

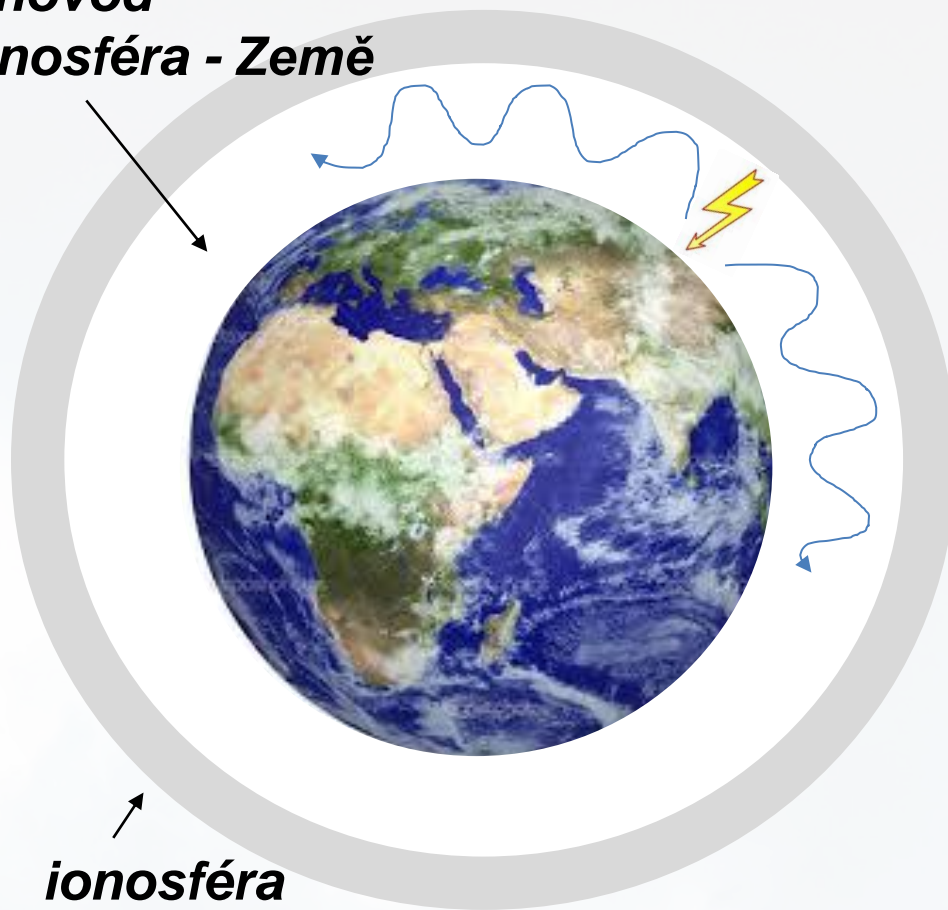
# Plazma v okolí Země

Ondřej Santolík



# *Vlny vyzařované bleskovými výboji*

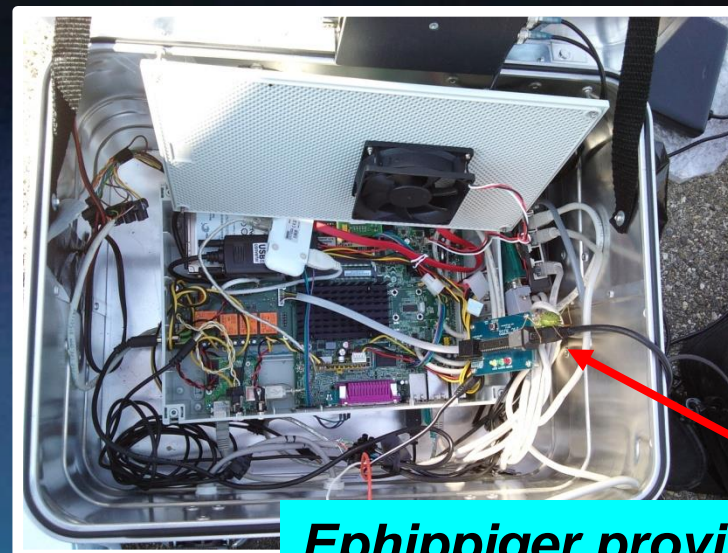
*vlnovod  
ionosféra - Země*



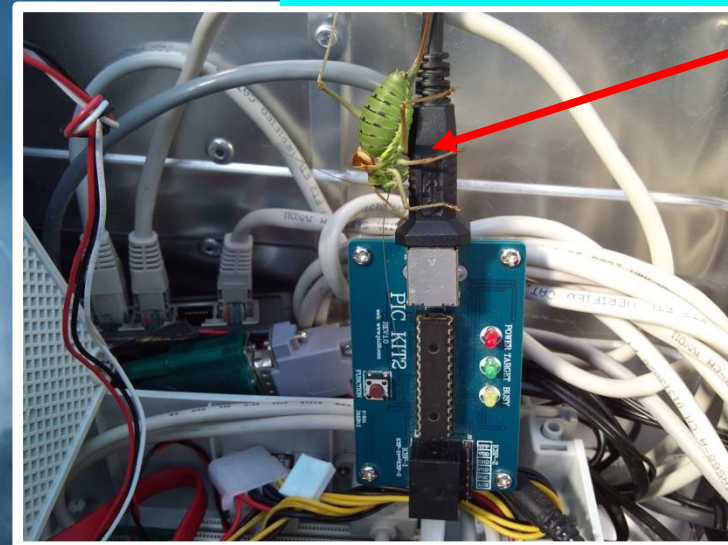
*ionosféra*

# Pozemní měření blízkých blesků

## LSBB Rustrel, Jižní Francie

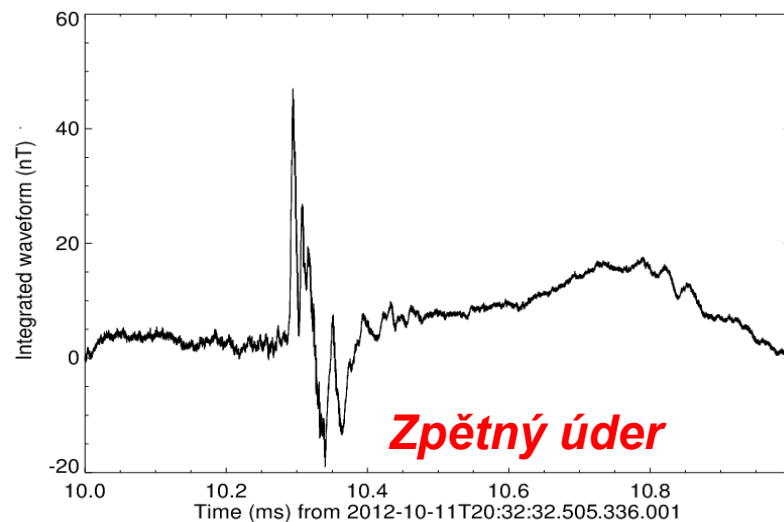
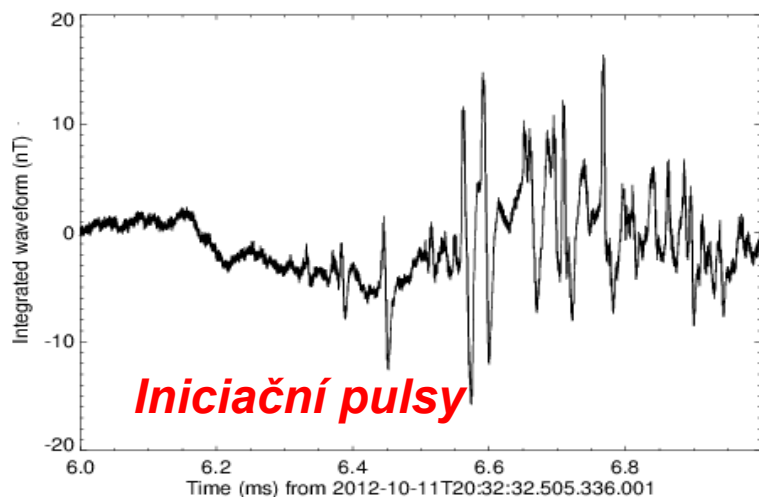


