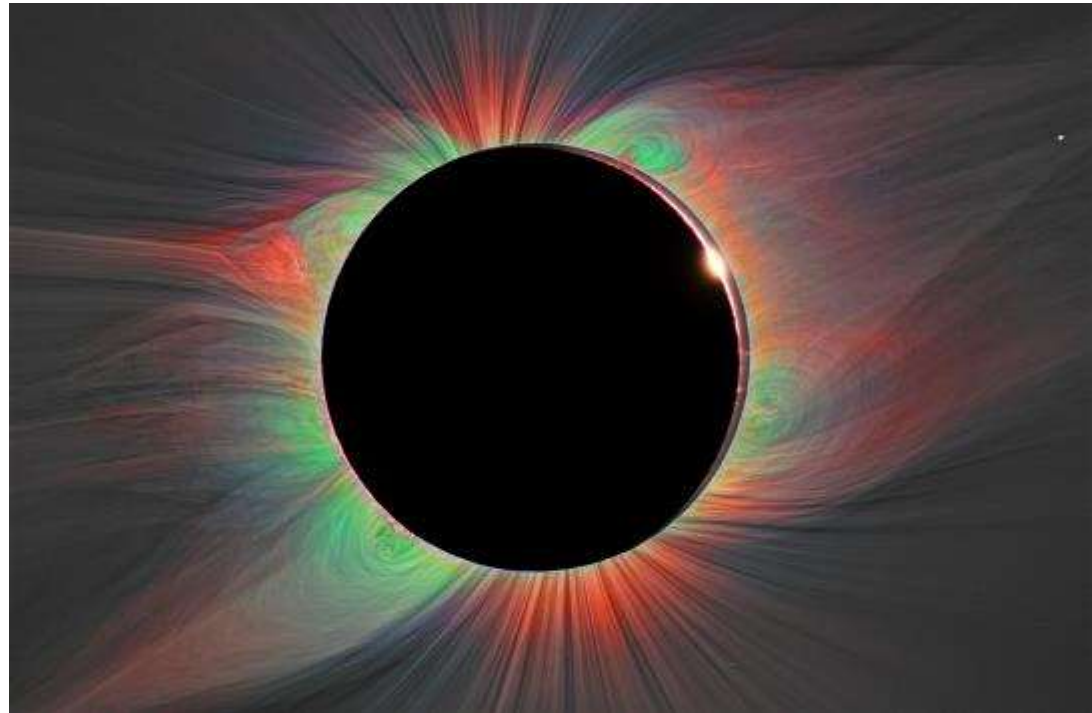
<- Minimum (1995)

Maximum (2003) ->



Zakázané čáry koróny

- ▣ Vysoce ionizované železo
- ▣ Zakázané přechody
- ▣ Odlišné formační teploty
 - ▣ Fe XIV (530,3 nm)
 - ▣ 1,9 MK
 - ▣ Fe X (637,4 nm)
 - ▣ 1,2 MK



