



# Kosmické počasí a my



Lenka Zychova  
Royal Belgian Institute of Space Aeronomy  
Space Pole, Ukkle, Brussels



## Kosmického počasí

- stav a podmínky v blízkém vesmíru, ovlivněné především Sluncem
- vliv na technologie i člověka





# Zdroje kosmického počasí



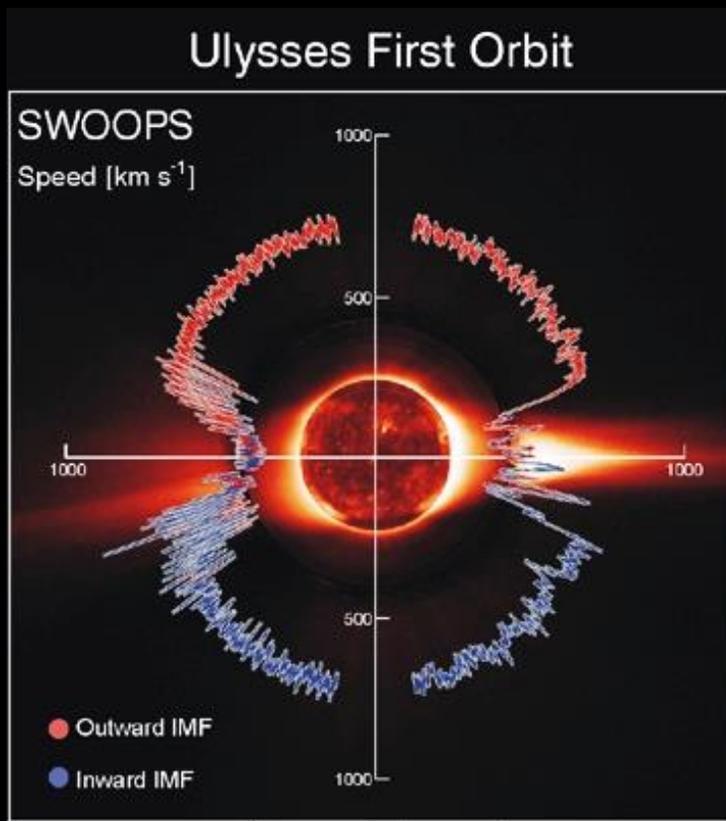
# Sluneční vítr

## Pomalý sluneční vítr

- $V \sim 300\text{--}500 \text{ km/s}$
- $T < 200\,000 \text{ K}$
- $d \sim 7 \text{ cm}^{-3}$
- Složení: ~ koróna

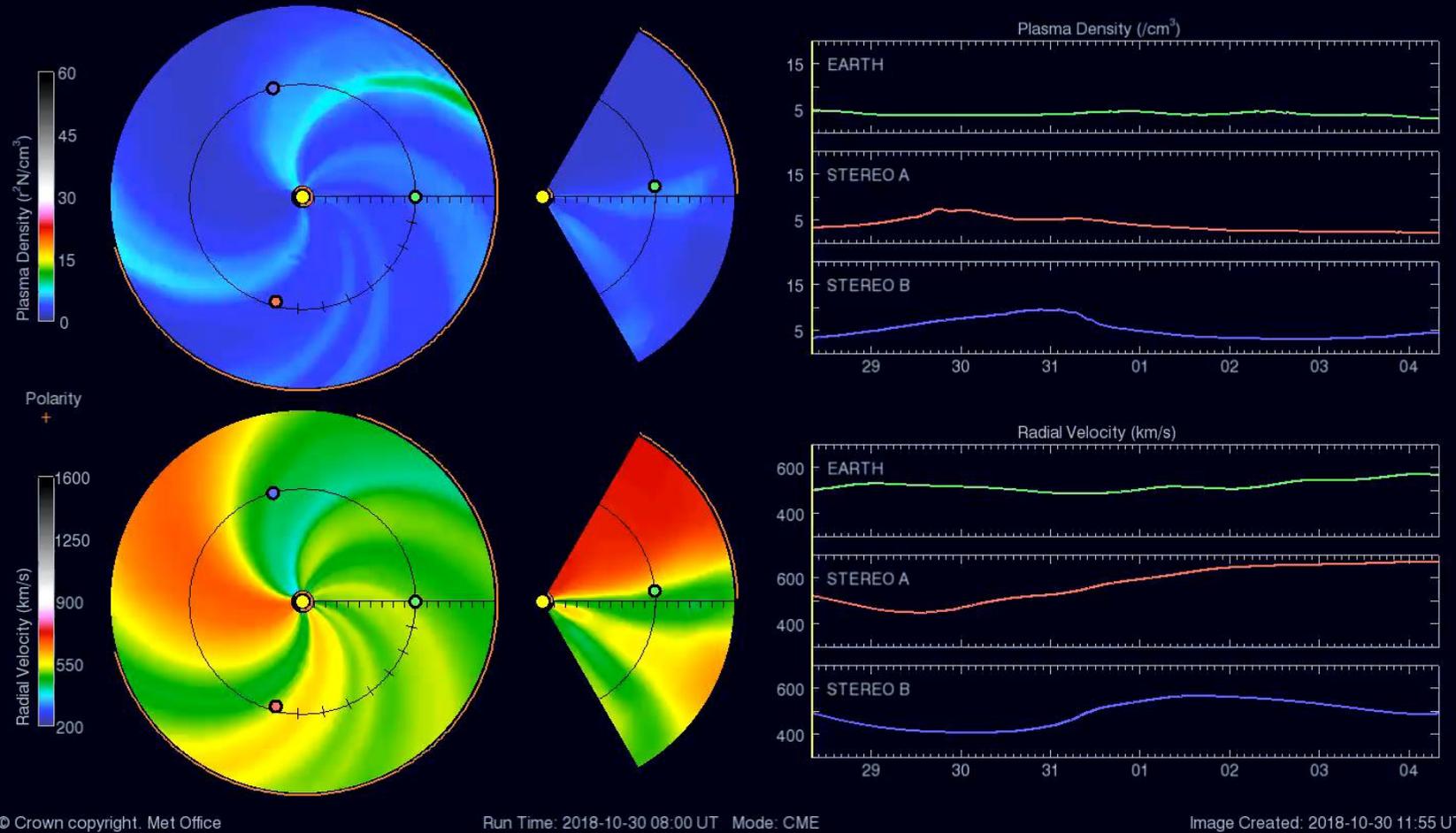
## Rychlý sluneční vítr

- $V \sim 750 \text{ km/s}$
- $T < 50\,000 \text{ K}$
- $d \sim 3 \text{ cm}^{-3}$
- Složení: ~ fotosféra



# Sluneční vítr

2018-10-28 08:00:00

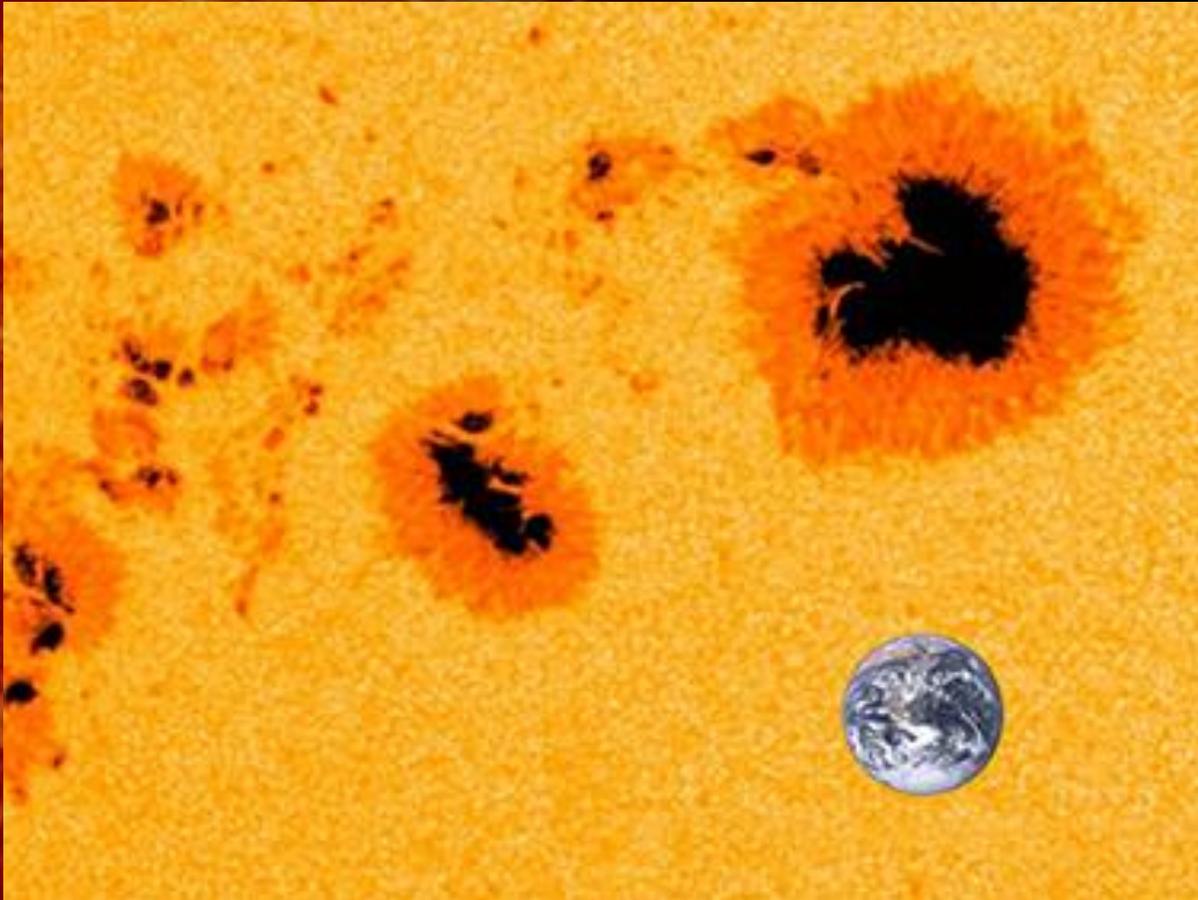


# Výrony koronální hmoty

- Rychlost: 250 – 3000 km/s

# Výrony koronální hmoty

Kredit: Sunspot region 11944m NASA/SDO



- Rychlost: 250 – 3000 km/s
- Proces vzniku:
  - Aktivní region – magnet. rekonekce



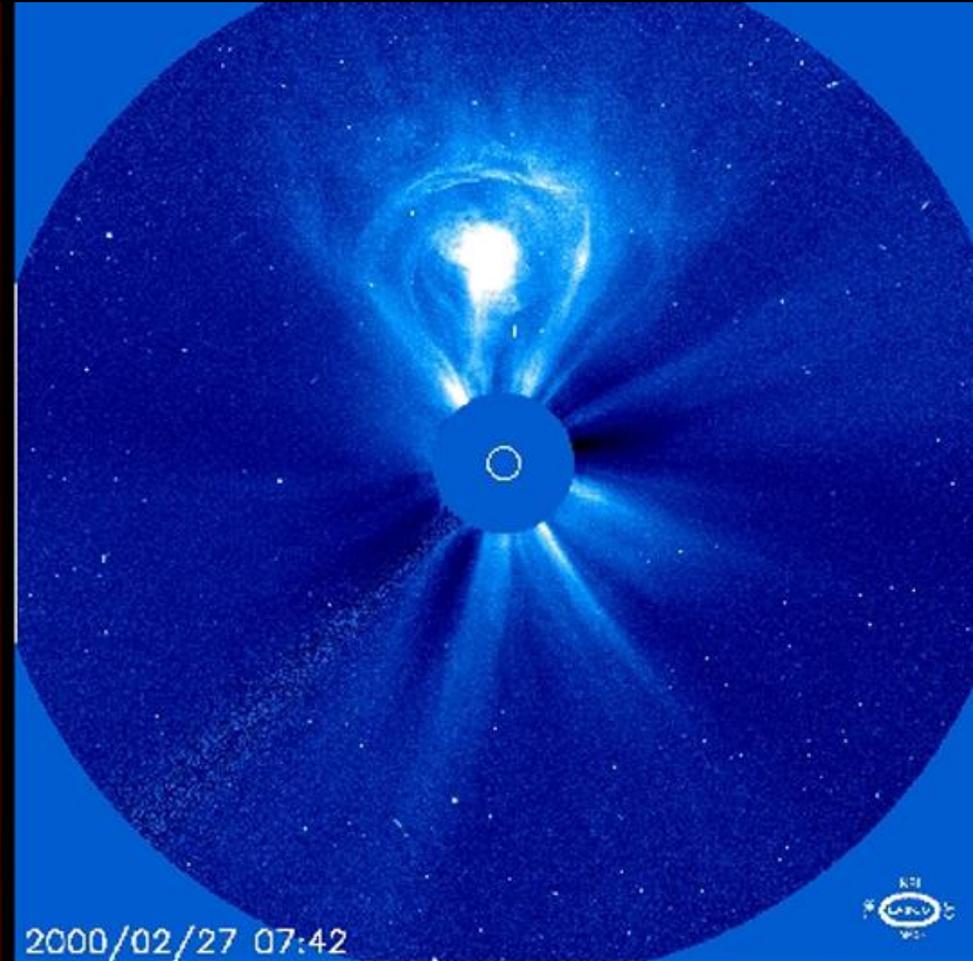
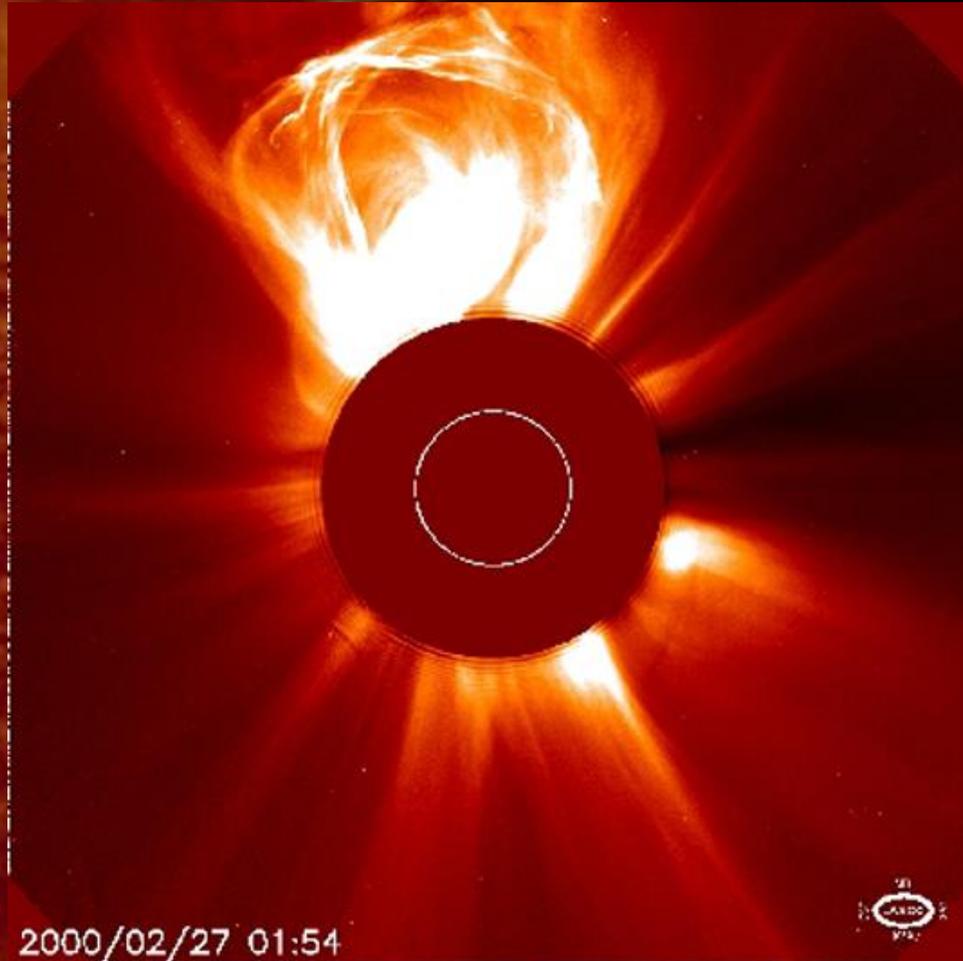
Kredit: NASA

# Výrony koronální hmoty

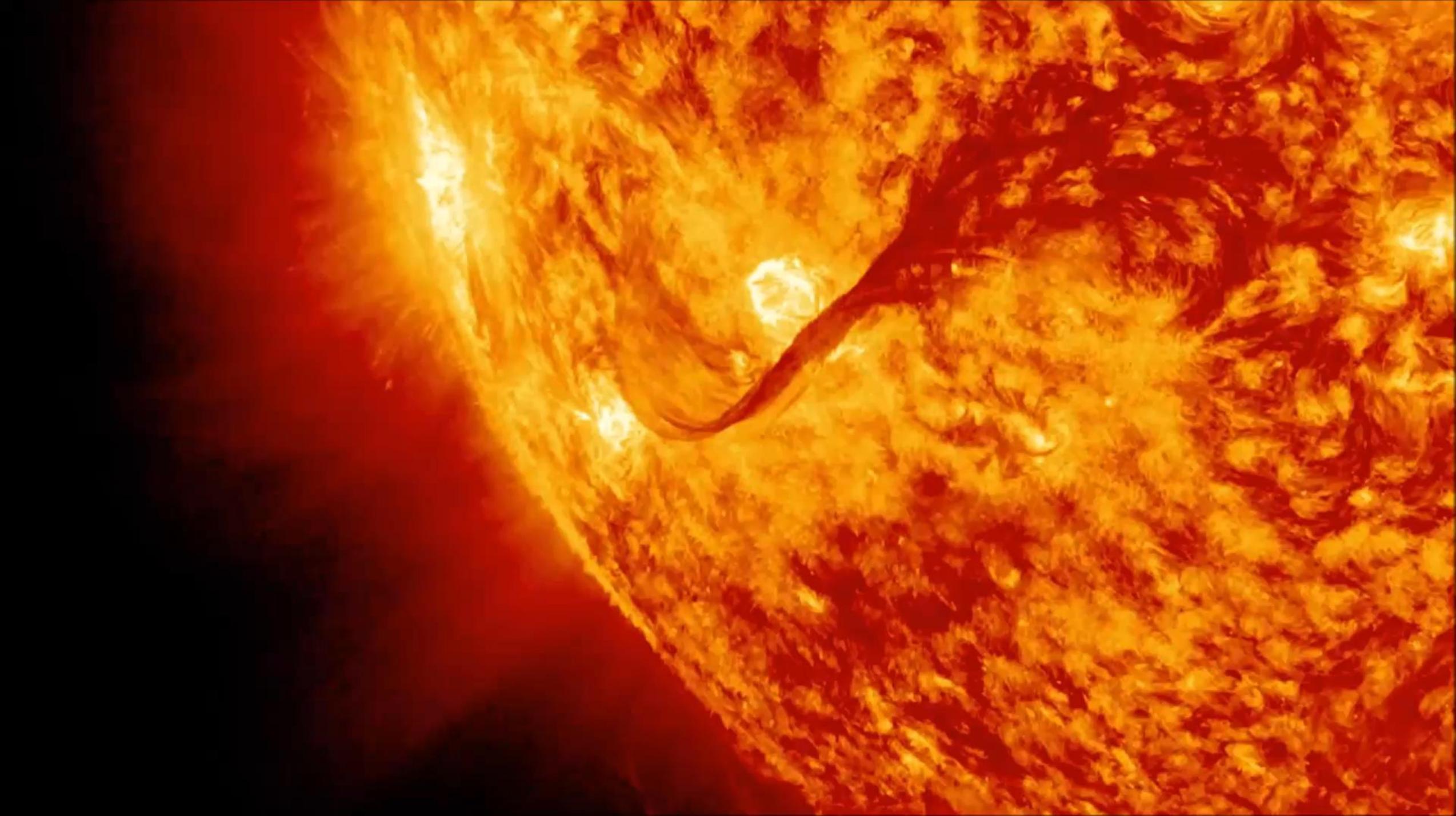


- Rychlost: 250 – 3000 km/s
- Proces vzniku:
  - Aktivní region – magnet. rekonekce
  - Kolaps protuberance/filamentu