*Ephippiger provincialis*

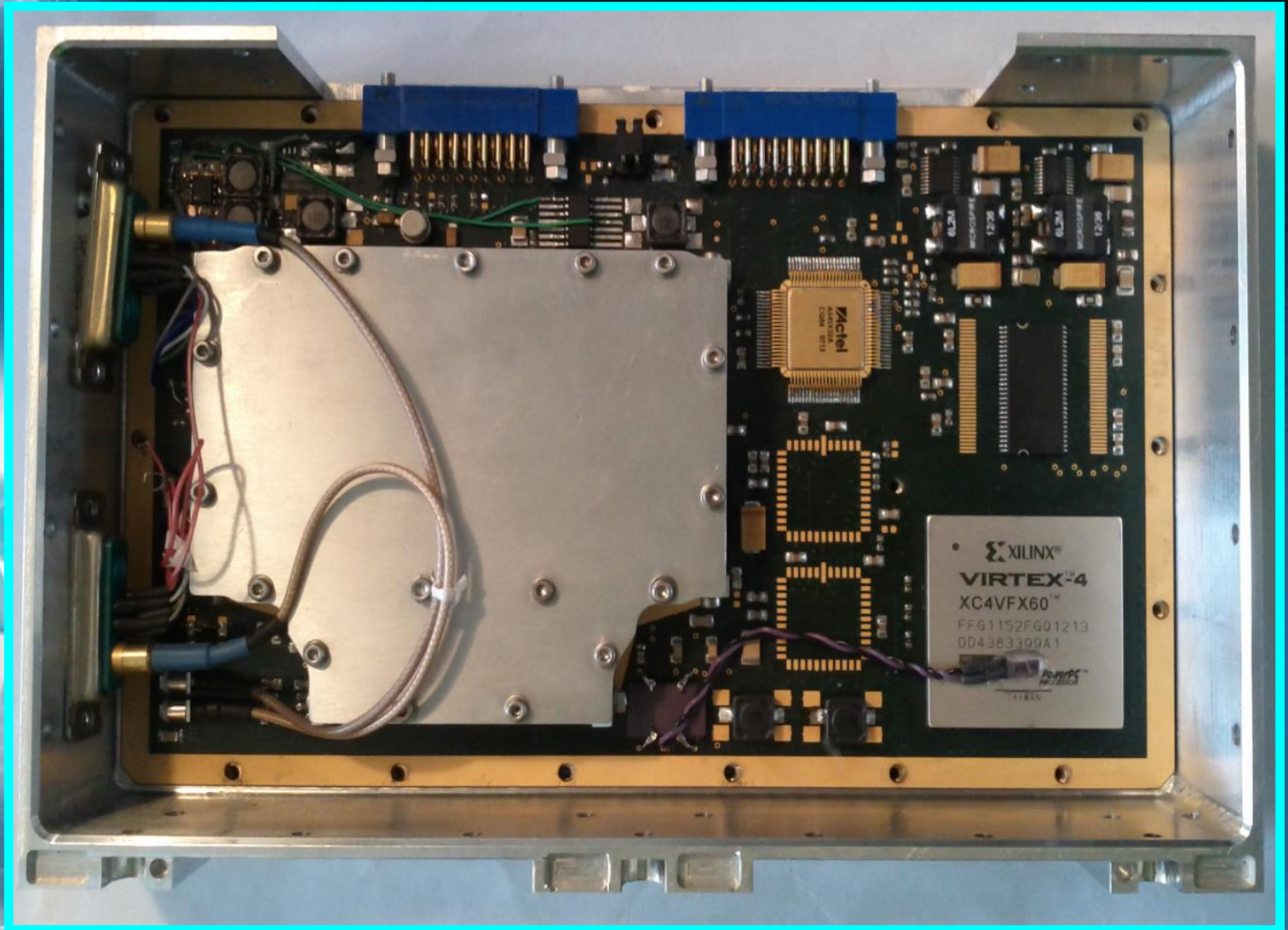


# Pozemní měření blízkých blesků LSBB Rustrel, Jižní Francie

**Záznam z hf analyzátoru**  
(velikost horizontální složky magnetické indukce)

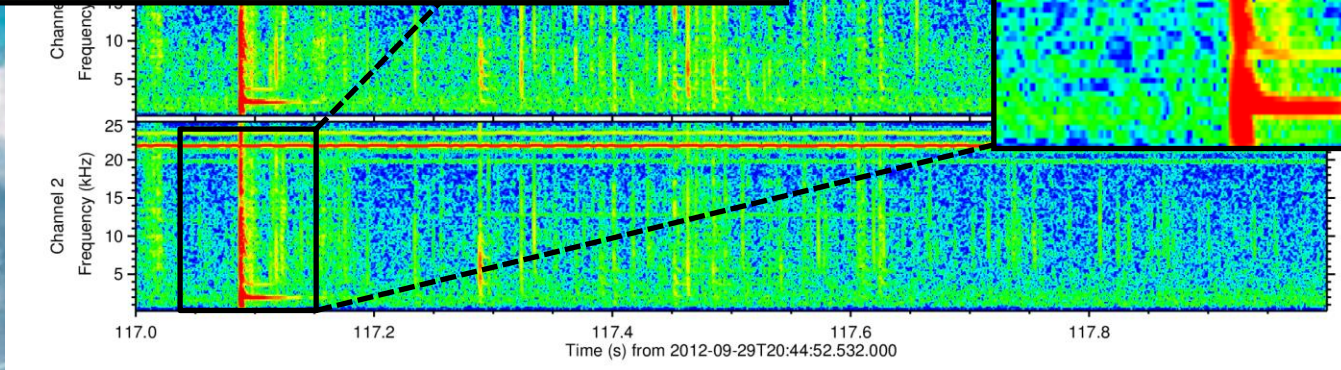
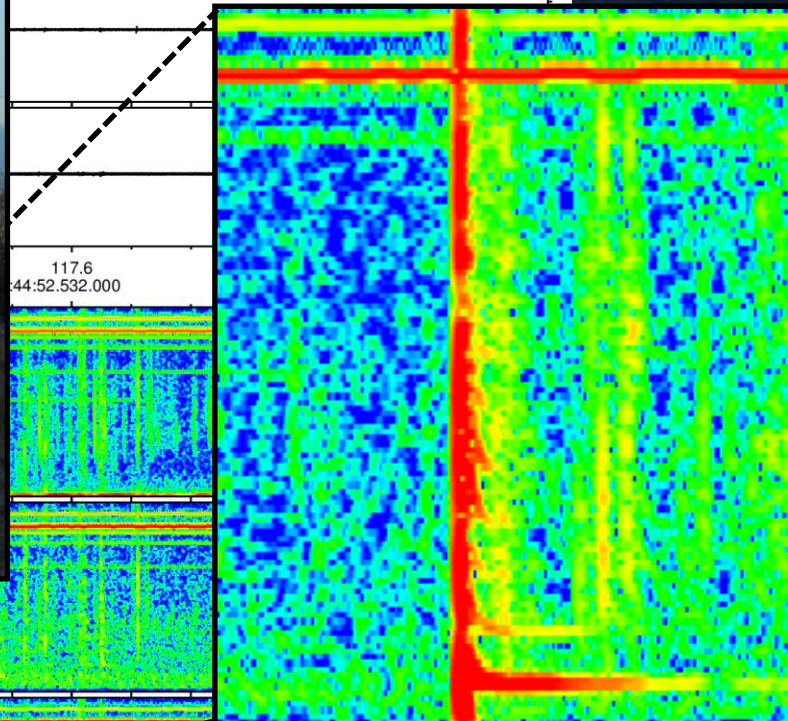