Koronální ohřev

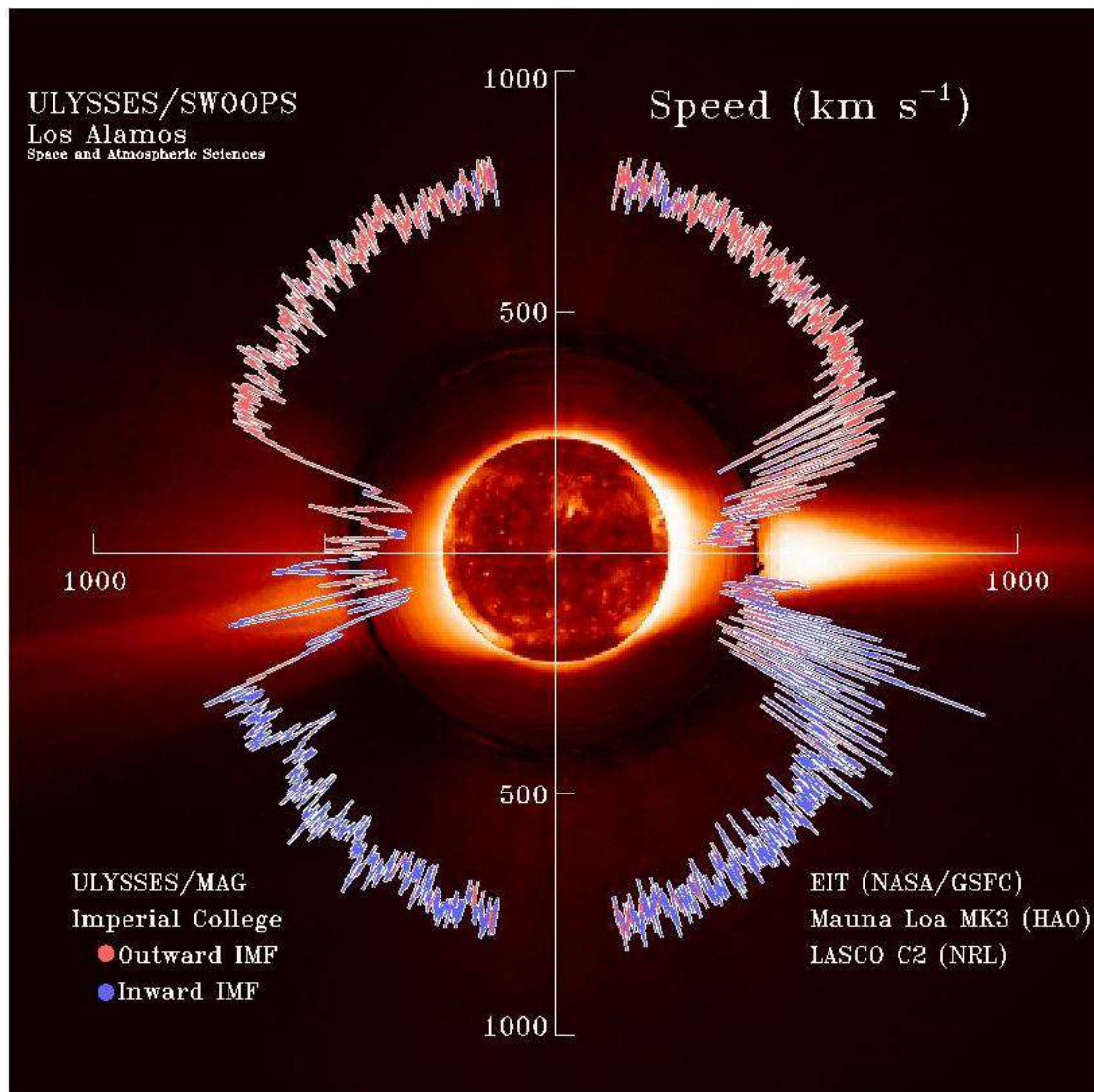
- Stejnoseměrný
 - Velké erupce
 - Joulovský ohřev
 - Nano-erupce
 - Spikule typ II
- Střídavý
 - Pohyb fotosférických kotevních bodů
 - Propagace MHD vln
 - Disipace Alfvénových vln
 - Ohřev akustickými vlnami

Sluneční vítr

- Polovina 20. století -- „sluneční částicové záření“ jako prostředek k vysvětlení geomagnetických bouří
- Geomagnetické bouře – nárůst meziplanetárního magnetického pole obvykle dva dny po erupci
 - Musí existovat jakési elektrické spojení mezi Zemí a Sluncem
- 1950 – Biermann – iontové stopy komet míří vždy od Slunce
 - Existence stálého toku částic, které to umožní, energie fotonů nestačí
 - Potřeba velkých rychlostí a velkých hustot (nefyzikální)
- Chapman (1957) – statická koróna
- Parker (1958) – dynamická koróna

Jak rychlý je sluneční vítr

- Pomalý – uzavřené pole, cca 400 km/s
- Rychlý – otevřené pole (koronální díry), cca 700 km/s
- Explosivní události – rychlost 1200 km/s
- Ulysses – sonda na heliopolární dráze