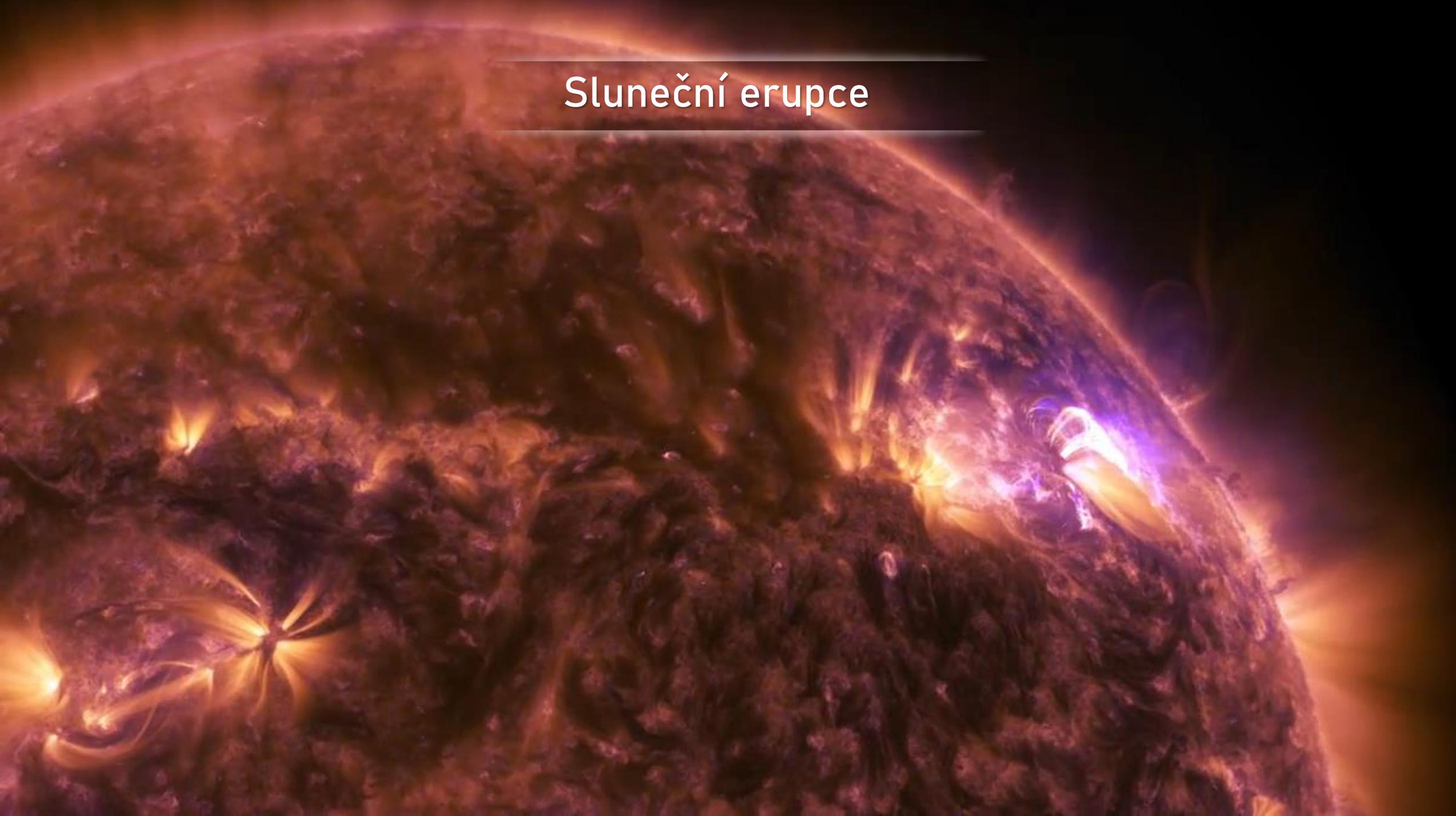
# Výrony koronální hmoty



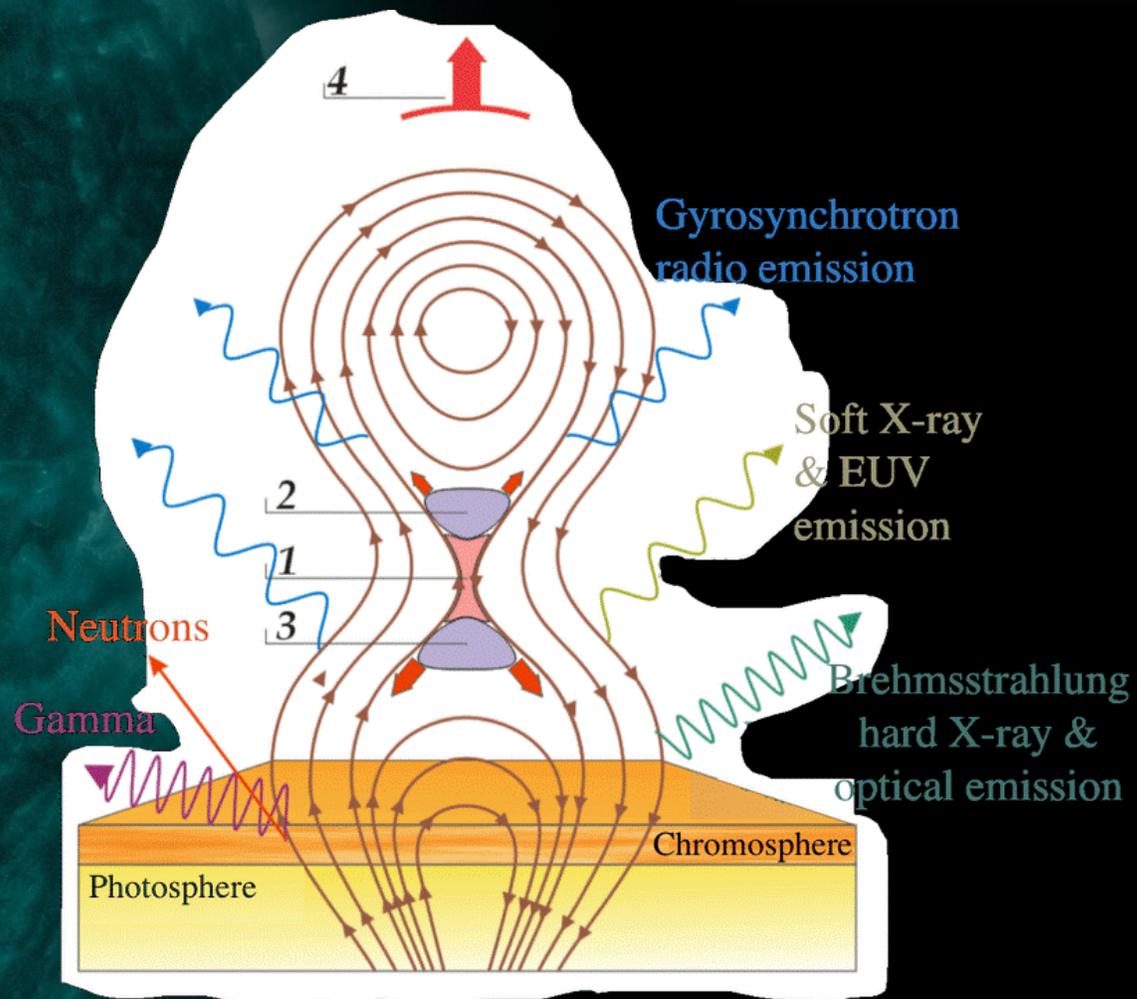
Kredit: SOHO ESA & NASA



# Sluneční erupce

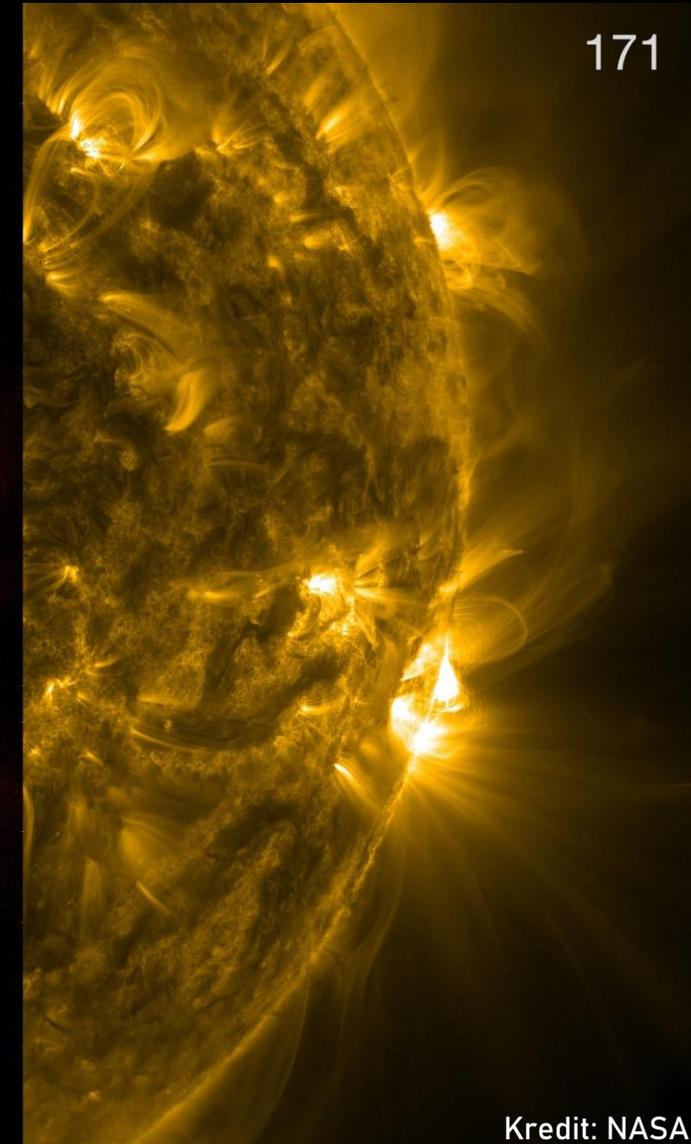
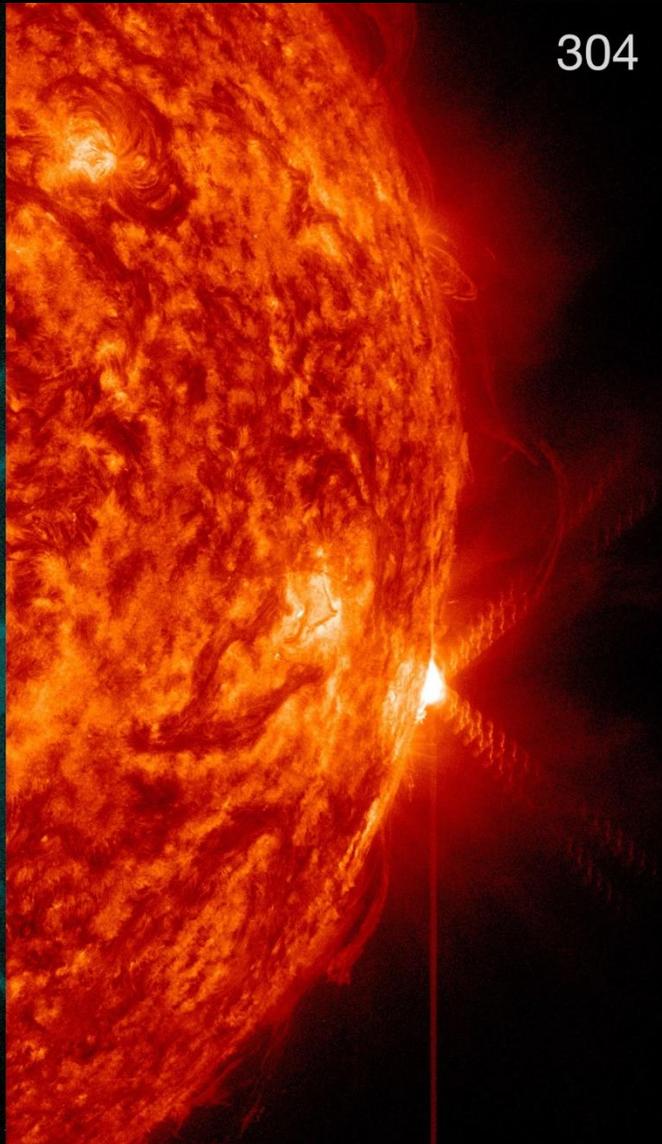
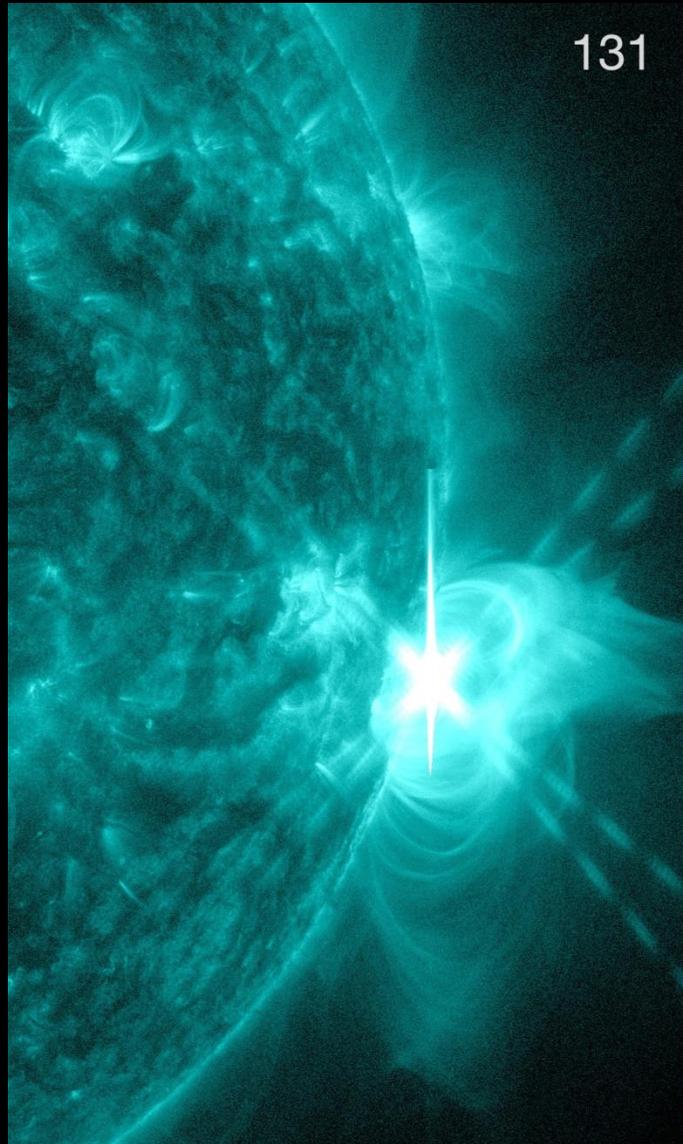


# Sluneční erupce



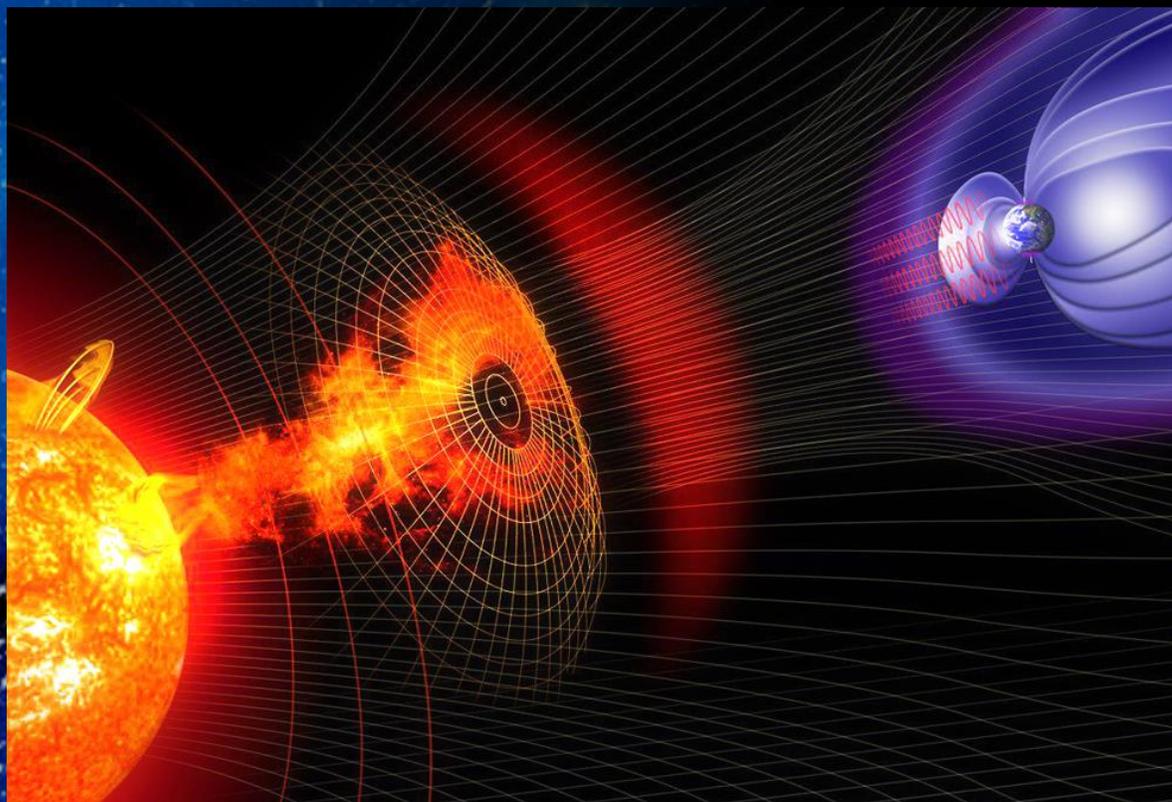
- Magnetická rekonekce – uvolnění energie – elmag záření
- Frekvence:
  - M1: 2000 za cyklus
  - X10: 8 za cyklus