# IME-HF prototyp

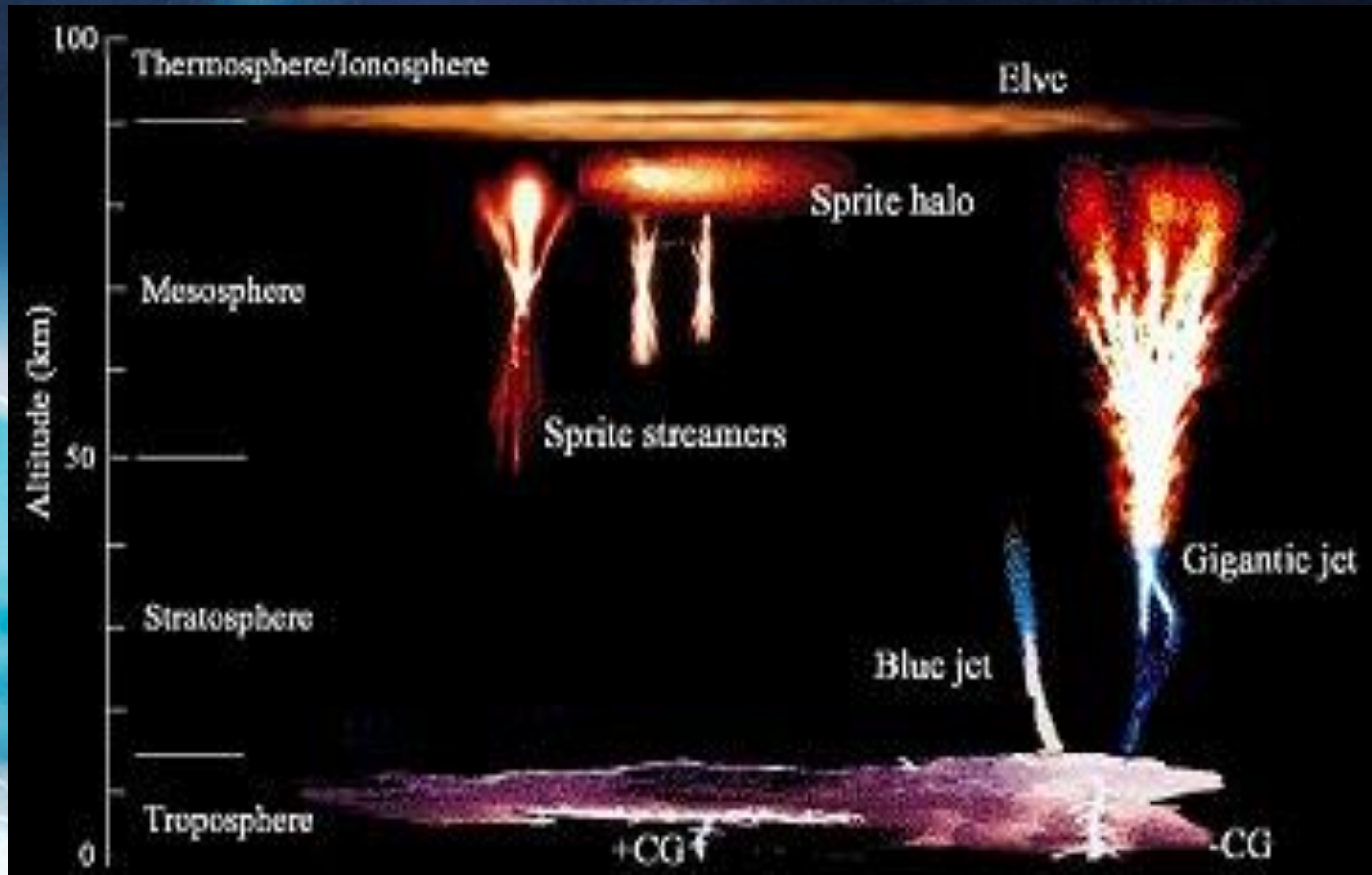


# Pozemní měření vzdálených blesků

## LSBB Rustrel, Jižní Francie



# TLE - Transient luminous events - výboje v horní atmosféře



- červení skřítki
- elfové
- modré výtrysky
- obří výtrysky
- haló

# *Transient luminous events – výboje v horní atmosféře*

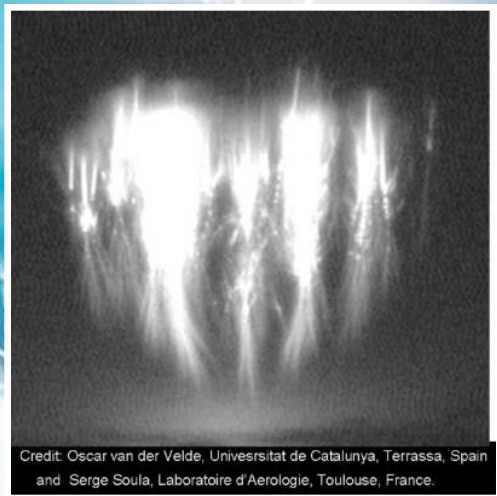
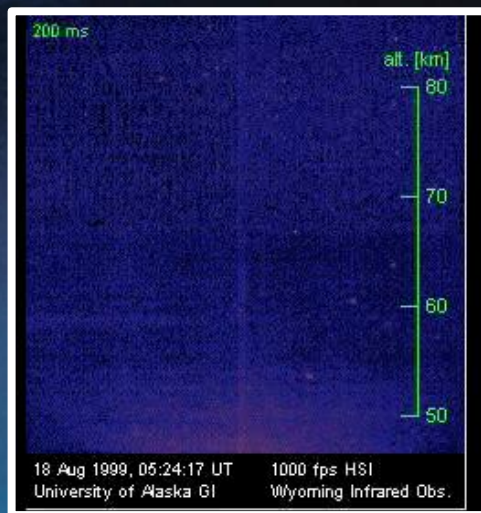
- *existenci krátkých záblesků na rozsáhlými bouřkovými oblastmi předpověděl už v roce 1920 skotský fyzik C. T. R. Wilson*
- *červené či modré záblesky byly pozorovány piloty letadel, ale nikdo jim nepřikládal většího významu*
- *poprvé byly náhodně zaznamenány v roce 1988 při testování aurorální kamery v minnesotské prérii*
- *byly zaznamenány rovněž astronauty na ISS*
- *na podzimním kongresu AGU v roce 1990 byla existence výbojů v horní atmosféře poprvé presentována*