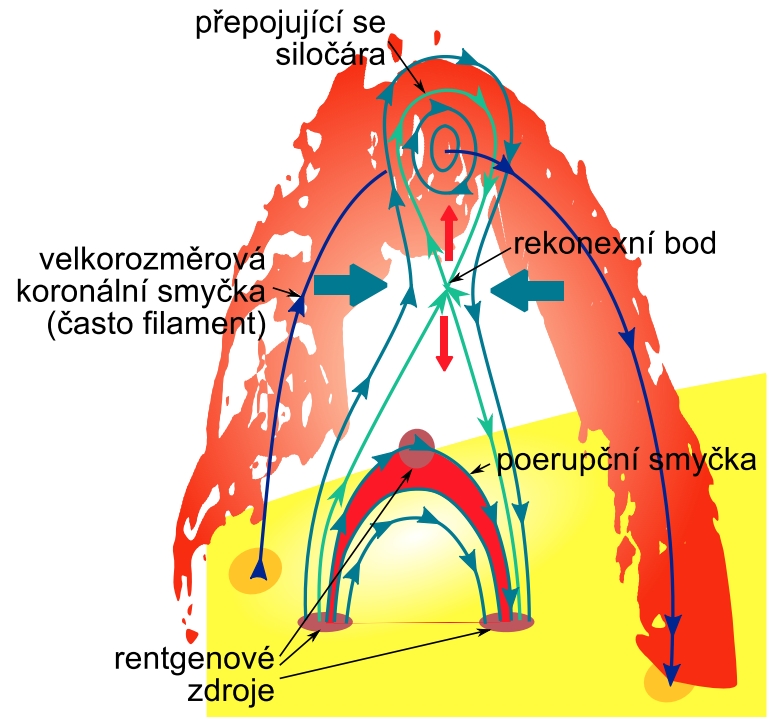


Heliosféra



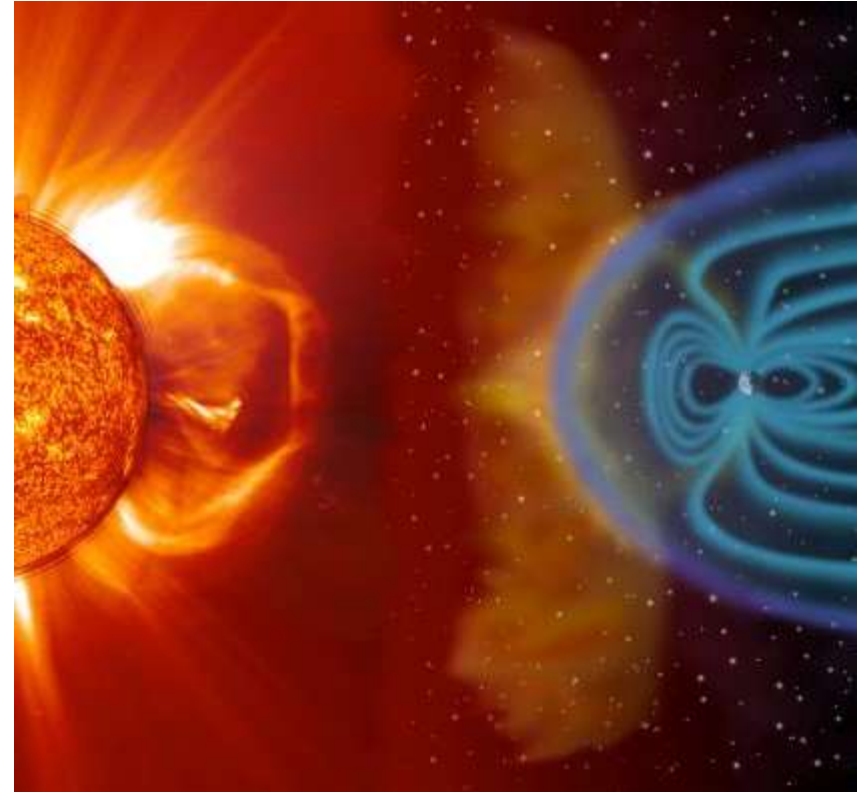
Slunce bouří

- Důsledek rekonexe magnetického pole
- Erupce začíná v koróně, částicové svazky se šíří dolů (chromosférická erupce -> bílá erupce) a od Slunce (CME, plazmový oblak)
- Klasifikace dle toku záření v úzkém rentgenovém pásu
 - A, B, C, M, X logaritmicky (X je tok 10^{-4} W/m²)
- Tepelné záření: na $\lambda < 250$ nm pouze 1 % zářivého výkonu, tedy cca 14 W/m² z celého disku (ve skutečnosti je to ještě méně). Plocha erupce je typicky zlomky (max. tisíce) viditelné hemisféry, v dané oblasti tedy erupce dominuje krátkovlnné oblasti spektra.