# Sluneční erupce



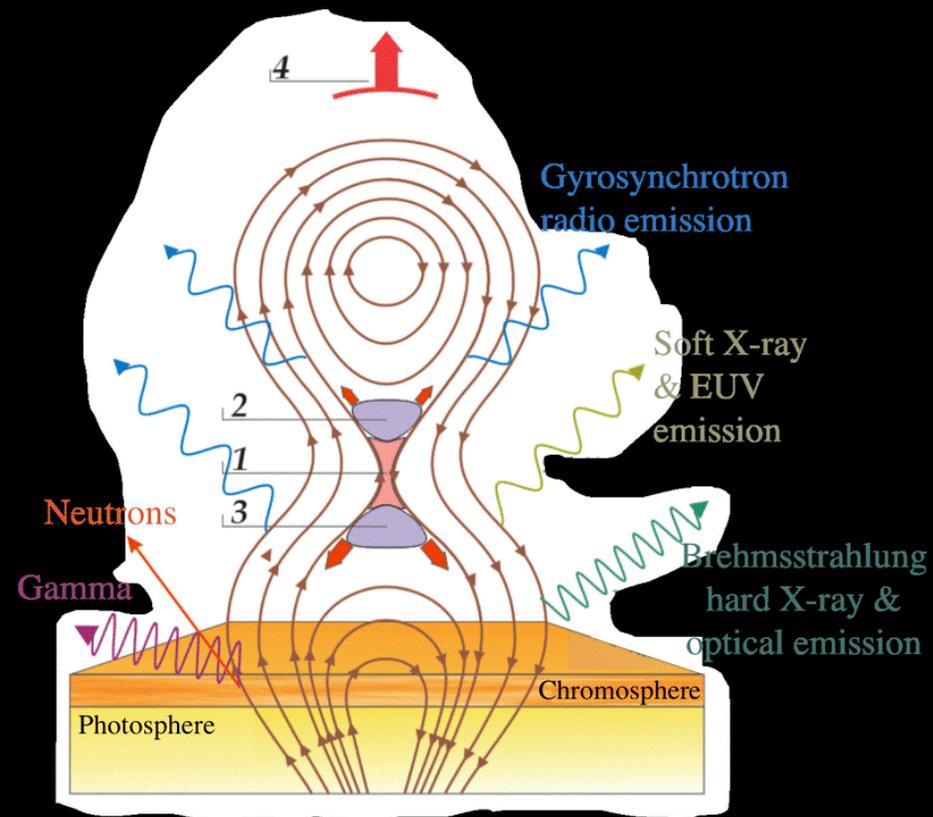
# Sluneční energetické částice

## Vznik SEP při CME

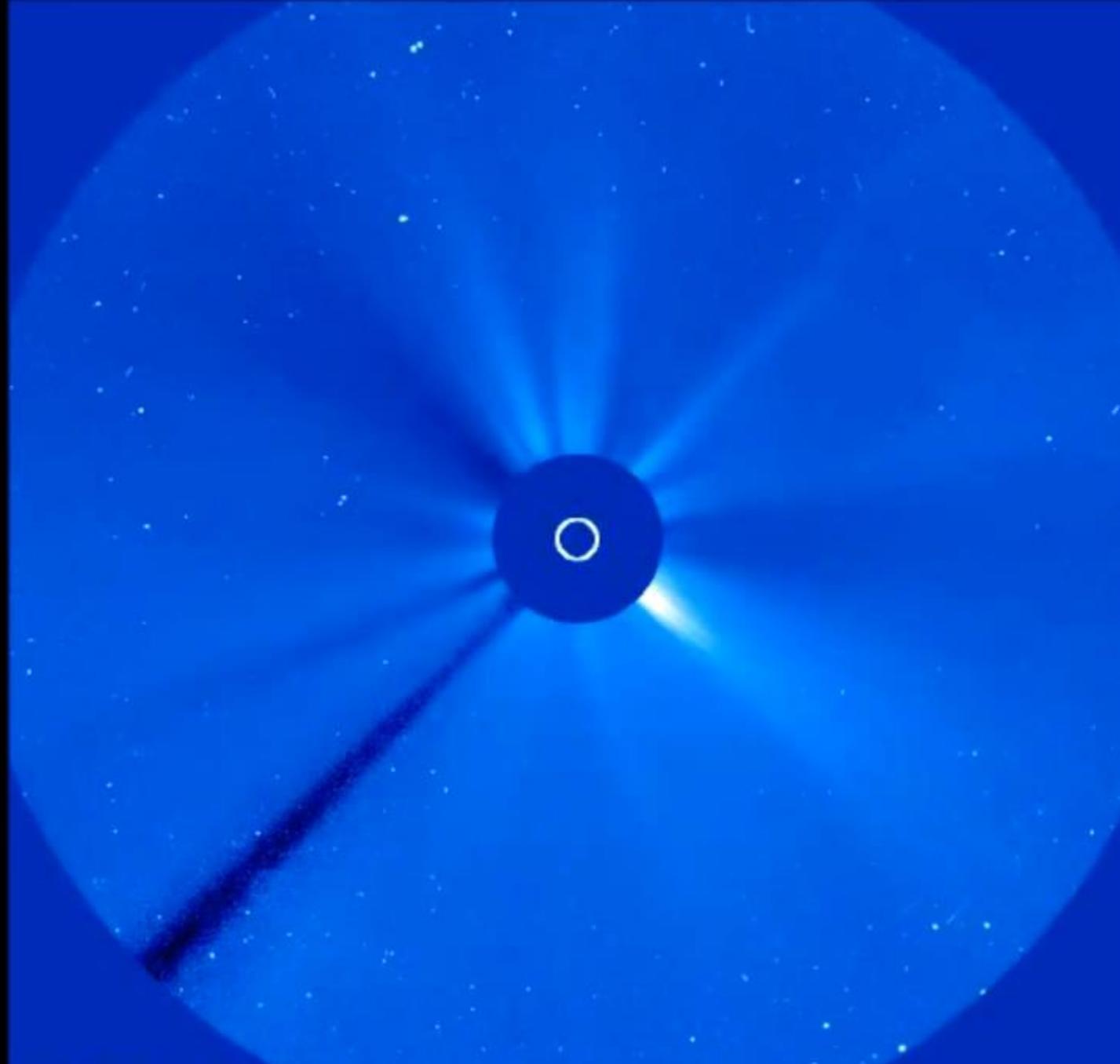


Kredit: NASA

## Vznik SEP při erupci



Kredit: Bazilevskaya (2017)

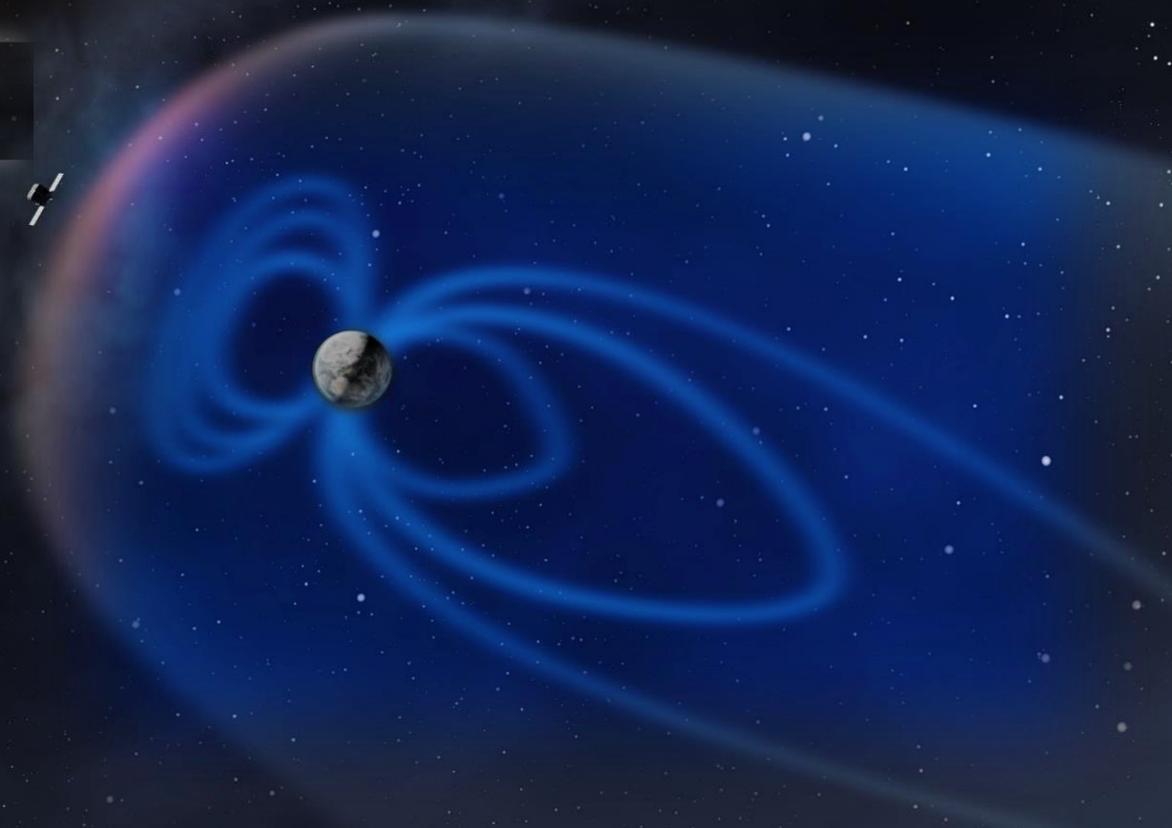
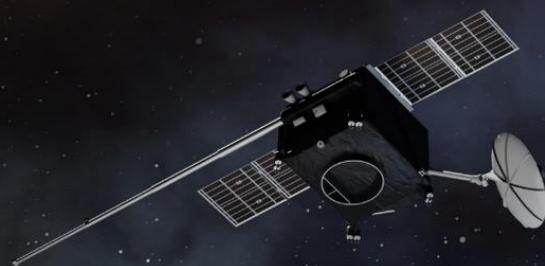


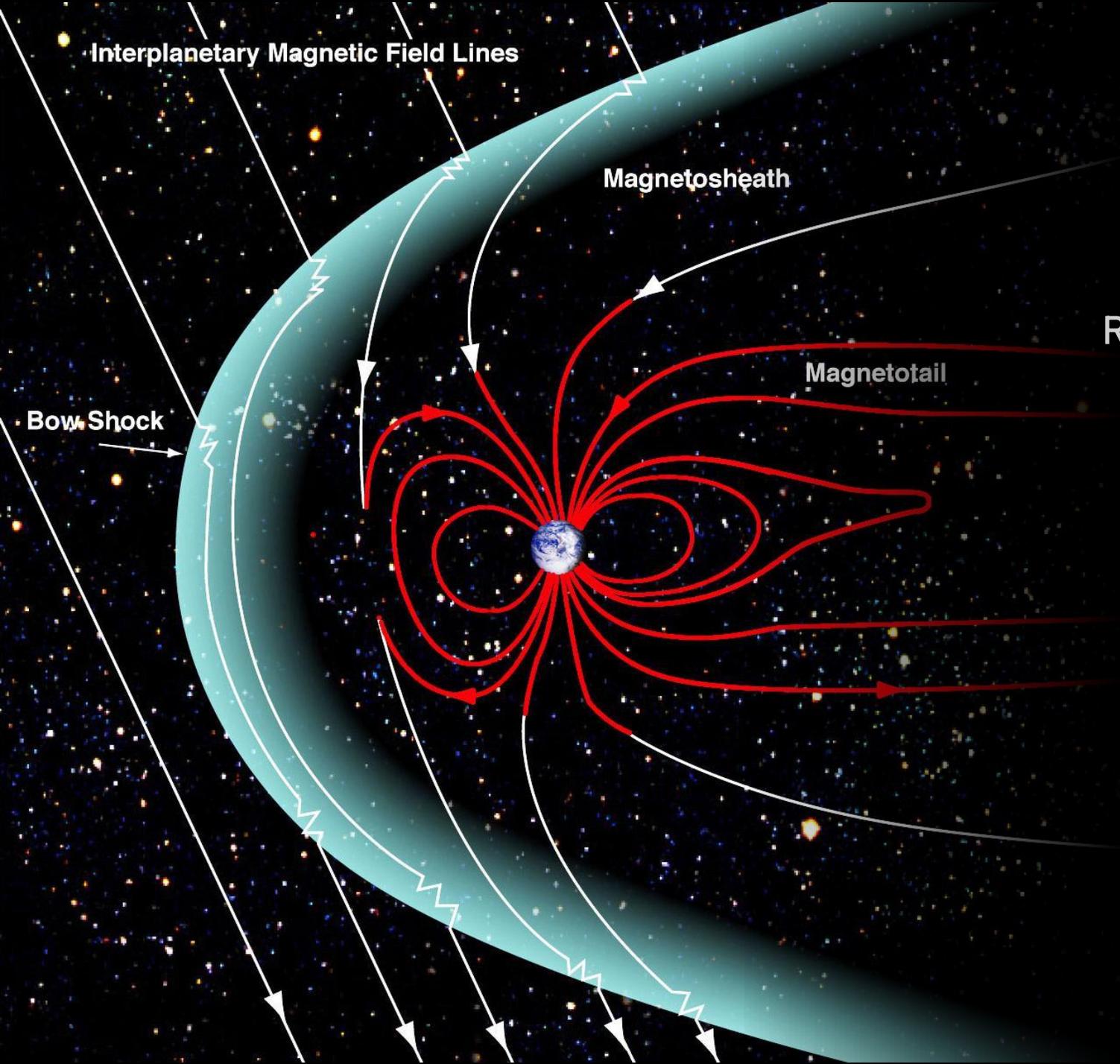
2012/01/22 06:54

Kredit: SOHO ESA & NASA



# Ochrana Země





Interplanetary Magnetic Field Lines

Magnetosheath

Bow Shock

Magnetotail

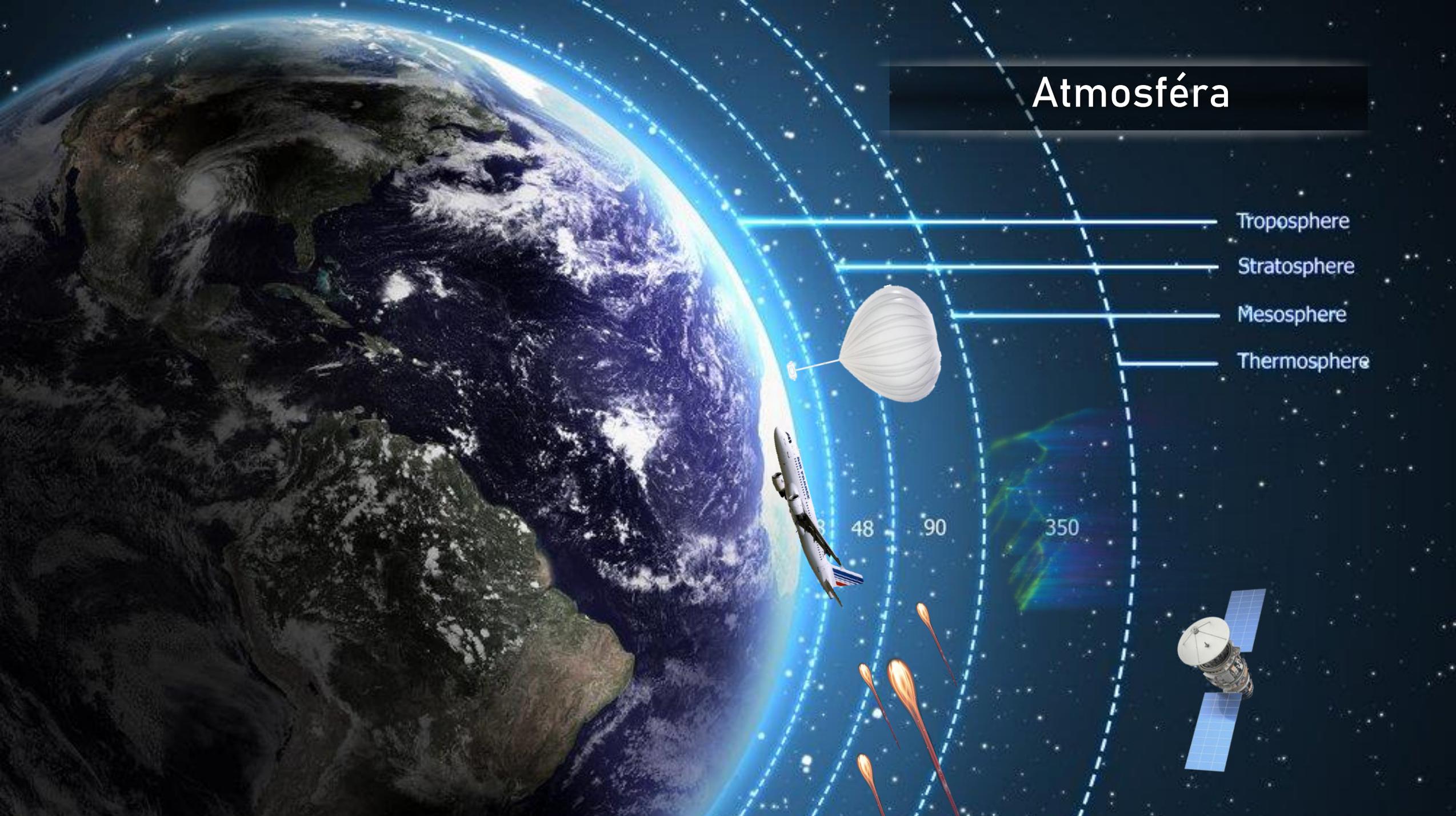
# Magnetosféra

Rozměry:

- Bow shock: 90 000 km (17km)
- Denní strana: 65 000 km
- Noční strana: 6 300 000 km

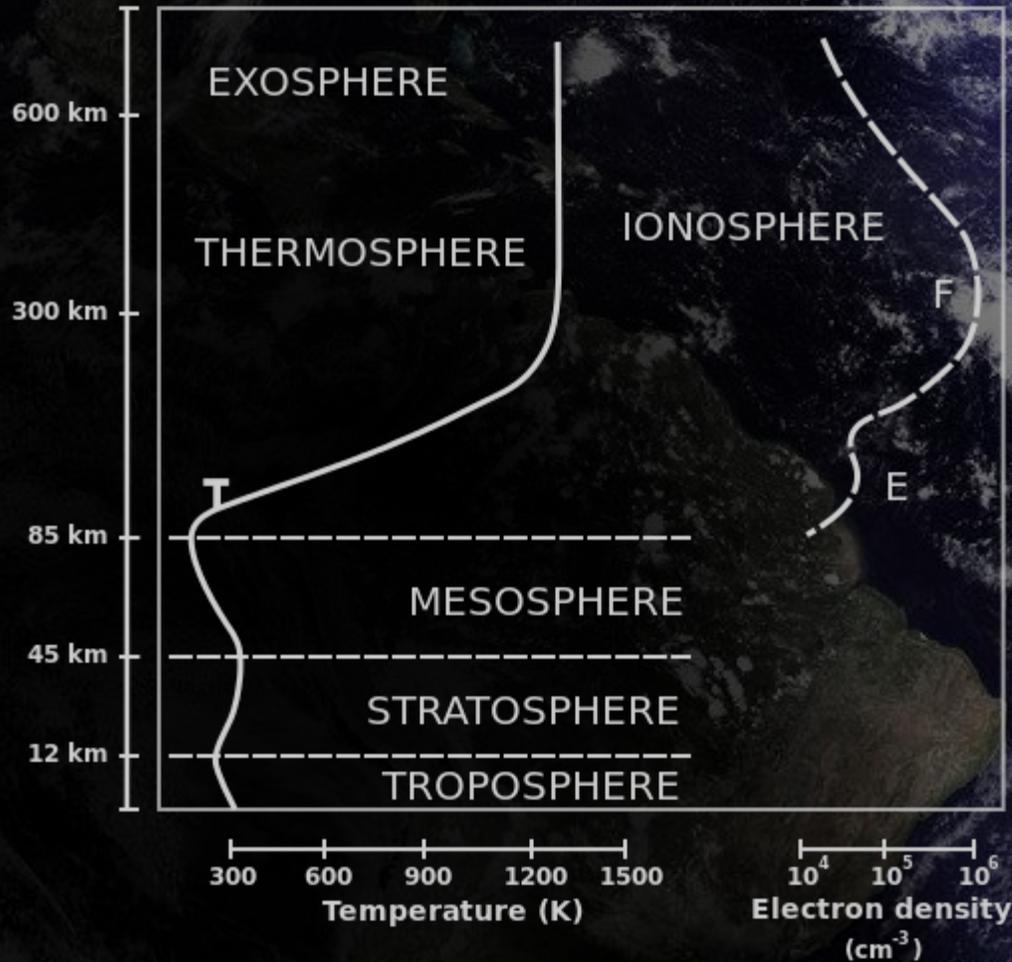
# Atmosféra

Troposphere  
Stratosphere  
Mesosphere  
Thermosphere



# Ionosféra

- Troposphere
- Stratosphere
- Mesosphere
- Thermosphere



18 48 90 350



# Důsledky kosmického počasí

A night sky filled with a meteor shower, with streaks of light in green, yellow, and red. Below the sky, a dark, rocky landscape is visible, illuminated by the same colors. A small boat is visible in the foreground on the left.