- *od devadesátých let začíná intenzivní výzkum těchto jevů*



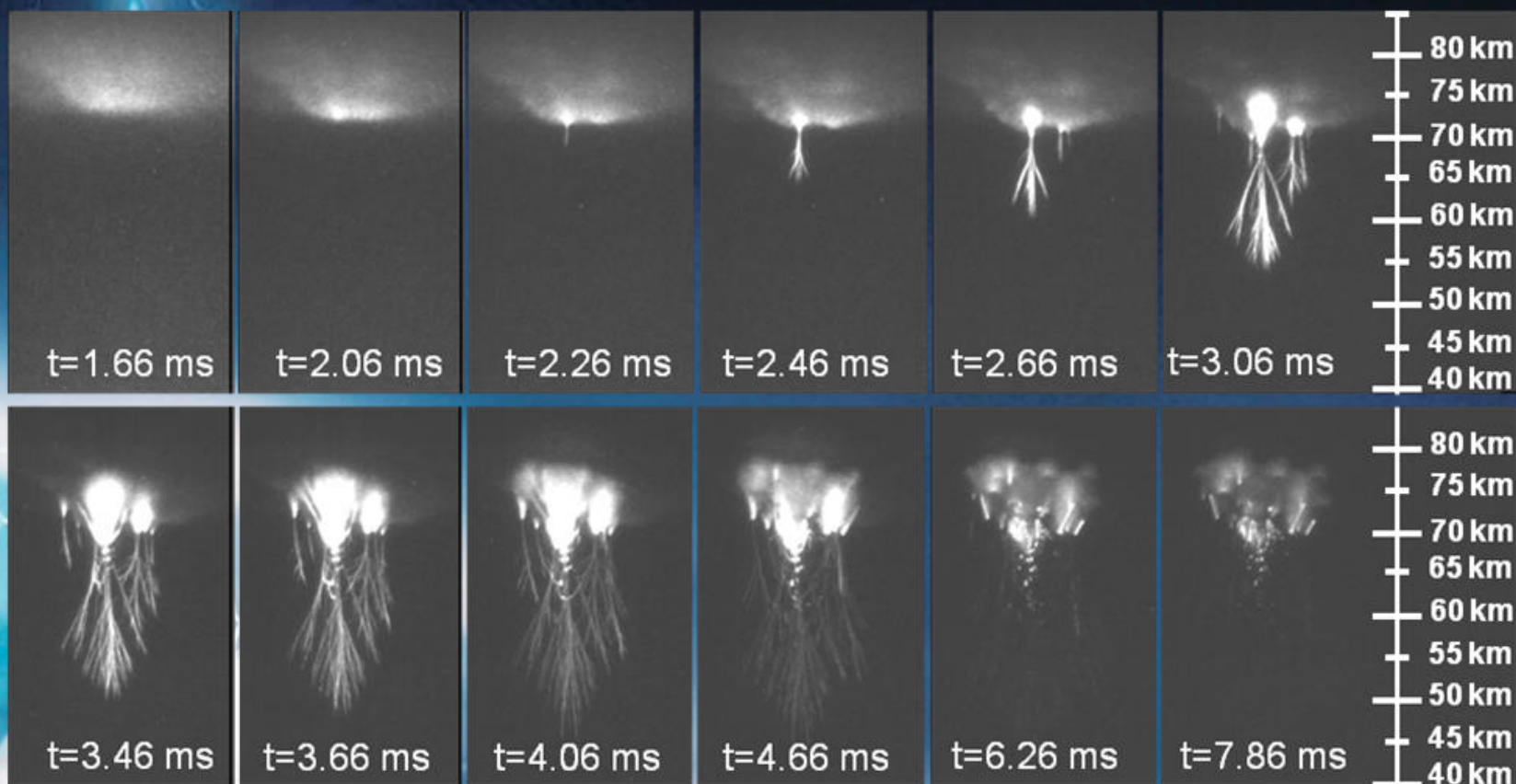
# ***Skřítkové neboli přízraky (sprites)***

- ***mohutné sloupce červeného nebo modrého světla***
- ***začínají ve výšce přibližně 50 km***
- ***obvykle mají výšku kolem 30 km***
- ***trvají několik milisekund***
- ***nejmenší skřítkci s jednoduchou strukturou - C (column) sprite***
- ***větší vypadající jako mrkev s natí - carrot sprite***
- ***obrovské medúzovité přízraky začínající ve výšce 30 - 40 km a dosahující až do výšky 90 km – jellyfish sprite***
- ***červeně září atomární kyslík (630nm) nebo vodík (656nm), modře září molekulární dusík (423 a 427nm)***
- ***skřítkové se vyskytují současně s CG+ výbojem, ojediněle byly pozorovány i sprity nad CG- výbojem***