Kosmické počasí

- Nová disciplína
- Mapuje stav meziplanetárního okolí Země
- Kombinace pozorování a modelů
 - Pozemská pozorování
 - Kosmické družice (SoHO, SDO, STEREO)
 - In-situ měření (ACE, Wind, Cluster)
 - Modely šíření plazmových poruch (3-D CME)



Kosmické počasí



Scénář eruptivní události

1. Vysokoenergetické elektromagnetické záření

- ▣ RTG a gama
- ▣ Ionizuje atmosféru, poruchy komunikací a GPS
- ▣ Osm a půl minuty po erupci

2. Protonová bouře

- ▣ Nebezpečná pro astronauty, zvyšuje radiační zátěž pilotů atd.
- ▣ Diferenciální nabíjení družic
- ▣ 23 minut až dvě hodiny

3. Koronální ejection hmoty

- ▣ Poruchy magnetosféry
- ▣ Výpadky družic, výpadky sítí
- ▣ 20 hodin až tři dny

Polární záře

- Výsledek interakce částic slunečního větru s atomy a molekulami v atmosféře (srážková excitace)
 - Velký příkon, až 600 GW
- Nejčastěji v okolí polárních kruhů
- Probíhají téměř symetricky na jižní a severní polokouli
- Naprosto neškodné, ruší krátkovlnné spojení, umožňuje spojení dlouhovlnné



24. 9. 2006, British Columbia, Kanada

Dopady aktivity na Zemi

- Vznik napětí na dlouhých vedeních
 - Rozpad energetických sítí
 - Koroze ropovodů
- Ovlivnění rádiového spojení
 - Letecký provoz!
- Navigace
 - Těžební plošiny
 - Radiomajáky
- Falešné signály
- Elektronika
- Poškození kosmických družic
- Zvýšené radiační riziko pro kosmonauty, piloty, letušky
- Potenciální nebezpečí pro kybernetické implantáty
- Lidé citlivější na změny magnetického pole
 - Ale co NMR vyšetření?
- Ztráta orientace zvířat
 - Holubi (testováno!), delfíni, velryby

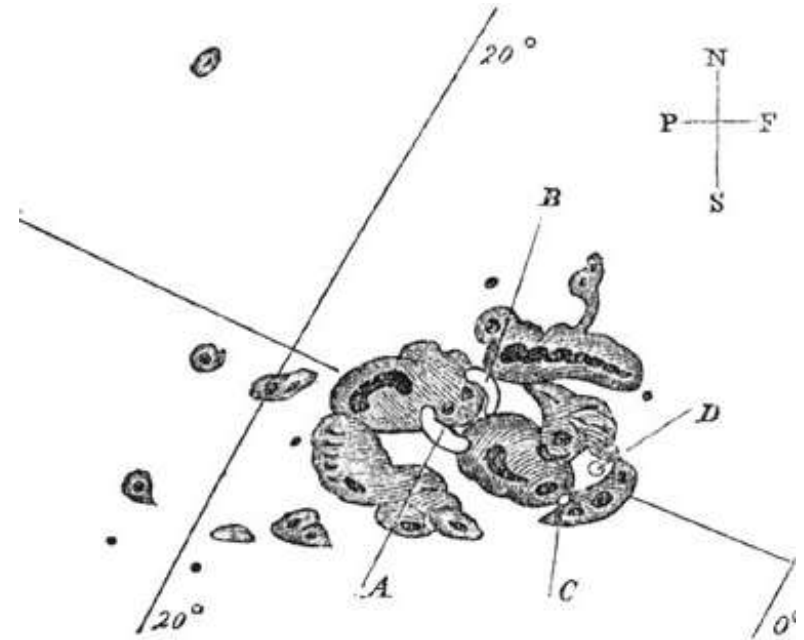


Doložené historické události

Když sluneční aktivita způsobila škody na majetku nebo alespoň zanechala otisk v novinách

Carrington Event (supererupce)

- První historicky doložená erupce z 1. 9. 1859
- Geomagnetická bouře následující dva dny.
- Polární záře až v Karibiku, horníci ve Skalistých horách snídali v domnění, že je ráno, bylo možné číst noviny
- Výpadek telegrafního spojení, popálení operátorů, některé linky posílaly falešné zprávy i bez napájení
- Dst index -1760 nT