# The Great Gig in the Sky

# Carrington událost

Kdy: 28. srpna – 2. září 1859

Co se stalo:

- Pozorování polárních září

*From the New York Sun.*  
A splendid exhibition of the Aurora Borealis, or "Northern Lights," took place on Sunday evening. They were so brilliant that they gave rise to the rumor of a large fire. The air became affected by them, being made very cool, and singularly enough the telegraph wires were also acted upon so much as to be almost useless.

The Cahaba Gazette, 09 Sep 1859

Boston, Sept. 2.  
The auroral display of last night was so brilliant after midnight that ordinary print could be read by its light. It considerably impeded the working of telegraph lines, and its effects were continued up to noon to-day. The auroral current from East and West was so regular, that operators on the Eastern lines could send messages to this city without the usual batteries being applied. The same extraordinary effect was apparent on the telegraph wire between Philadelphia and Pitts-

The Weekly West, 10 Sep 1859

dramatic effects. Named the Carrington Event, after the astronomer who documented it fully, the solar storm caused Californian Gold Rush miners to be woken in their tents by the bright northern lights. Aurorae were seen as far north as Queensland in the southern hemisphere and as far south as Washington in the northern.

The Vancouver Sun, 17 Aug 2013

Singular as it may appear, a gentleman actually killed three birds with a gun yesterday morning about 1 o'clock, a circumstance which perhaps never had its like before. The birds were killed while the beautiful aurora borealis was at its height, and being a very early species — larks — were, no doubt, deceived by the bright appearance of everything, and came forth innocently, supposing it was day.

New Orleans Daily Picayune, September 9, 1859

# Carrington událost

“This morning one of the most startling as well as singular electrical phenomena occurred on the telegraph lines throughout the United States that has ever taken place in this country. It has been manifested on the various telegraph lines throughout the country during all this forenoon, thereby causing much annoyance to the operators. A series of currents of electricity, entirely independent of the batteries, seem to have taken possession of the wires, and to such an extent that the National Telegraph was actually enabled to send messages from New York to Pittsburg, (Penn.) correctly, without the use of a particle of galvanic battery using this independent electricity of the air in the place of that supplied by the ordinary batteries!

Keowee Courier, 17 Sep 1859

Singular Effect of the Aurora Borealis on the Telegraph Wires. New York. August 29, The Superintendent of the Canadian Telegraph Company's line telegraphs as follows in relation to the effect of the Aurora Borealis last night: 'so completely were the wires under the influence of the Aurora Borealis, that it was found utterly impossible to communicate between the telegraph stations, and the line had to be closed. The same difficulty prevailed as far South as Washington.

Chicago Tribune, 1859

The French telegraph communications at Paris were greatly affected, and on interrupting the circuit of the conducting wire strong sparks were observed. The same thing occurred at the same time at all the telegraphic station in France.

The Illustrated London News, September 24, 1859

Happening to lean towards the sounder, which is against the wall, my forehead grazed a ground-wire which runs down the wall near the sounder. Immediately, I received a very severe electric shock, which stunned me for an instant. An old man who was sitting facing me, and but a few feet distant, said that he saw a spark of fire jump from my forehead to the sounder.

New York Times, Sept. 5, 1859

Kdy: 28. srpna – 2. září 1859

Co se stalo:

- Pozorování polárních září
- Problémy s telegrafní komunikací

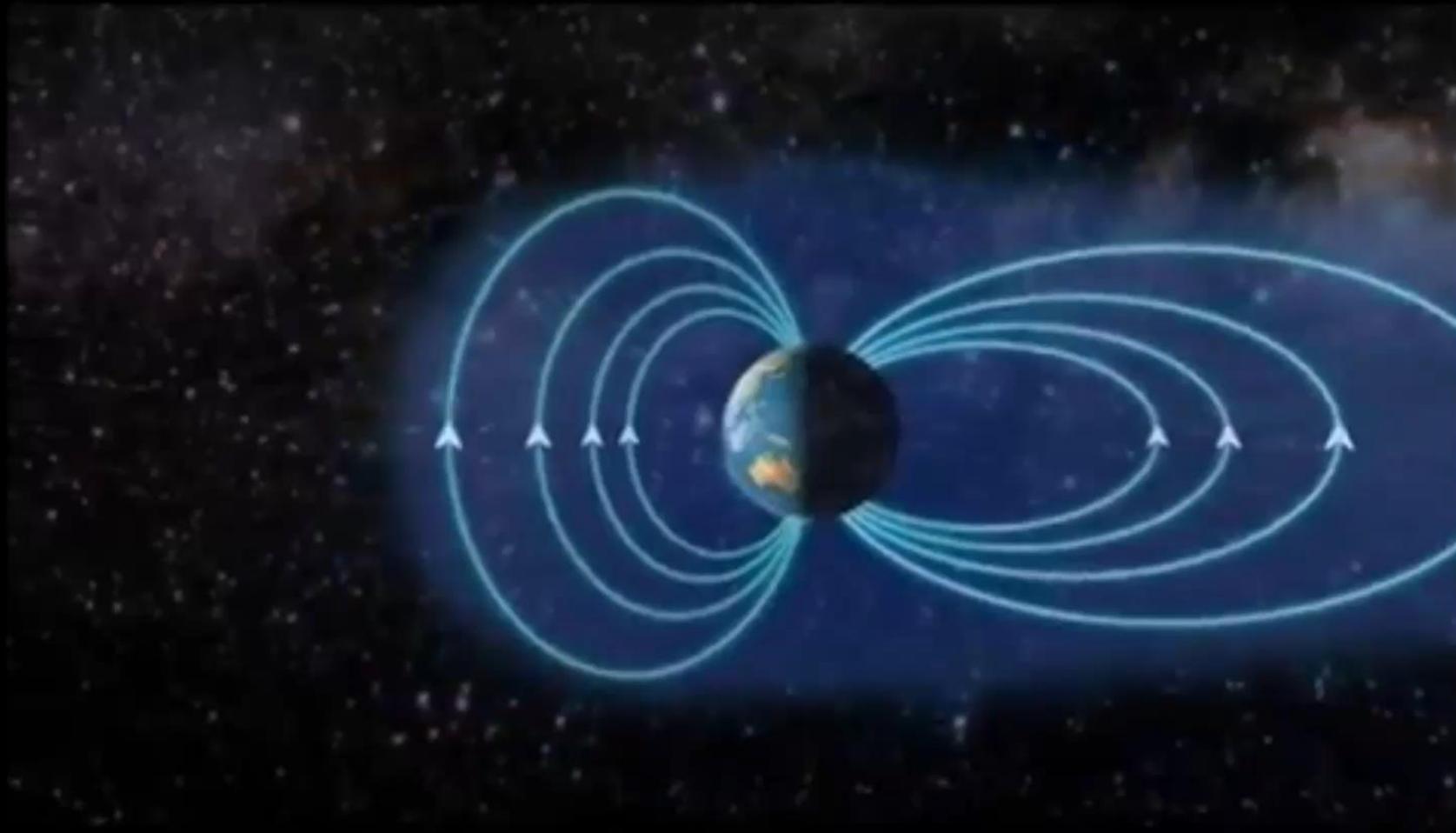
# Carrington událost

Kdy: 28. srpna – 2. září 1859

Co se stalo:

- Pozorování polárních září
- Problémy s telegrafní komunikací

# Polární záře

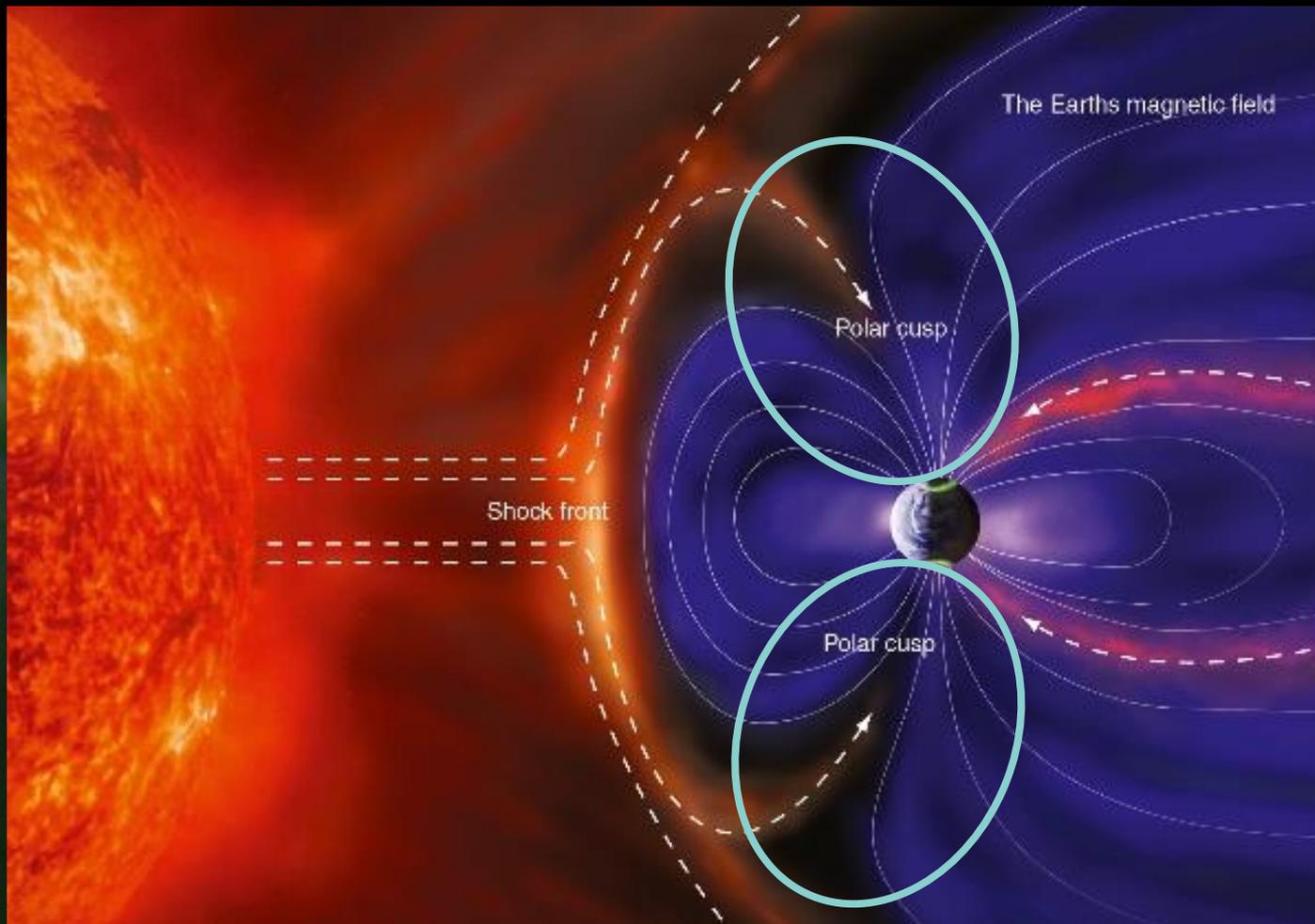


# Polární záře

## Denní polární záře



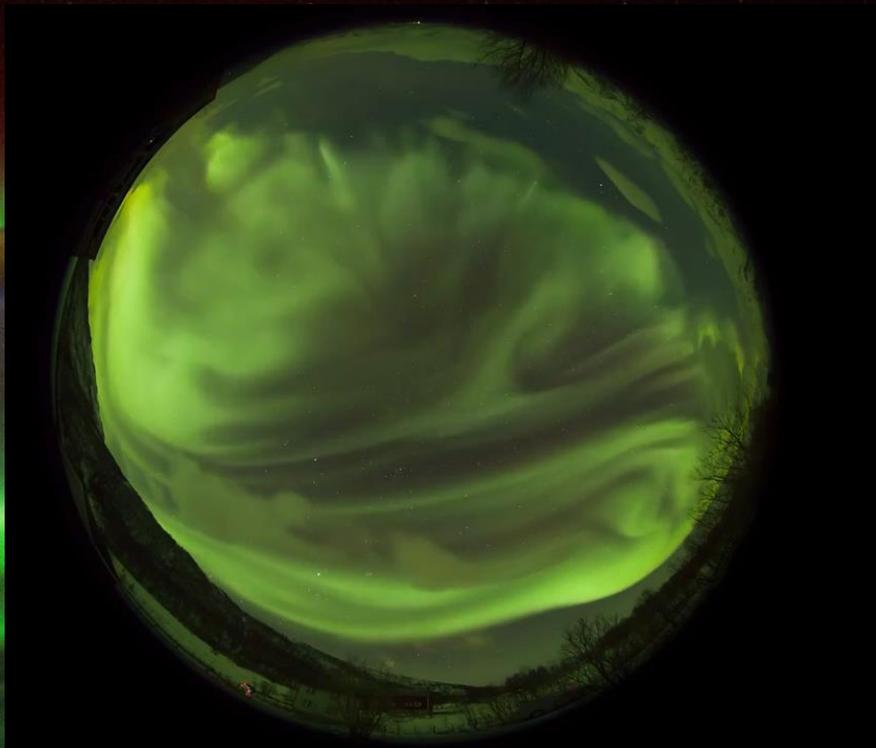
Kredit: Kjell Henriksen Observatory/UNIS/F. Sigernes