# Skřítci různých typů



# Vývoj skřítky typu mrkev



*natočeno vysokorychlostní kamerou v roce 2006 v Arizoně*

# **Elfové – elves**

*(emissions of light and very low frequency perturbations from electromagnetically pulsed sources)*

- *jsou způsobeny velmi silným elektromagnetickým pulsem spojeným s některými bleskovými výboji*
- *byly poprvé pozorovány v roce 1990 z paluby raketoplánu jako krátkodobé zvýšení jasů světelného záření atmosféry (airglow)*
- *mají tvar prstence se středem nad bleskovým kanálem mrak-země*
- *vyskytují se v úzkém rozmezí výšek 85 – 95 km, prstenec se rychle rozšiřuje až do vzdálenosti stovek km*
- *celý jev trvá jen jednotky mikrosekund*
- *je pouhým okem obtížně pozorovatelný*

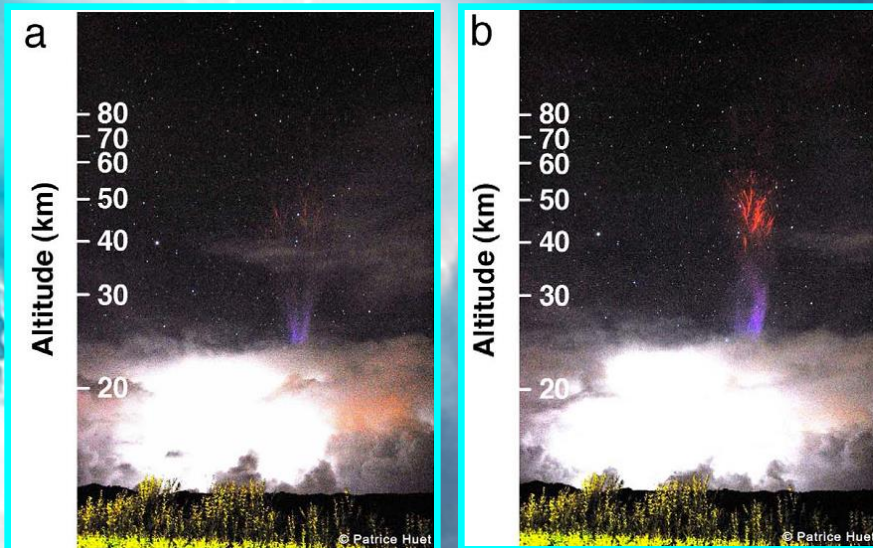
# Modré výtrysky – blue jets

- objevují se v horní vrstvě bouřkového mraku ve výškách kolem 15 kilometrů a míří do výšky 45 až 50 kilometrů
- poprvé zaznamenány při průletu průzkumného letadla NASA nad Aljaškou v roce 1994
- pravděpodobně nejsou svázány s výbojem mrak - země
- jsou často spojeny s intenzivními bouřkami, tornády a kroupami
- jsou viditelné pouhým okem ze Země



# Obří výtrysky – gigantic jets

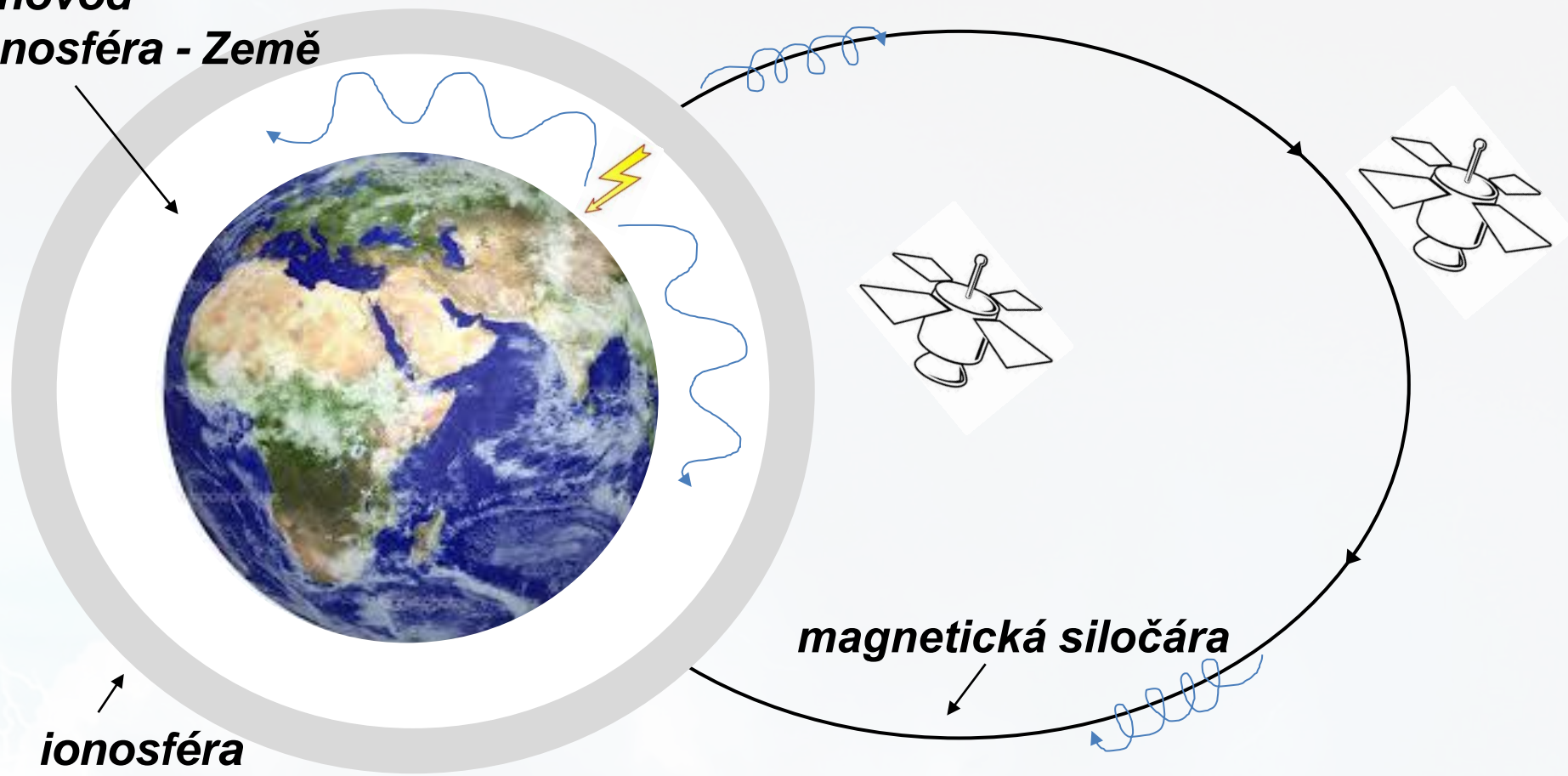
- objevují se v horní vrstvě bouřkového mraku a míří do výšky 70 až 90 kilometrů
- pravděpodobně nejsou svázány s výbojem mrak - země
- jsou vzácně pozorované ve srovnání s ostatními TLE
- vycházejí ze záporně nabitého vršku mraku
- jsou doprovázeny značnou svítivostí mraku