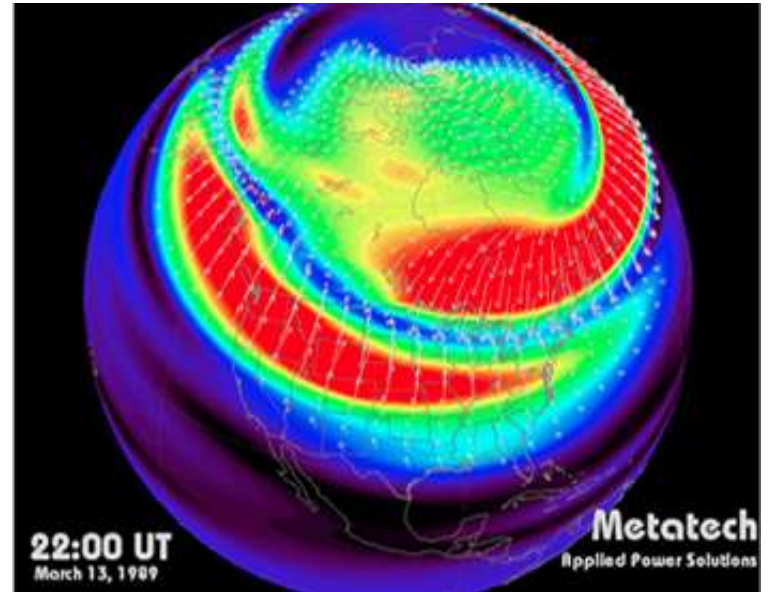


1921

- Geomagnetická bouře vyřadila 13. května 1921 městskou železnici v New Yorku.
 - Zřejmě od telegrafního vedení vyhořela kontrolní věž
- Kompletní výpadek telegrafní sítě na východě USA
- Rozsáhlé poruchy (“vyhořelá elektronika”) telefonní sítě ve Švédsku
- Poruchy transkontinentálních kabelů

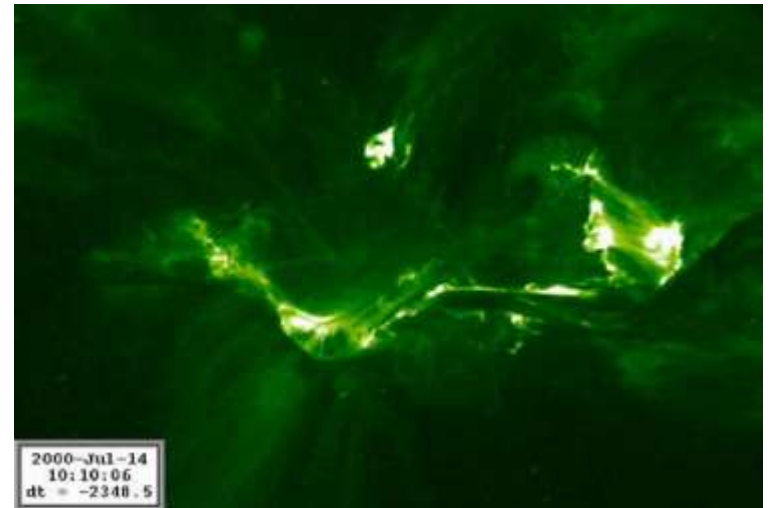
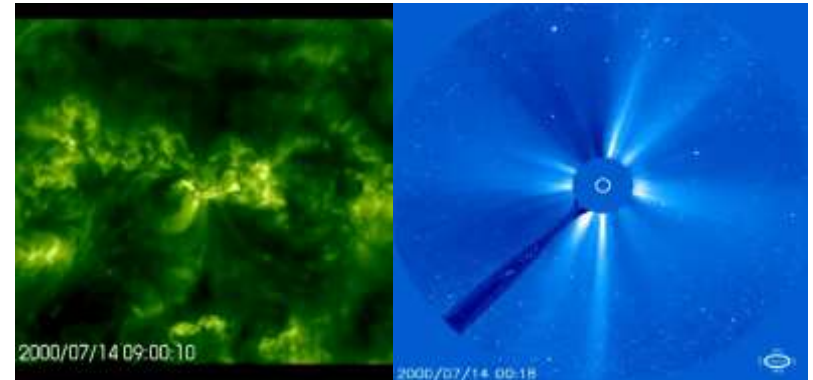
Québec Blackout

- 13. březen 1989 rozsáhlá geomagnetická bouře jako výsledek série erupcí a CME
- Rozpad energetické sítě v Québecu, kompletní blackout trval 9 hodin
 - Izolující kamenné podloží
 - Rozpad trval řádově sekundy
 - Vyhořelo několik transformátorů
 - Celkové škody \$6 milionů
- Vyhořelý 500 kV transformátor v New Jersey
- Dva vyhořelé 400 kV transformátory ve Velké Británii