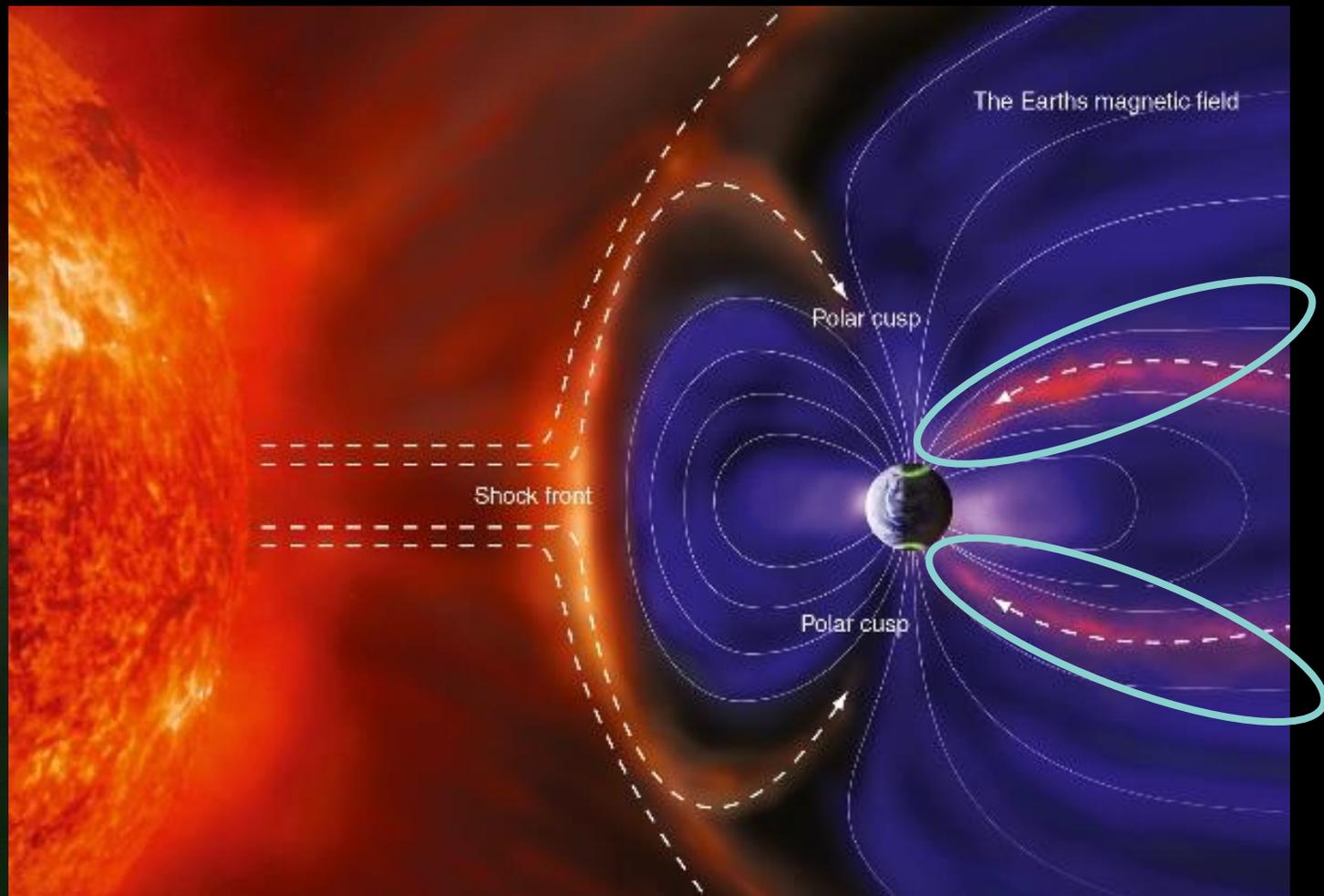
Kredit: T. Abrahamsen

# Polární záře

## Noční polární záře



Kredit: Thierry Legault



Kredit: T. Abrahamsen

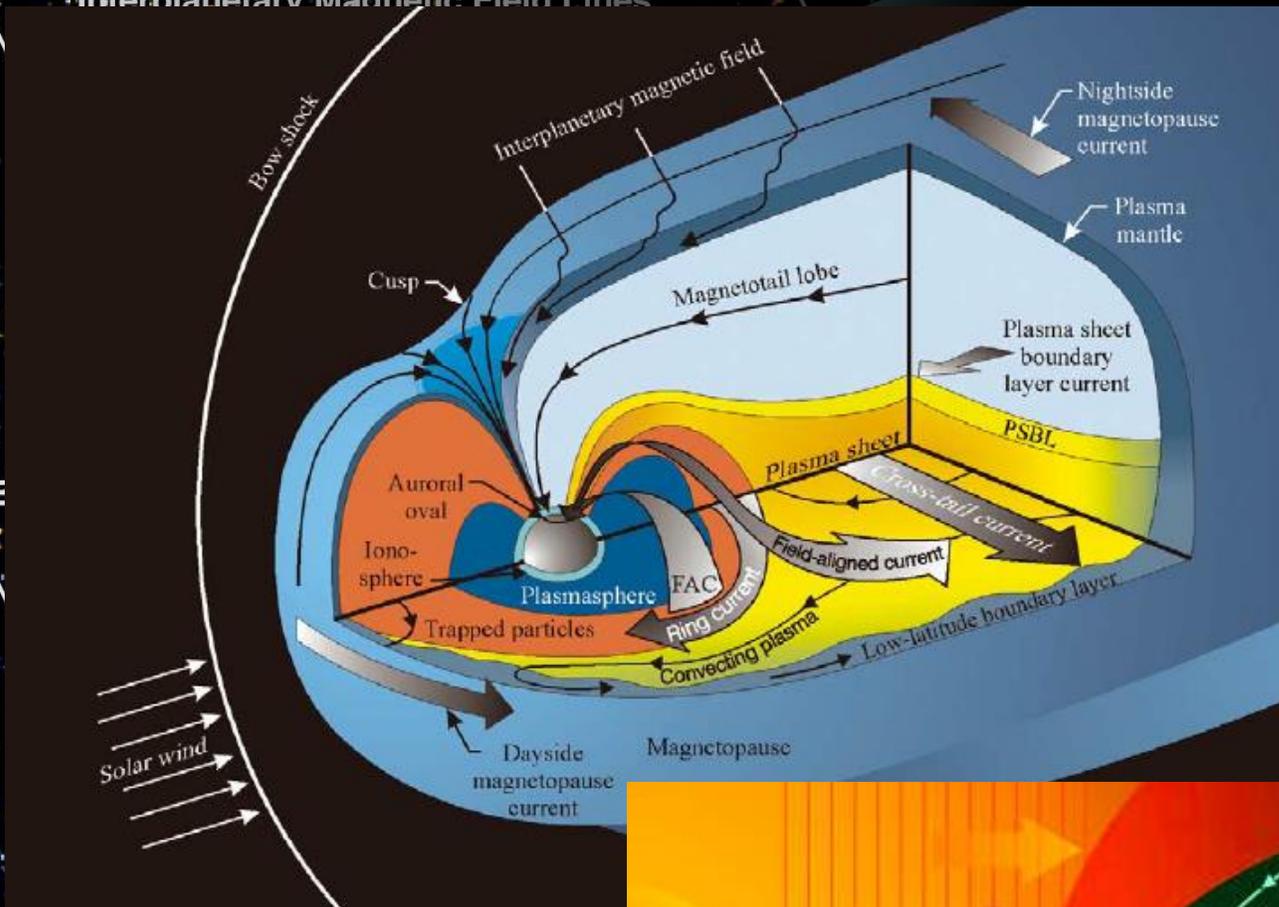
# Carrington událost

Kdy: 28. srpna – 2. září 1859

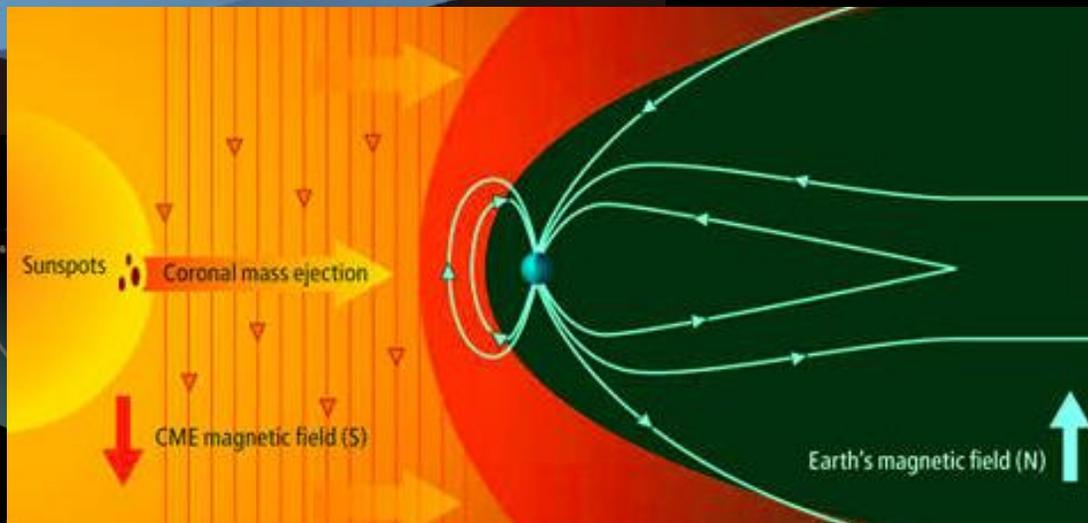
Co se stalo:

- Pozorování polárních září
- Problémy s telegrafní komunikací

## Interplanetary Magnetic Field Lines

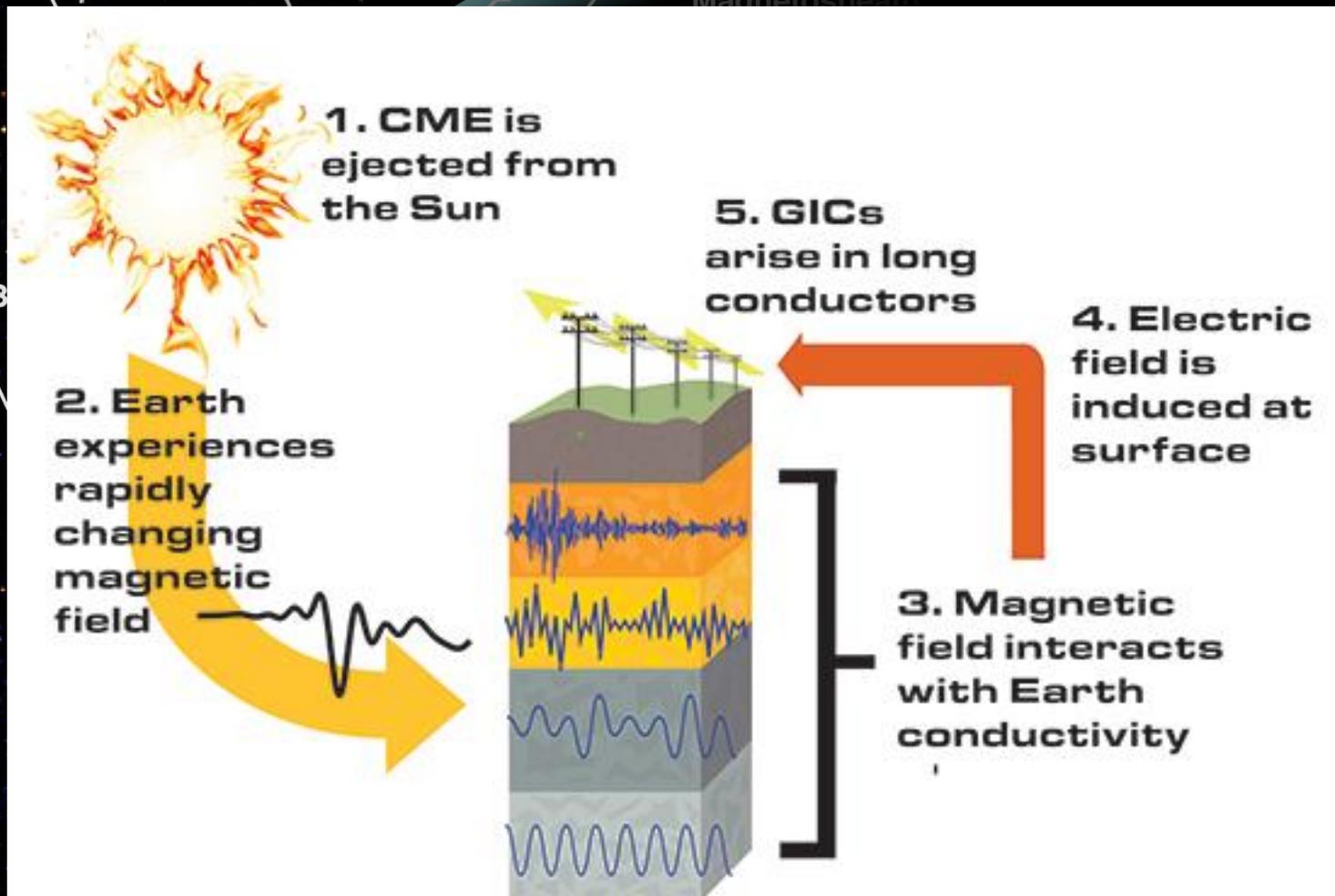


Kredit: Craigh Pollock, 2003



## Geomagnetická bouře

- Interakce CME s magnetosférou Země → geomagnetické bouře
- Rychlé změny magnetického pole Země + komplex proudů, radičních pásů....



## Geomagnetická bouře

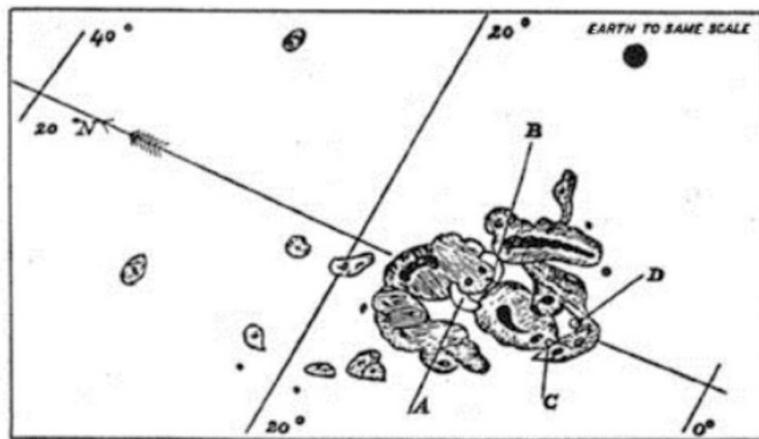
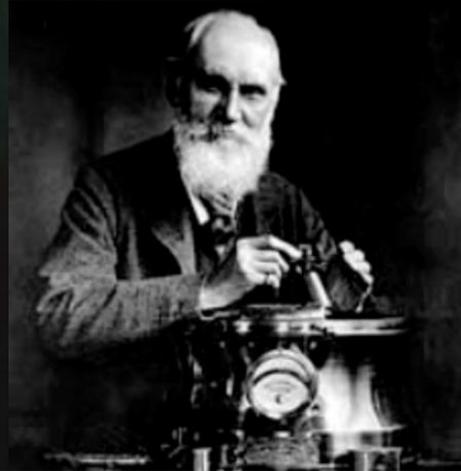
- Vznik GIC – Geomagnetically Induced Currents
- Konduktivita podzemních vrstev + frekvence změn

# Carrington událost

'The image of the sun's disc was projected through a screen on to a plate of glass... Within the area of the great north group two patches of intensely bright and white light broke out.'

'My first impression was that by some chance a ray of light had penetrated a hole in the screen, for the brilliance was fully equal to that of direct sunlight, but I saw I was an unprepared witness of a very different affair.'

Diary of Richard C Carrington, Sept 1st 1859



Solar sketch, September 1, 1859, by R. C. Carrington

Kdy: 28. srpna – 2. září 1859

Co se stalo:

- Pozorování polárních září
- Problémy s telegrafní komunikací

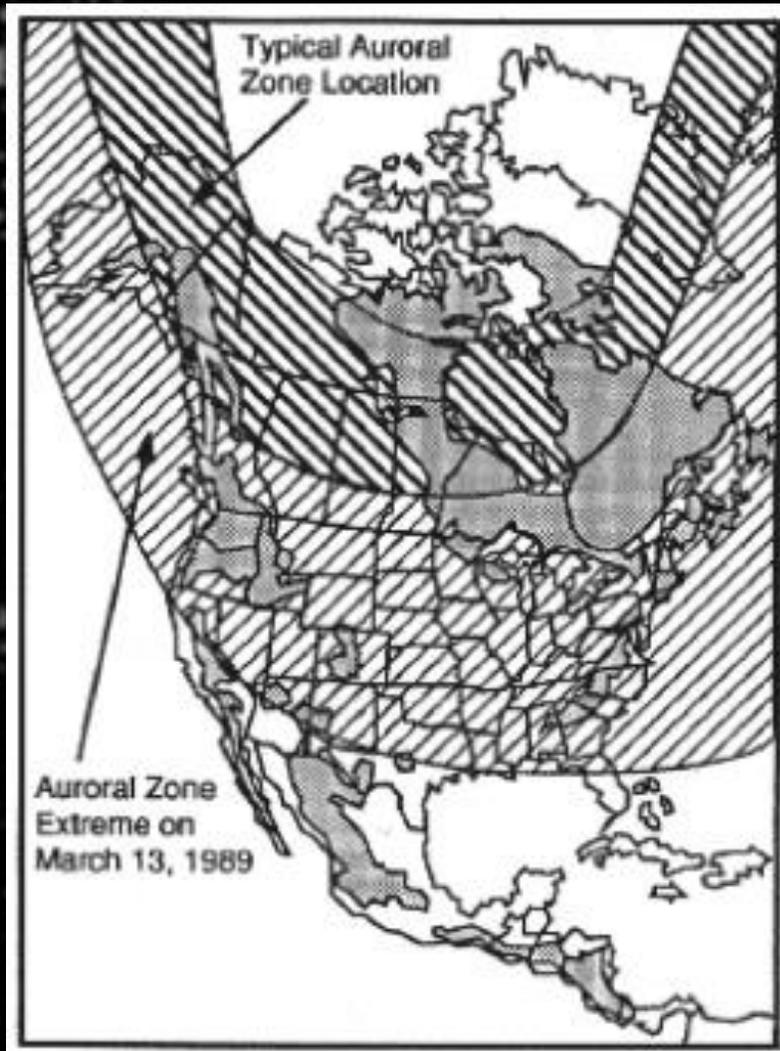
Důvod:

- Rychlé CME (17,6h)
- Sluneční erupce, bílé světlo – pozorovaná Richardem Carringtonem

The image is a composite of two celestial scenes. The left side shows a dark, star-filled sky with a prominent, bright, irregularly shaped nebula or star cluster. The right side shows a glowing blue planet, possibly a gas giant, with a textured, swirling surface. A semi-transparent horizontal bar with a white glow is centered across the image, containing the text "Let There Be More Light" in a white, sans-serif font.