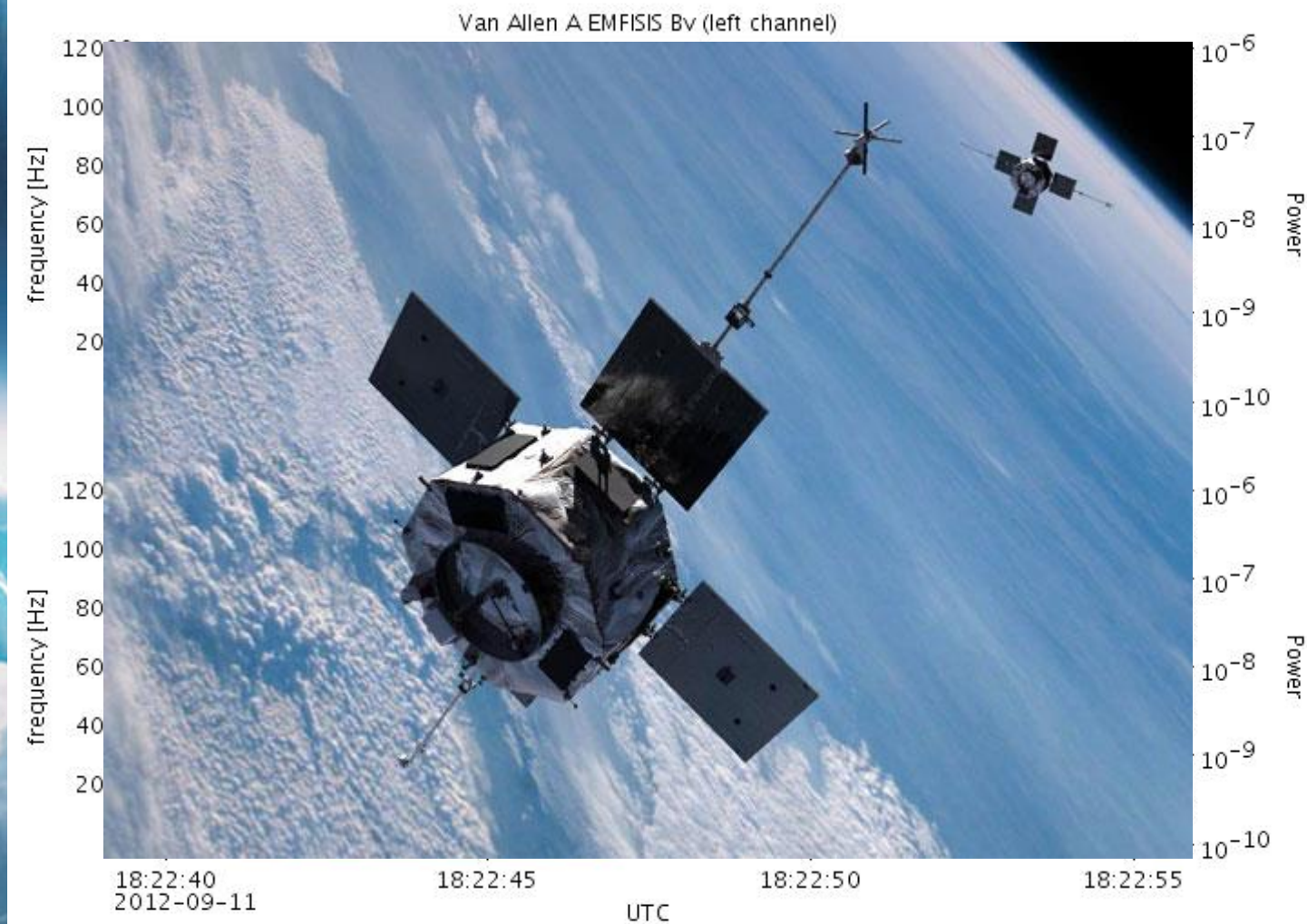
**Obří výtrysky zaznamenané v roce 2011 15 minut před bouřkou na ostrově Reunion**