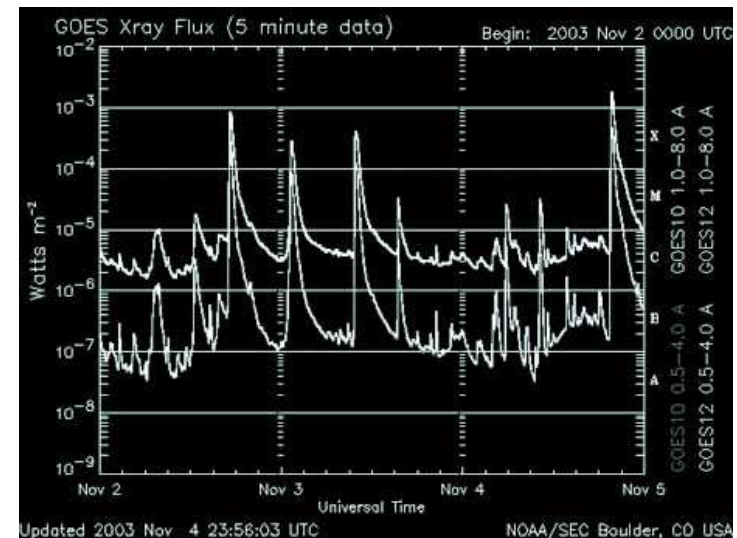
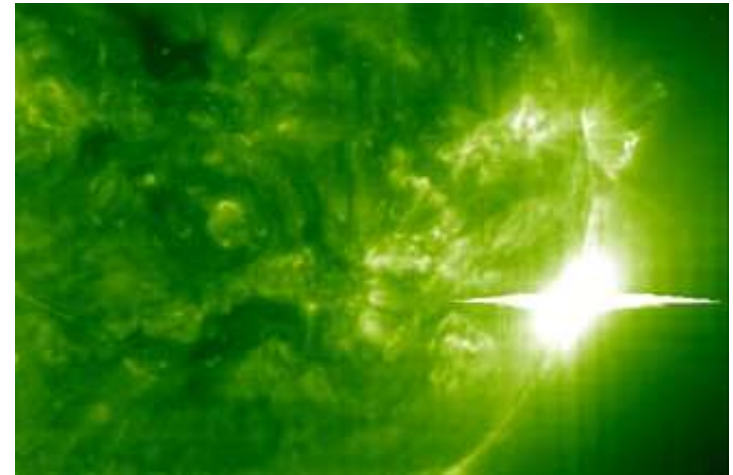
Bastille Day Event

- Erupce třídy X5 14. 7. 2000
 - Protonová erupce
 - Na středu disku, tedy dobře sledovaná
 - Naprosto zahltila EIT@SOHO a udělala měření nepoužitelnými
- Doprovázena geomagnetickou bouří 15.-17.7.
- Dozvuky koronální ejetce hmoty detekovány přístroji na Voyager 1 a Voyager 2



X28 Event (“Halloween Storms”)

- 4. 11. 2003 19.29 UT
- NOAA 10486
- Na okraji disku -> žádný efekt na Zemi
- Rentgenové detektory saturované -> těžké určit sílu
 - Původní odhad X28
 - Později překlasifikováno na X45
- Zřejmě srovnatelné s Carringtonovou erupcí (ta ale poblíž středu disku)



Polární záře v ČR v historii

- Četná pozorování v kronikách měst už od 1737
- Záznamy značně nepravidelné a řídké
- Systematicky sledovány až s rozvojem internetu a sítí pozorovatelů – ukazy.astro.cz, observers@amper.
 - Tedy až v 23. cyklu aktivity
 - První z dubna 2000 (tedy čtyři roky po minimu)
 - Maxima v roce 2001 a 2003
 - Poslední až do 2006, tedy rok před začátkem minima
 - Záře jsou častější v sestupné části cyklu než ve vzestupné – aktivní oblasti mají komplikovanější tvary (D, E, F) s větším erupčním potenciálem

Záře 17. listopadu 1989

Thionville, Francie



Warwickshire, UK



Pamatujete?

■ 6/7 dubna 2000



Pamatujete?

- ▣ 6/7 dubna 2000
- ▣ 15/16 červenec 2000
 - ▣ Shlédnuta v Praze



Pamatujete?

- ▣ 6/7 dubna 2000
- ▣ 15/16 červenec 2000
- ▣ 31 března/1 duben 2001



Pamatujete?

- ▣ 6/7 dubna 2000
- ▣ 15/16 červenec 2000
- ▣ 31 březen/1 duben 2001
- ▣ 22/23 říjen 2001



Pamatujete?