**Let There Be More Light**

# Quebec ve tmě

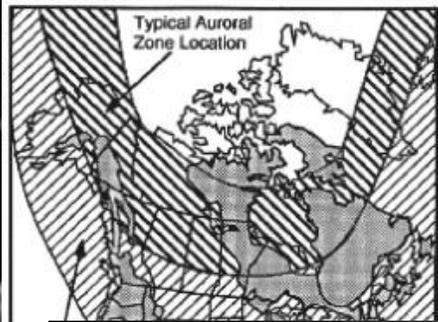


Kdy: 13. března 1989

Co se stalo:

- Pozorování polárních září

# Quebec ve tmě



Kdy: 13. března 1989

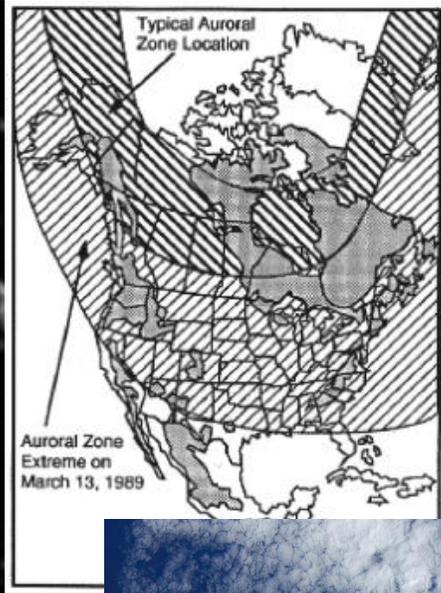
Co se stalo:

- Pozorování polárních září
- Výpadky rádiové komunikace



Kredit: RFE/RL

# Quebec ve tmě



Kdy: 13. března 1989

Co se stalo:

- Pozorování polárních září
- Výpadky rádiové komunikace
- Problémy na oběžné dráze



Kredit: NASA

# Quebec ve tmě



Kdy: 13. března 1989

Co se stalo:

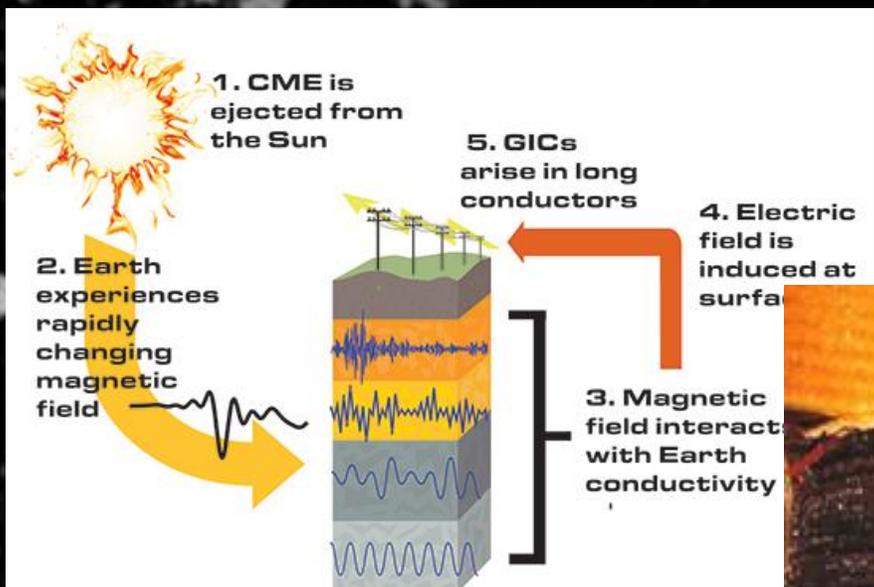
- Pozorování polárních září
- Výpadky rádiové komunikace
- Problémy na oběžné dráze
- Quebec – masivní výpadek elektrické sítě
  - Během 2 min
  - 9h
  - > 200 problémů v US

# Quebec ve tmě

Kdy: 13. března 1989

Co se stalo:

- Pozorování polárních září
- Výpadky rádiové komunikace
- Problémy na oběžné dráze
- Quebec - masivní výpadek elektrické sítě



Kredit: G. Coetzee

## GIC a rozvodné sítě

- GIC vstupují přes zemní spojení
- Přetížení už při 100 A (DC)
- Horká místa

# Quebec ve tmě

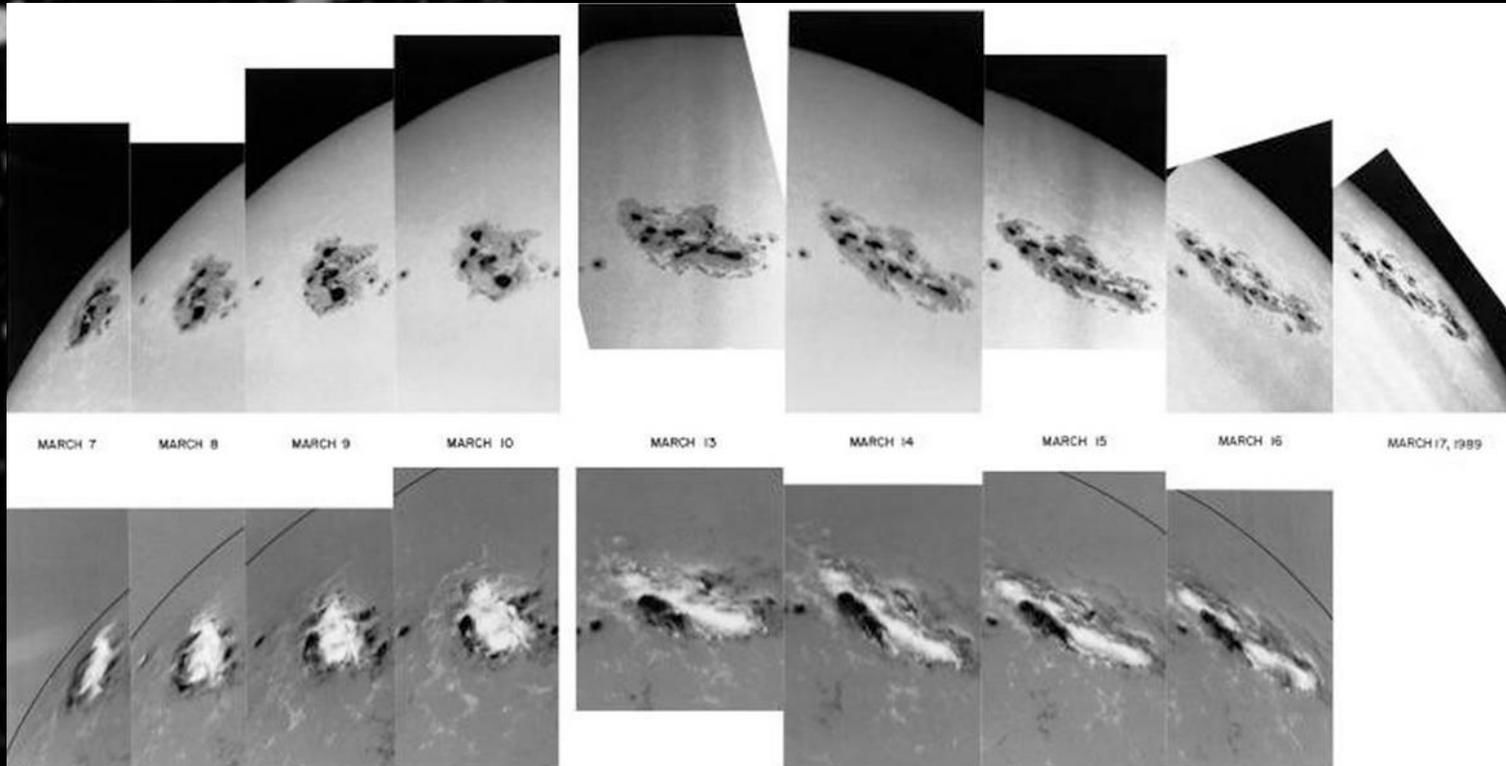
Kdy: 13. března 1989

Co se stalo:

- Pozorování polárních září
- Výpadky rádiové komunikace
- Problémy na oběžné dráze
- Quebec – masivní výpadek elektrické sítě

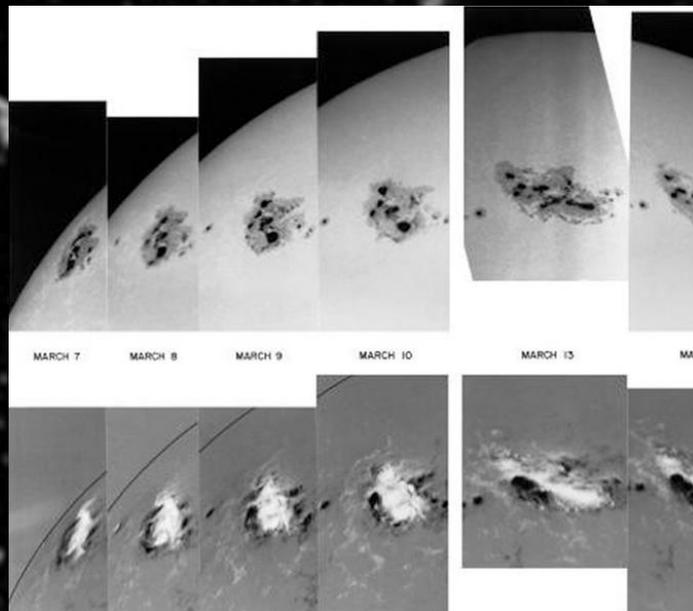
Důvod:

- CME – 9. března 1989
- Geomagnetická bouře – 13. března 1989

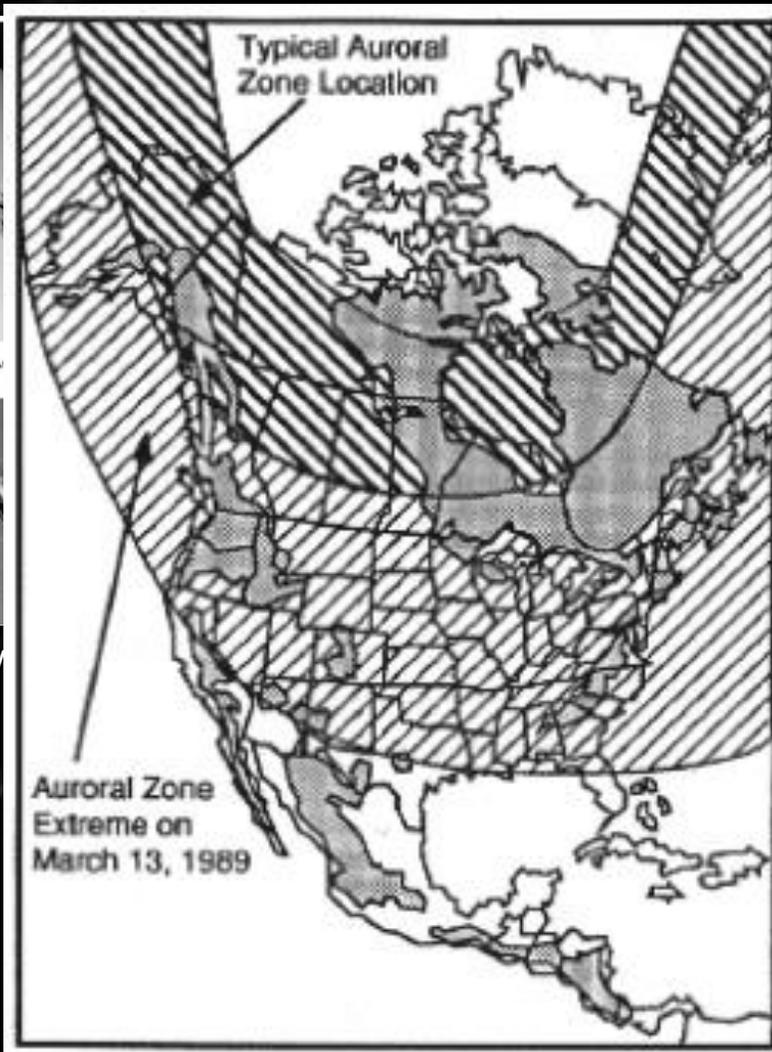


Active region 5395, Kredit: Kitt Peak Observatory

# Quebec ve tmě



Active region 5395, Kredit: Kitt Peak Observatory



Kdy: 13. března 1989

Co se stalo:

- Pozorování polárních září
- Výpadky rádiové komunikace
- Problémy na oběžné dráze
- Quebec – masivní výpadek elektrické sítě

Důvod:

- CME – 9. března 1989
- Geomagnetická bouře – 13. března 1989
- GIC + podloží s nízkou konduktivitou

# Quebec ve tmě

Kdy: 13. března 1989

Co se stalo:

- Pozorování polárních září
- Výpadky rádiové komunikace
- Problémy na oběžné dráze
- Quebec – masivní výpadek elektrické sítě

Důvod:

- CME – 9. března 1989
- Geomagnetická bouře – 13. března 1989
- GIC + podloží s nízkou konduktivitou

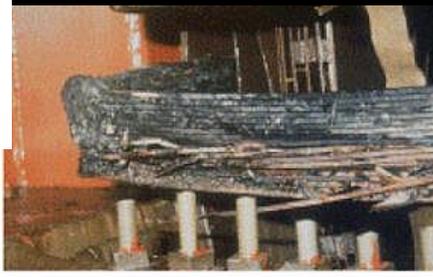


Latent Impacts of March 1989 Storm – Delayed Failures of Large Transformers at Nuclear Plants suspected across US

Kredit: John G. Kappenman



Kredit: PSE&G



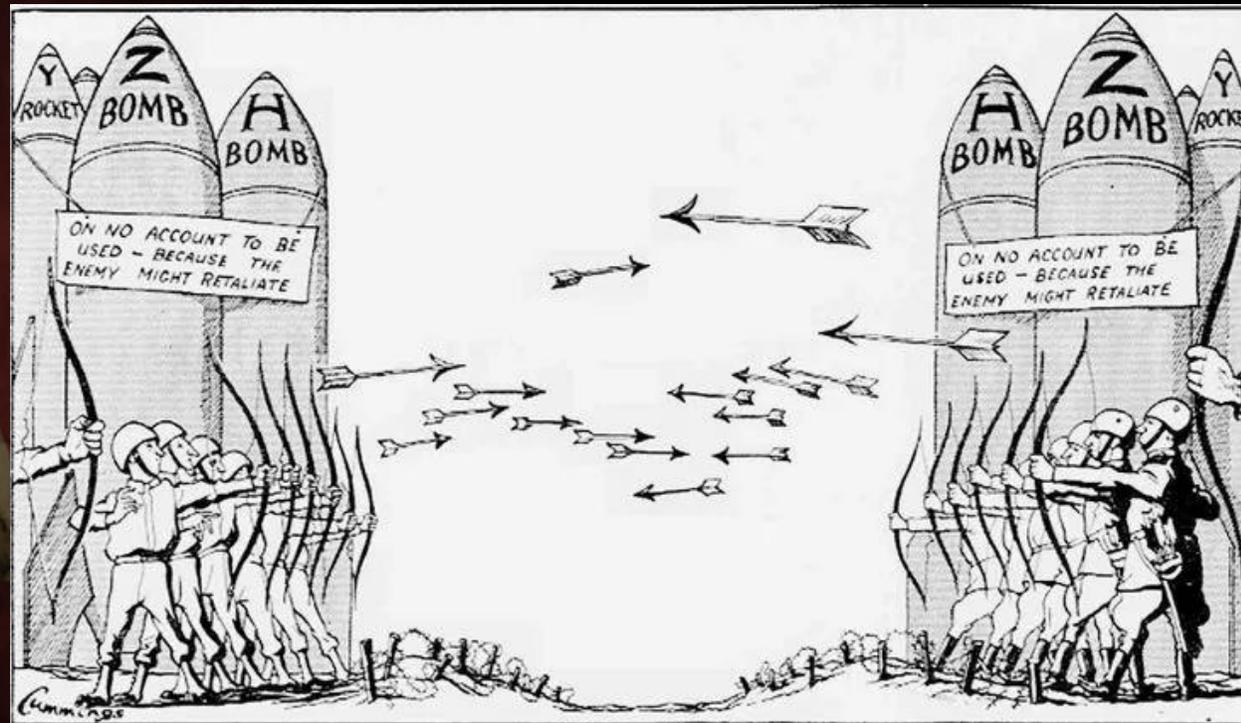
A collage of Cold War era images. The background features the American flag on the left and the Soviet flag with a hammer and sickle and a star on the right. In the center, a raised fist is shown. To the right, a man in a hat is shouting. In the bottom left, a portrait of John F. Kennedy is visible. The text "Us and Them" is overlaid in the center.

# Us and Them

# Krise v květnu 1967

Pozadí událostí:

- Studená válka
- MAD- Vzájemně zaručené zničení
- Mezinárodní konflikty



Kredit: Michael Cummings, 1953



# Krise v květnu 1967

## Pozadí událostí:

- Studená válka
- MAD- Vzájemně zaručené zničení
- Mezinárodní konflikty

Kredit: Alamy

## Květen 1967

- 15. května – nová verze BMEWS
- 22. května – Egyptsko Izraelský konflikt
- 22. května, 14:00 GMT – Kosmos 161 (Zenit 4)
- 22. května, cca 16:00 GMT – KH7-37
- 23. května, 18:39 GMT- ztráta radio komunikace na 1h
- 23. května, 19:50 GMT - ztráta radio komunikace + zřetelný BMEWS radiosignál na 440 MHz – příchozí balistická střela?





# Krise v květnu 1967

## Pozadí událostí:

- Studená válka
- MAD- Vzájemně zaručené zničení
- Mezinárodní konflikty

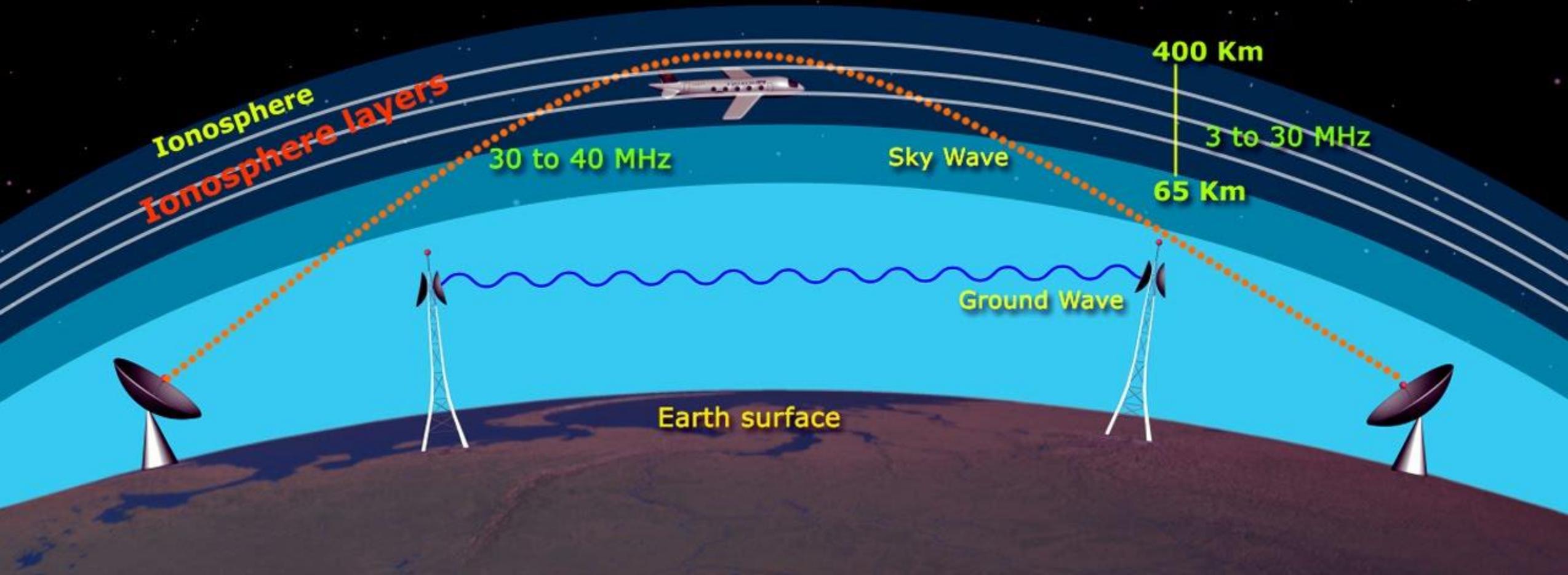
Kredit: Alamy

## Květen 1967

- 15. května – nová verze BMEWS
- 22. května – Egyptsko Izraelský konflikt
- 22. května, 14:00 GMT – Kosmos 161 (Zenit 4)
- 22. května, cca 16:00 GMT – KH7-37
- 23. května, 18:39 GMT – ztráta radio komunikace na 1h
- 23. května, 19:50 GMT – ztráta radio komunikace + zřetelný BMEWS radiosignál na 440 MHz – příchozí balistická střela?



# Radio komunikace





Kredit: Alamy



## Krise v srpnu 1967

Pozadí událostí:

- Studená válka
- MAD- Vzájemně zaručené zničení
- Mezinárodní konflikty

Květen 1967

- 15. května – nová verze BMEWS
- 22. května – Egyptsko Izraelský konflikt
- 22. května, 14:00 GMT – Kosmos 161 (Zenit 4)
- 22. května, cca 16:00 GMT – KH7-37
- 23. května, 18:39 GMT- ztráta radio komunikace na 1h
- 23. května, 19:50 GMT - ztráta radio komunikace + zřetelný BMEWS radiosignál na 440 MHz – příchozí balistická střela?