# Vlny vyzařované bleskovými výboji

vlnovod  
ionosféra - Země



# Řada hvizdů zaznamenaná družicemi Van Allen Probes



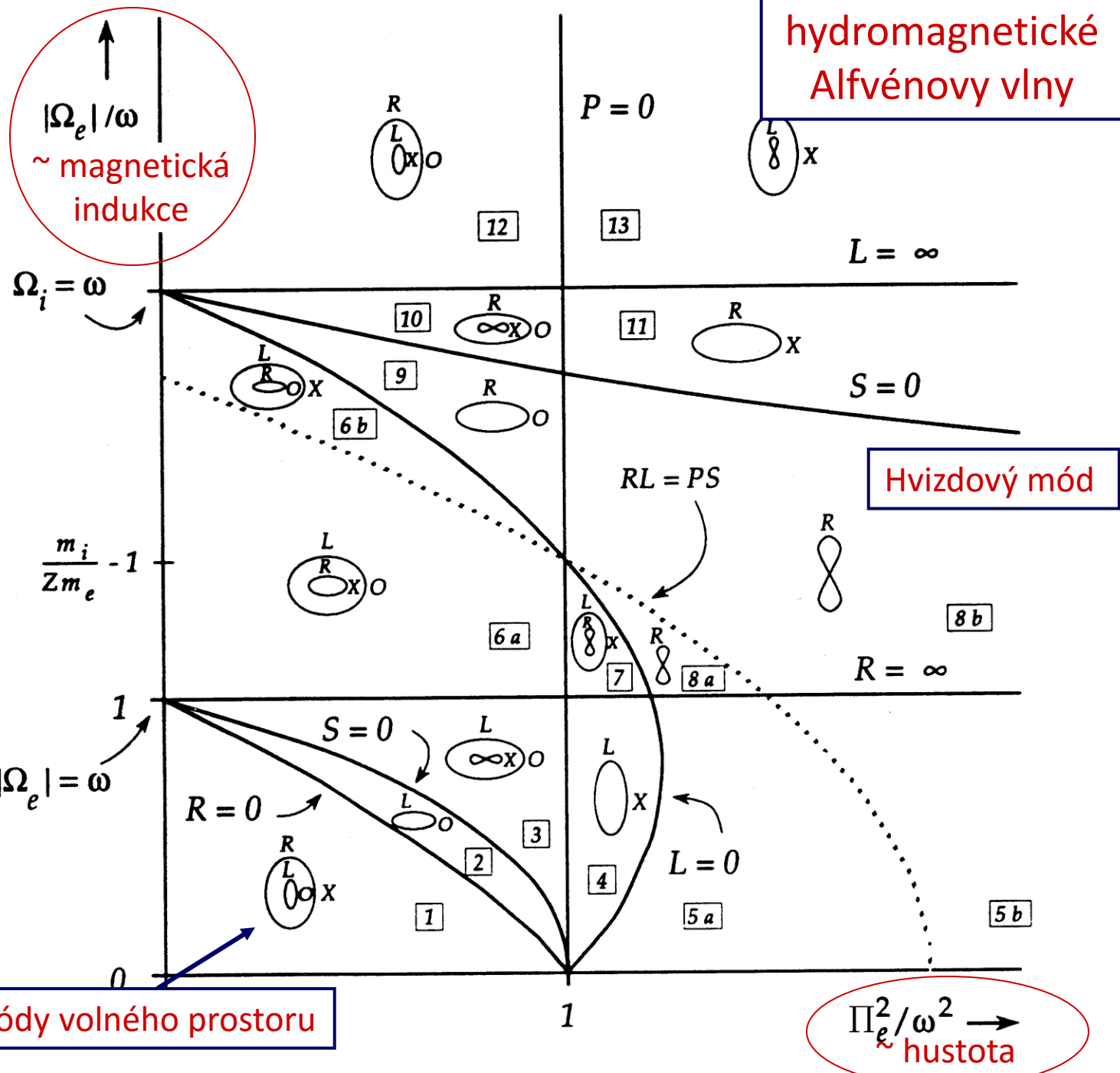


# CMA diagram

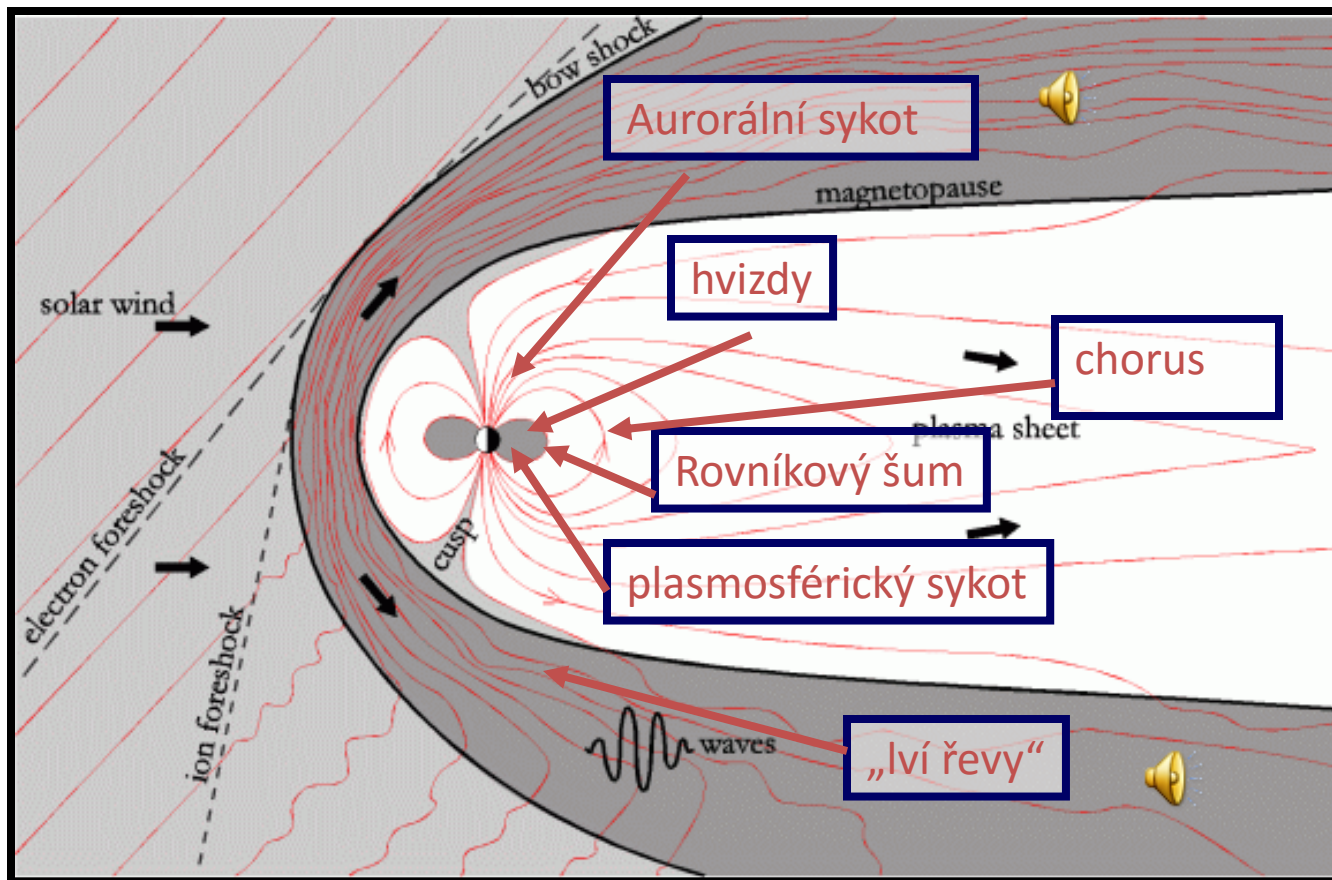
(Clemmow, Mullaly, 1955, and Allis 1959)