- ▣ 6/7 dubna 2000
- ▣ 15/16 červenec 2000
- ▣ 31 březen/1 duben 2001
- ▣ 22/23 říjen 2001
- ▣ 5/6 listopad 2001



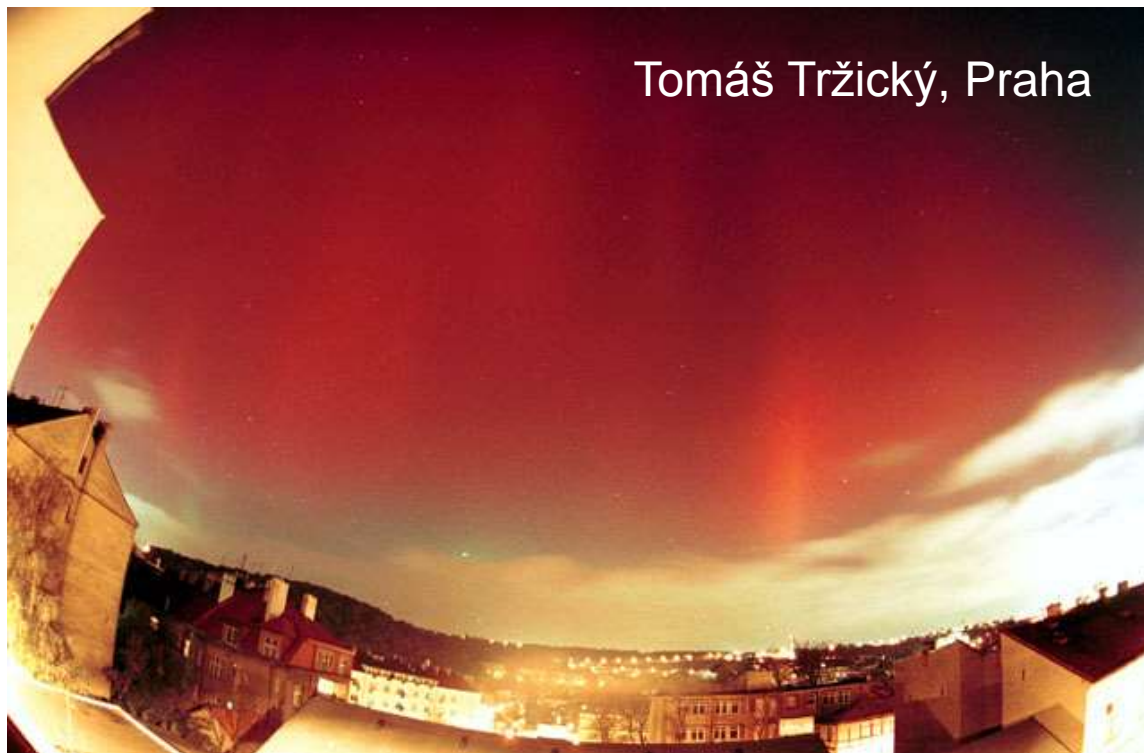
Pamatujete?

- ▣ 6/7 dubna 2000
- ▣ 15/16 červenec 2000
- ▣ 31 března/1 duben 2001
- ▣ 22/23 říjen 2001
- ▣ 5/6 listopad 2001
- ▣ 29/30 květen 2003



Pamatujete?

- 6/7 dubna 2000
- 15/16 červenec 2000
- 31 březen/1 duben 2001
- 22/23 říjen 2001
- 5/6 listopad 2001
- 29/30 květen 2003
- 30/31 říjen 2003



Tomáš Tržický, Praha

Pamatujete?

- 6/7 dubna 2000
- 15/16 červenec 2000
- 31 března/1 duben 2001
- 22/23 říjen 2001
- 5/6 listopad 2001
- 29/30 květen 2003
- 30/31 říjen 2003
- 20/21 listopad 2003



Michal Švanda, Praha

Pamatujete?

- ▣ 6/7 dubna 2000
- ▣ 15/16 červenec 2000
- ▣ 31 března/1 duben 2001
- ▣ 22/23 říjen 2001
- ▣ 5/6 listopad 2001
- ▣ 29/30 květen 2003
- ▣ 30/31 říjen 2003
- ▣ 20/21 listopad 2003
- ▣ 9/10 listopad 2004
 - ▣ Hlášení z Kletě

Michal Švanda, Praha



Pamatujete?

■ 21/22 leden 2005



Pamatujete?

- 21/22 leden 2005
- 14/15 prosinec 2006
 - Slabá
 - M. Gembec Jablonec



Pamatujete?

- 21/22 leden 2005
- 14/15 prosinec 2006
 - Slabá
 - M. Gembec Jablonec
- 5/6 srpen 2011



Pamatujete?

- 21/22 leden 2005
- 14/15 prosinec 2006
 - Slabá
 - M. Gembec Jablonec
- 5/6 srpen 2011
- 26/27 září 2011



Čeho se nejvíce bojíme?