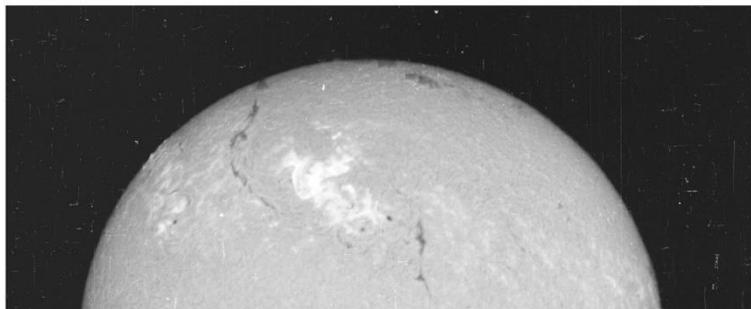
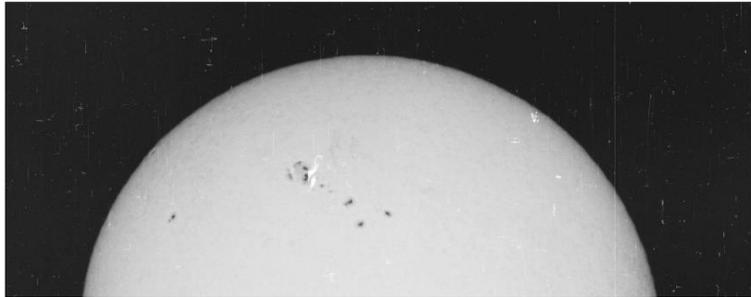
# Krize v květnu 1967

Kredit: National Solar Observatory

232	N24	5/18	East limb passage of one of the greatest activity complexes of Solar Cycle 20. Composed of three overlapped spot groups at time of first appearance, two of which were growing.
		5/20	Birth of fourth spot group on southern border of complex. Westward relative motion of this group, with respect to large spots to the north, may have contributed to conditions for great flare of 21 May in center of complex.
		5/21	"Collision" between central and western members of the complex, as growth and expansion of central member moved its leader spot into the follower plage of the western member. Large flare occurred over the neutral line between the groups.
		5/23	"Collision" and merger of leader of easternmost member with follower of central member, creating large "delta" magnetic configuration. Closest separation between the opposite-polarity spots coincided with great white-light, proton flare at 1840 UT (see <i>UAG Report 5</i> ). These spots moved in a rotary pattern with respect to one another during 21-26 May.
a		5/28	Additional great flare over the "delta" configuration.

## Květen 1967

- 17. května: McMath Plage Region 8818
- 21. května:
  - sluneční erupce (bílé světlo, soft a hard rentgenové záření),
  - burst Typ II, III, IV a V
- 23. května:
  - 3 sluneční erupce (M2, X6 a X2),
  - 7min erupce v bílém světle



c

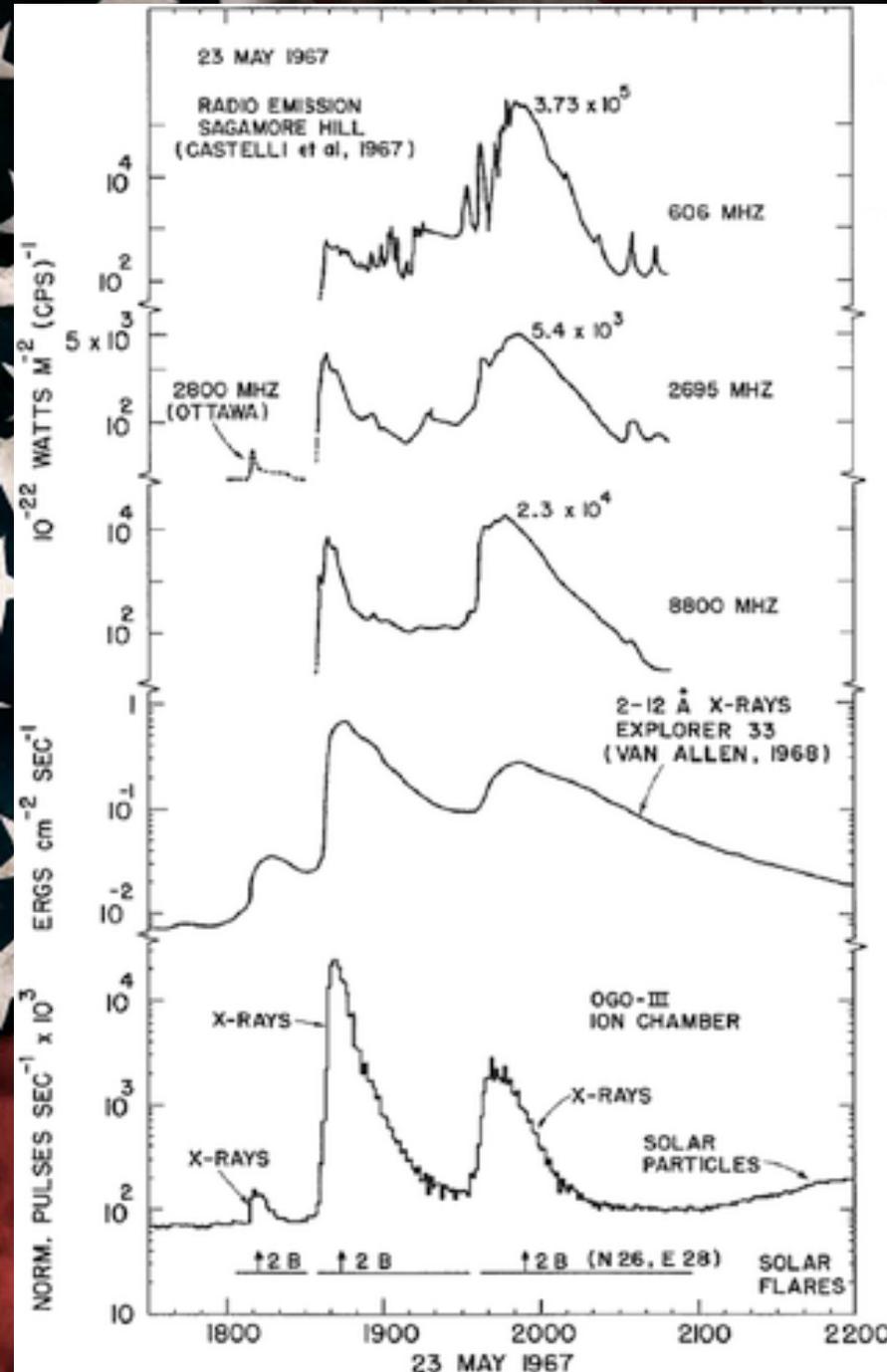
# Krize v květnu 1967

## Květen 1967

- 17. května: McMath Plage Region 8818
- 21. května:
  - sluneční erupce (bílé světlo, soft a hard rentgenové záření),
  - burst Typ II, III, IV a V
- 23. května:
  - 3 sluneční erupce (M2, X6 a X2),
  - 7min erupce v bílém světle
  - hodiny dlouhý radioburst:
    - 2.8 GHz – 8 000 sfu (1% pravděpodobnost)
    - 606 MHz – 370 000 sfu (norm: 40 SFU)



Narušení BMEWS signálu



Kredit: Kane and Winckler [1969b].

# Krize v květnu 1967

„I specifically recall responding with excitement.“ ... „Yes, half the sun has blown away, and then related the event details in a calmer, more quantitative way!“

Colonel Arnold L. Snyder

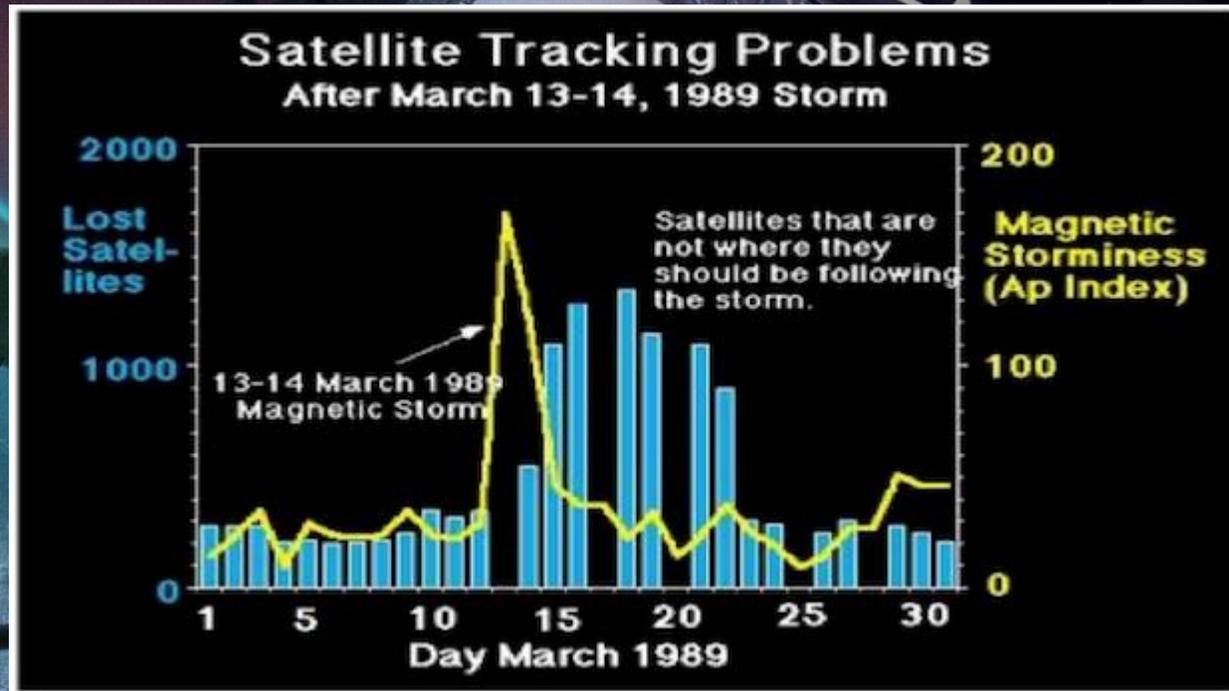
## Jak to dopadlo?

- BMEWS signál: střela? Rušení nepřítelem? → pouze 15 min na reakci → ‘ready to launch’
- NORAD Command Post → Meteorologické oddělení → Sluneční oddělení
- Akce zastavena

## Další dopady:

- Polární záře až v Mexiku
- Vnitřní radiační pás narušen 3 měsíce
- Výpadek HF komunikace v polárních oblastech
- Změny v termosféře: → dopad na satelity (LOGACS 100km za 4 dny)

# Atmosférický odpor



Kredit: UCAR

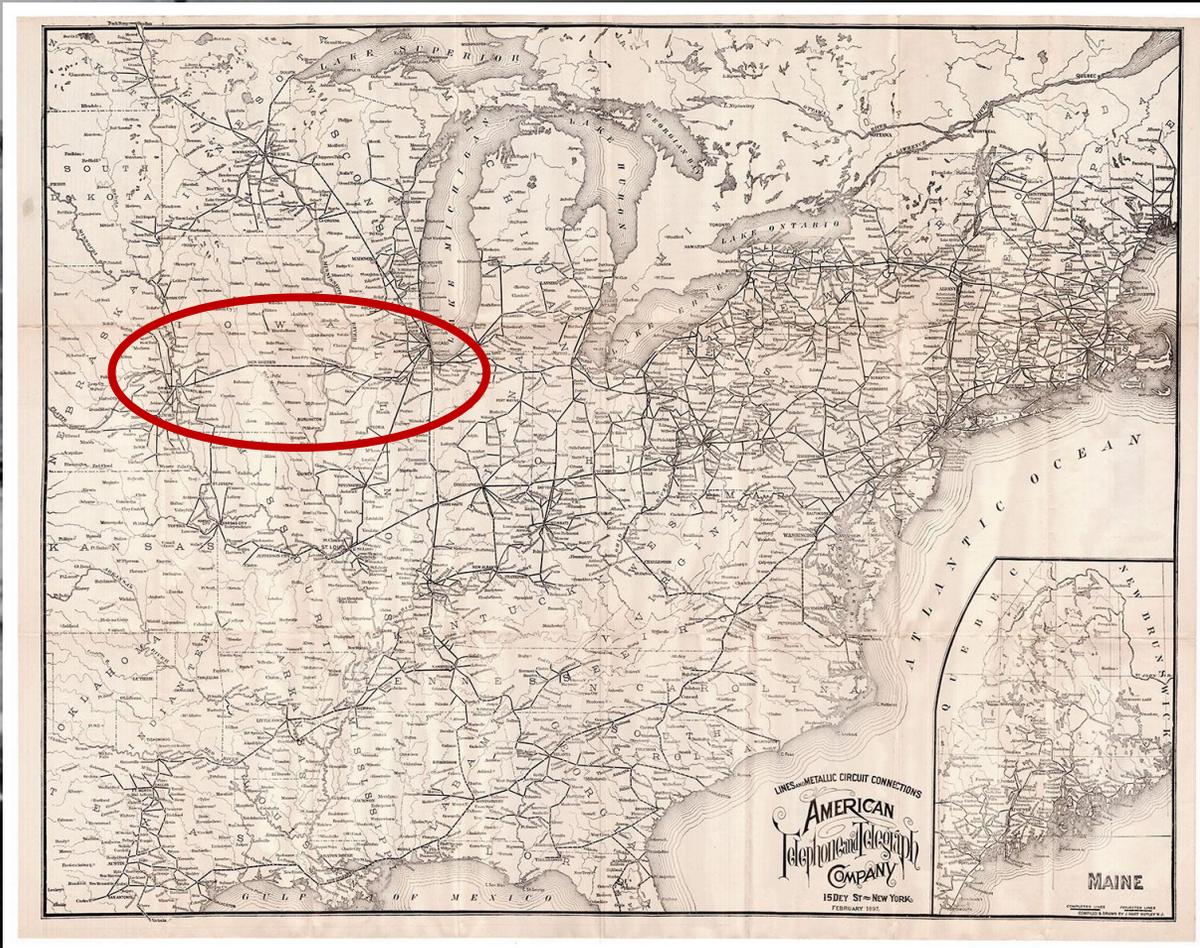
- LEO orbit
- Odpor prostředí zpomaluje satelit, snižování oběžné dráhy
- Manévry:
  - ☉ Min: 4x 1 rok
  - ☉ Max: 2-3 týdny
- 4. února 2022: 40 z 49 Starlink satelitu ztracených den po vypuštění

An aerial, black and white photograph of an aircraft carrier at sea. The carrier is viewed from a high angle, showing its deck with several aircraft parked. The ship's superstructure, including the mainmast with various antennas and radar equipment, is prominent on the left side. The ocean is dark with white-capped waves. In the distance, a small island or structure is visible on the horizon. A semi-transparent dark horizontal bar is overlaid across the middle of the image, containing the word "Echoes" in white text.

# Echoes

# Zapomenutá sluneční bouře

Kredit: American Telephone and Telegraph Company



Kdy: 4. srpna 1972

Co se stalo:

- Pozorování polárních září
- Problémy s elektrickým vedením
- Výpadek radio a telekomunikace

# Zapomenutá sluneční bouře

Kredit: Naval Historical Center



Kdy: 4. srpna 1972

Co se stalo:

- Pozorování polárních září
- Problémy s elektrickým vedením
- Výpadek radio a telekomunikace
- Detonace podmořských min u Vietnamu
- Intelsat IV – solární panely, DSCS II – výpadek napájení

# Zapomenutá sluneční bouře

Kdy: 4. srpna 1972

Co se stalo:

- Pozorování polárních září
- Problémy s elektrickým vedením
- Výpadek radio a telekomunikace
- Detonace podmořských min u Vietnamu
- Intelsat IV – solární panely, DSCS II – výpadek napájení
- Mise Apollo:
  - Apollo 16: 16– 27. duben 1972
  - Apollo 17: 7–19. prosince 1972



Kredit: NASA



# Zapomenutá sluneční bouře

Kdy: 4. srpna 1972

Co se stalo:

- Pozorování polárních září
- Problémy s elektrickým vedením
- Výpadek radio a telekomunikace
- Detonace podmořských min u Vietnamu
- Intelsat IV – solární panely, DSCS II – výpadek napájení
- Mise Apollo:
  - Apollo 16: 16– 27. duben 1972
  - Apollo 17: 7–19. prosince 1972

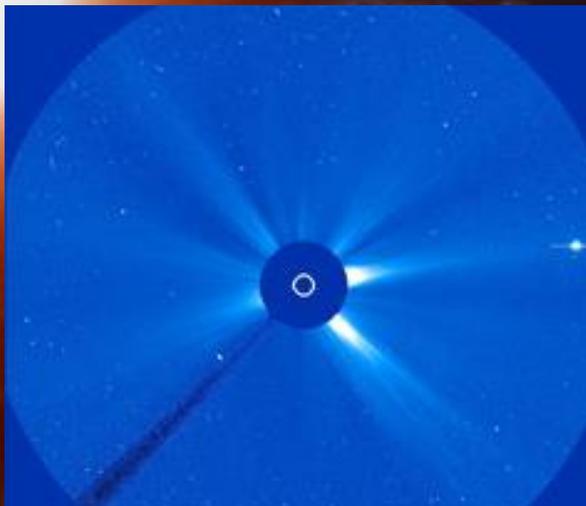
# Zapomenutá sluneční bouře

Kdy: 4. srpna 1972

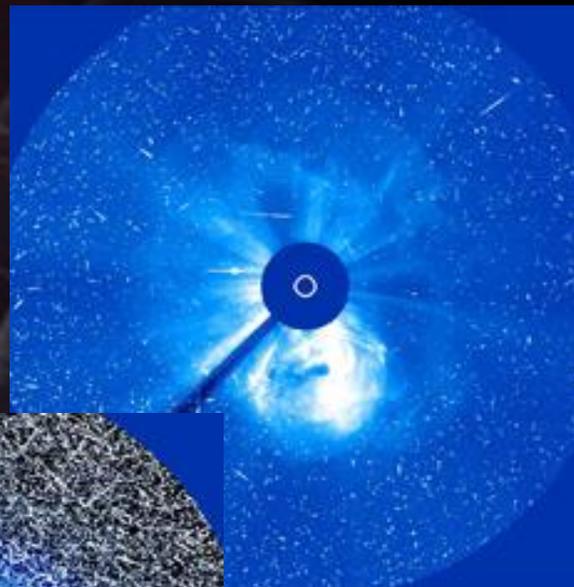
Co se stalo:

- Pozorování polárních září
- Problémy s elektrickým vedením
- Výpadek radio a telekomunikace
- Detonace podmořských min u Vietnamu
- Intelsat IV – solární panely, DSCS II – výpadek napájení
- Mise Apollo:
  - Apollo 16: 16– 27. duben 1972
  - Apollo 17: 7–19. prosince 1972