- Rozpad energetických sítí
 - Sítě běží téměř na maximum kapacity
 - Firmy mají jen malé marginy na zdokonalování/posilování
 - Vážné poškození by se napravovalo roky

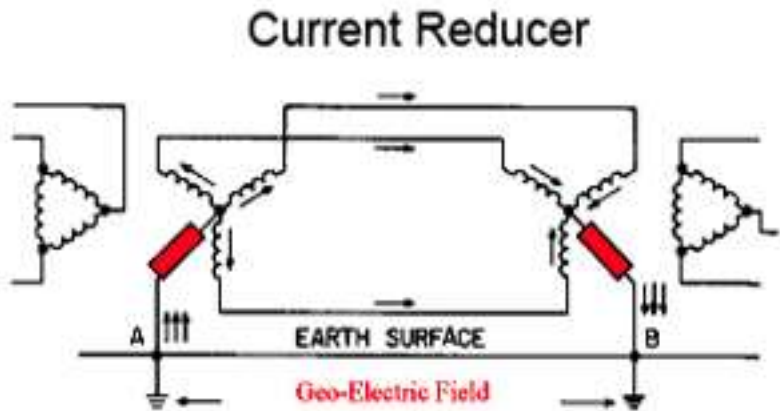
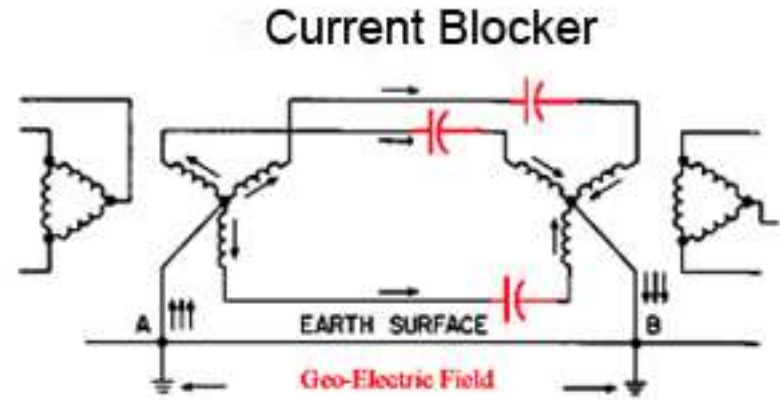
- Rozpad komunikací
 - Komunikační družice lze bránit proti sluneční aktivitě jen omezeně
 - Jediná ochrana – flotila náhradních družic připravených ke startu
 - Kolaps bezhotovostního obchodu
 - Kolaps mezinárodního obchodu

- Kolaps dopravy
 - Zásobování



Obrana transformátorů

- Kondenzátor blokující stejnosměrný proud a propouštějící vysokofrekvenční střídavý
- Účinné, ale drahé
- Nízký odpor (méně než 8 Ohmů) vložený do uzemnění transformátoru
 - Geomagnetické indukované proudy vstupují přes uzemnění
 - Odpor zablokuje cca 70% GIC
- Operační taktika
 - Náhradní transformátory, vypínání



Harmonogram zkázy (pro US)

- ▣ **Pravděpodobnost: 1:500 za rok** (odhad NASA)
- ▣ Rozpad elektrické sítě – 90 sekund
 - ▣ 300 transformátorů zničeno, 130 milionů lidí bez proudu
 - ▣ Následuje rozpad bezhotovnostního trhu
- ▣ Zásobování pitnou vodou – dny
- ▣ Zdravotní péče – cca 72 hodin
- ▣ Zásobování potravinami – méně než týden
- ▣ Základní obnova – cca měsíc
 - ▣ Instalace klíčových transformátorů z náhradních dílů
 - ▣ Klíčové transformátory jsou zakázkové zboží, instalace jednoho trvá cca týden, výroba cca rok. Bude co přifázovat? Uhelná elektrárna – zásoba na 30 dní
- ▣ Plná obnova – alespoň čtyři roky (ale spíš deset let)

Celková škoda: triliony dolarů

Zabije nás sluneční aktivita?

- NE
 - Biosféra Země již lecjaké vrtochy Slunce přežila
 - Žádná hromadná vymírání nejsou spojována se sluneční aktivitou (jiné vlivy – dopady planetek, sopečná činnost, výbuch supernovy – lze ztotožnit)
- Kolaps civilizace?
 - Možná, je docela pravděpodobný
- Vliv na podnebí
 - Vyšší aktivita – o cca 0,1 % vyšší ohřev, dlouhodobý vliv
 - Minima aktivity = ochlazení, maxima aktivity = oteplení



Konec třetí části...