# Radiační bouře



2003/10/15 09:42



Kredit: SOHO ESA & NASA



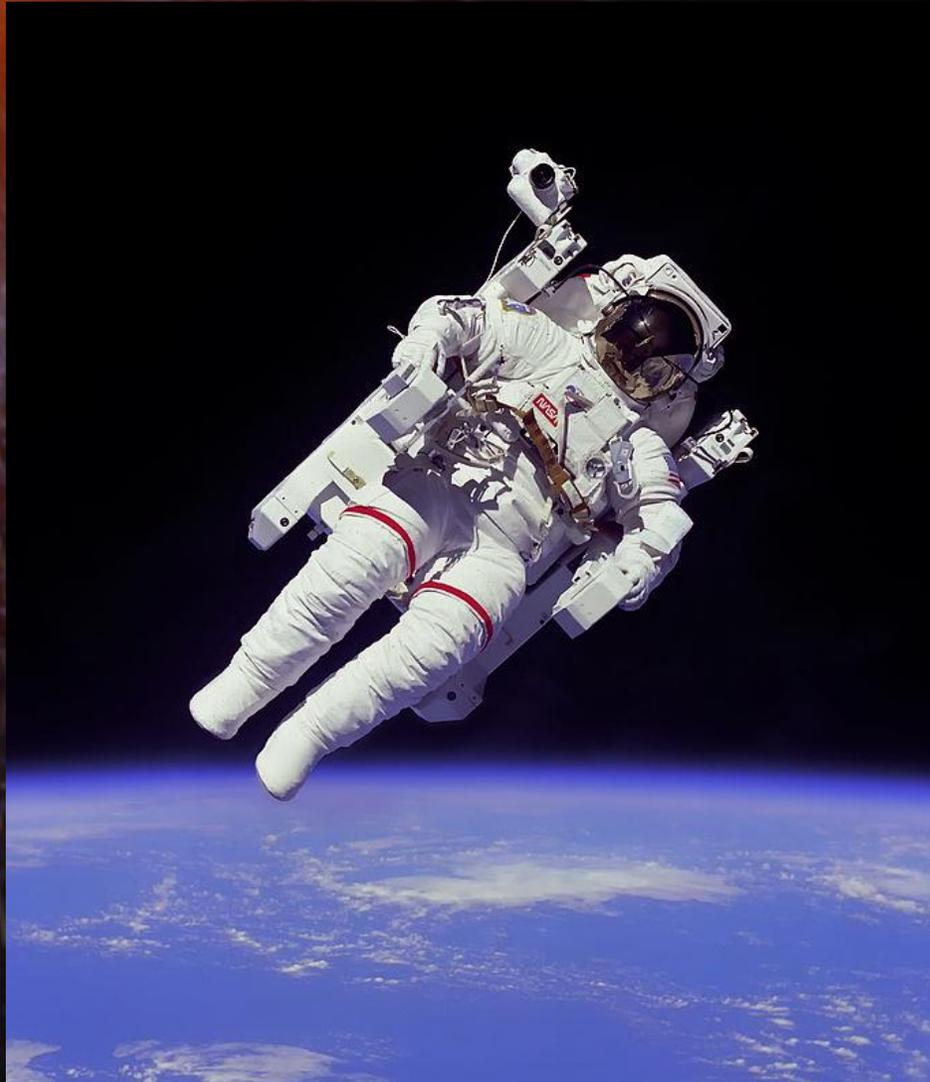
2003/10/29 02:48

Radiace

HF komunikace

Dopad na technologie

# Radiační bouře



Kredit: NASA

## Radiace

### Pobyt ve vesmíru

- Akutní radiační syndrom, risk vzniku rakoviny, efekty na nervový systém, degenerativní poruchy
- 50 – 2000 mSv
- 1 mSv ~ 10 rentgenů hrudníku

Porovnání: 3 mSv/rok v ČR

# Radiační bouře

## Radiace

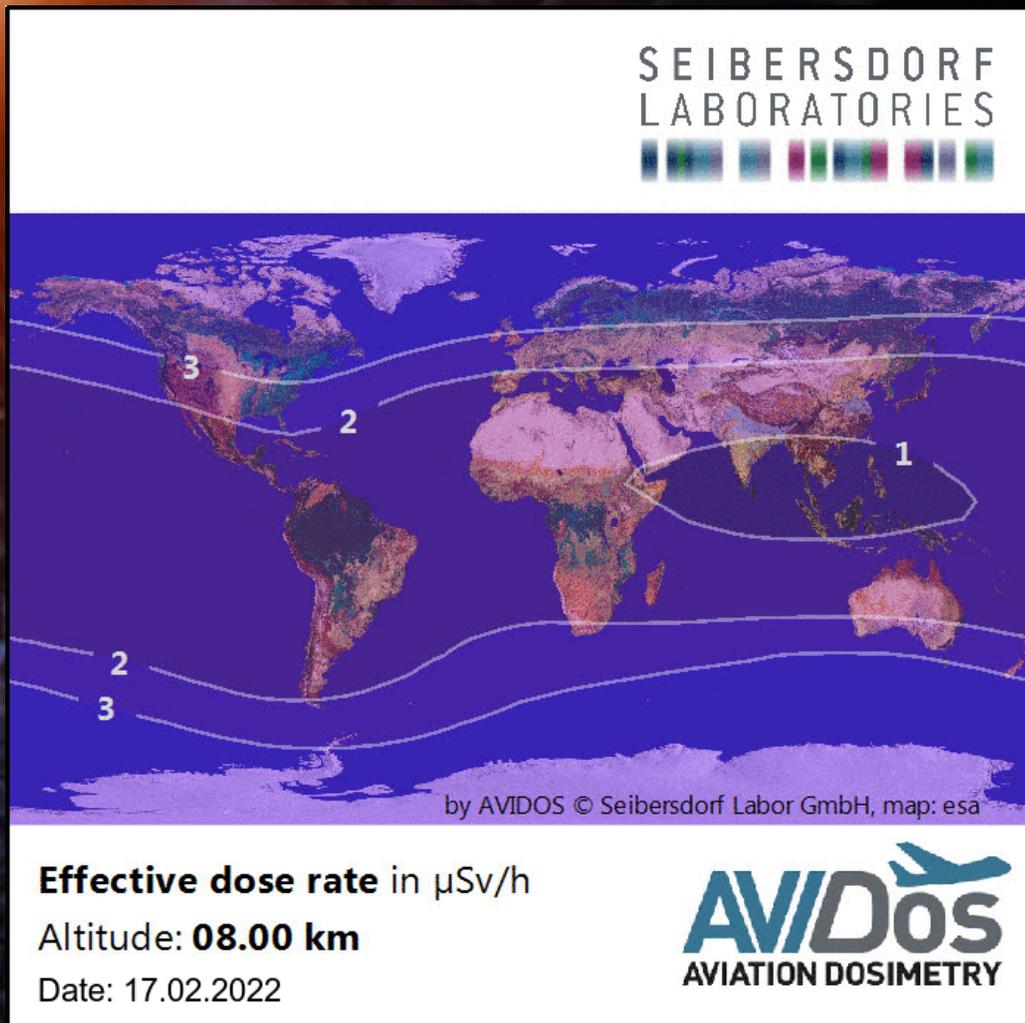
### Pobyt ve vesmíru

- Akutní radiační syndrom, risk vzniku rakoviny, efekty na nervový systém, degenerativní poruchy
- 50 – 2000 mSv
- 1 mSv ~ 10 rentgenů hrudníku

Porovnání: 3 mSv/rok v ČR

### Letectví

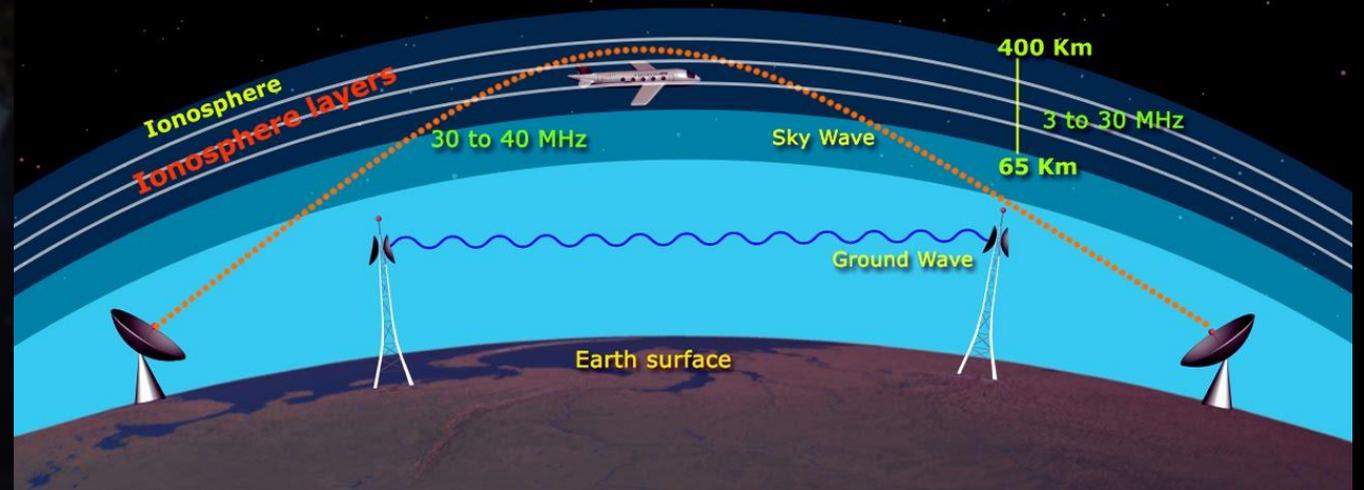
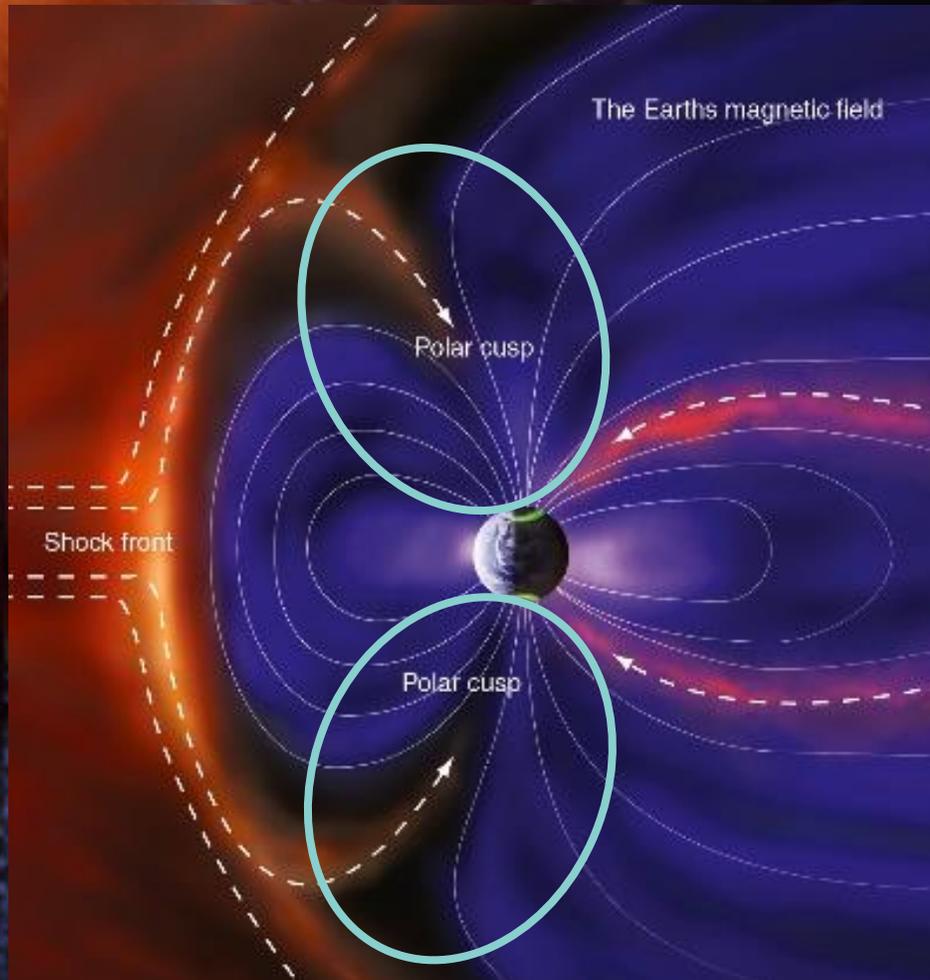
- Limit pro pasažéra: 1 mSv/rok
- Limit pro posádku: 20 mSv/rok



# Radiační bouře

## HF komunikace

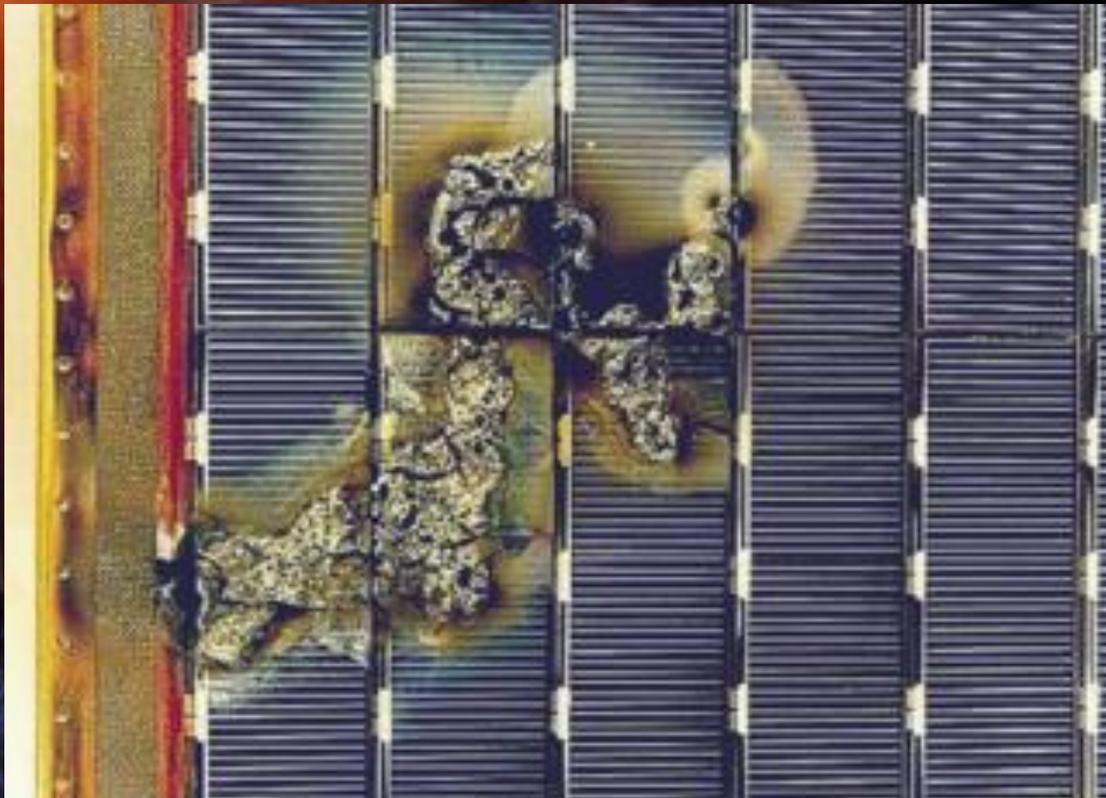
- Narušení ionosféry v polárních oblastech
- → Polar Cap Absorption



# Radiační bouře

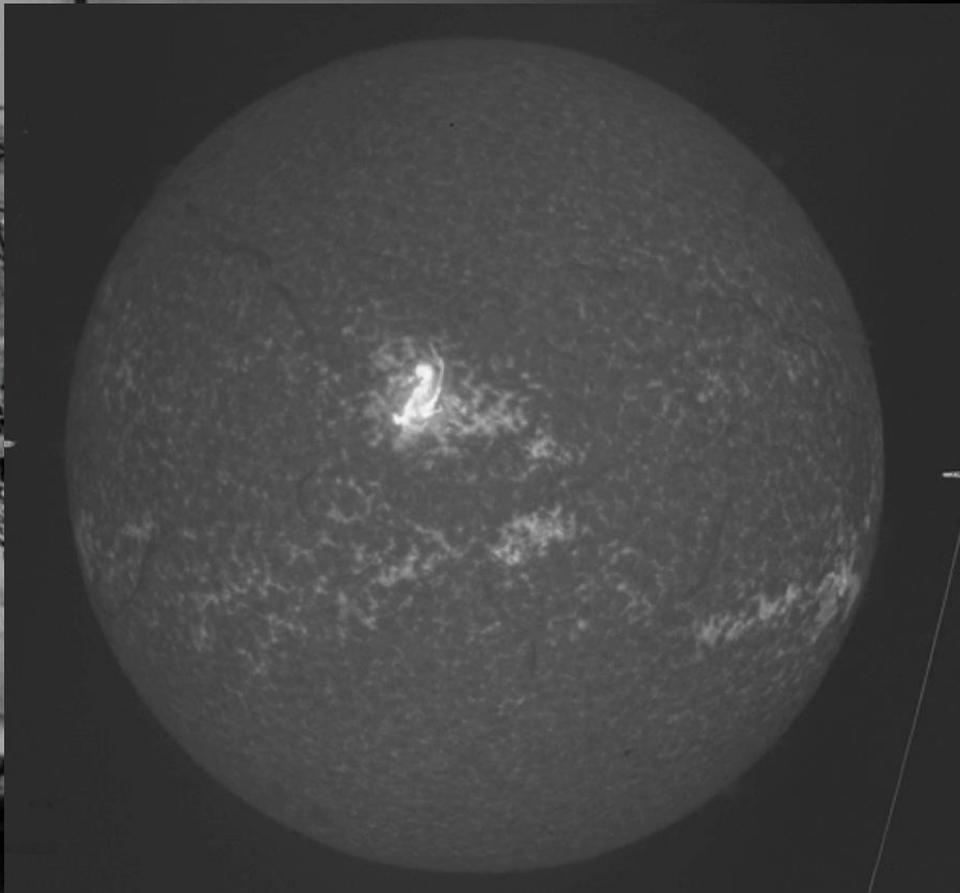
## Dopad na technologie

- Energetická částice může poškodit paměťové součástky
- Povrchové a vnitřní nabíjení



Kredit: ESA

# Zapomenutá sluneční bouře



Kredit: BASS2000, Paris Observatory, PSL

Důvod:

- 2. srpna 1972:
  - McMath region 11976
  - sluneční erupce
  - SEP
  - 2 CME
- 4. srpen:
  - ultra rychlé CME – 14,6h!
  - sluneční erupce ~X20!
  - SEP
  - Radio burst



# Výzvy v oblasti kosmického počasí

Jevy a jejich analýza

(Včasná) předpověď

Senzitivita technologií (společnosti)

Důklad na vědecký názor zákonodárci

Překlad veřejnosti

# Děkuji!



[lenka.zychova@aeronomie.be](mailto:lenka.zychova@aeronomie.be)