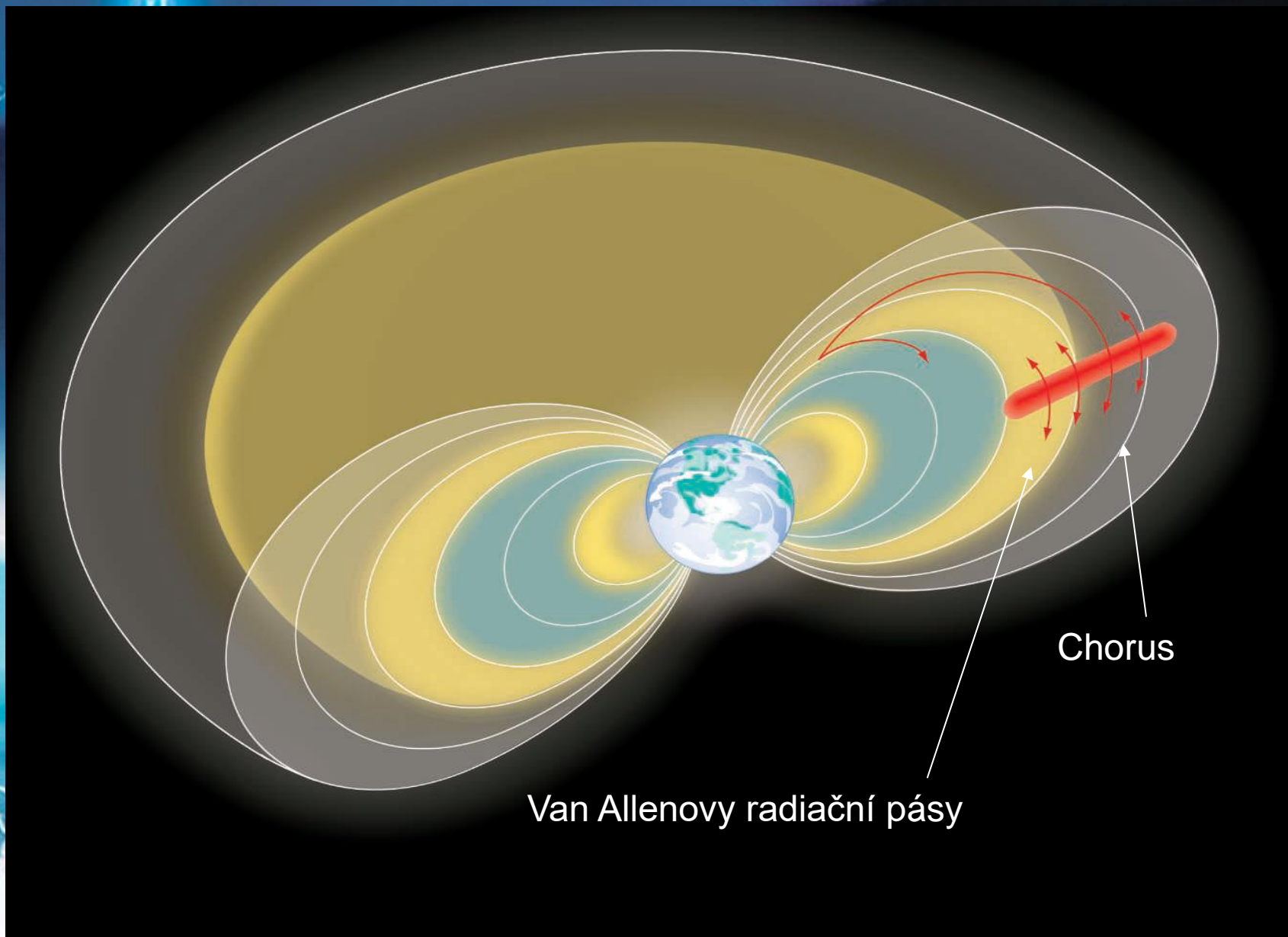
## Ingredience:

- Maxwellovy rovnice
- Pohybová rovnice bezsrážkového studeného plazmatu
- Lineární teorie
- Homogenní prostředí



# Příklady vln hvizdového módu v okolí Země

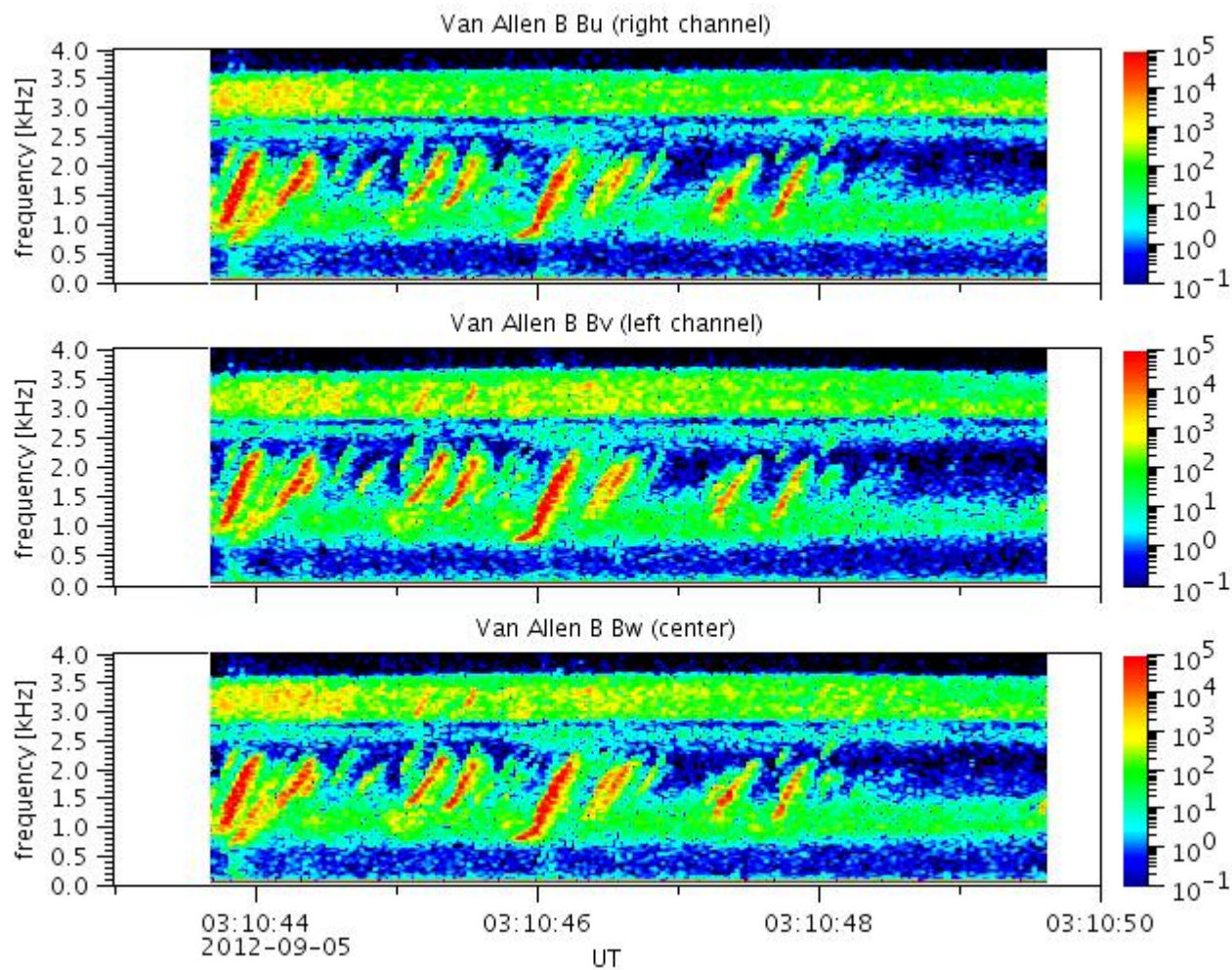




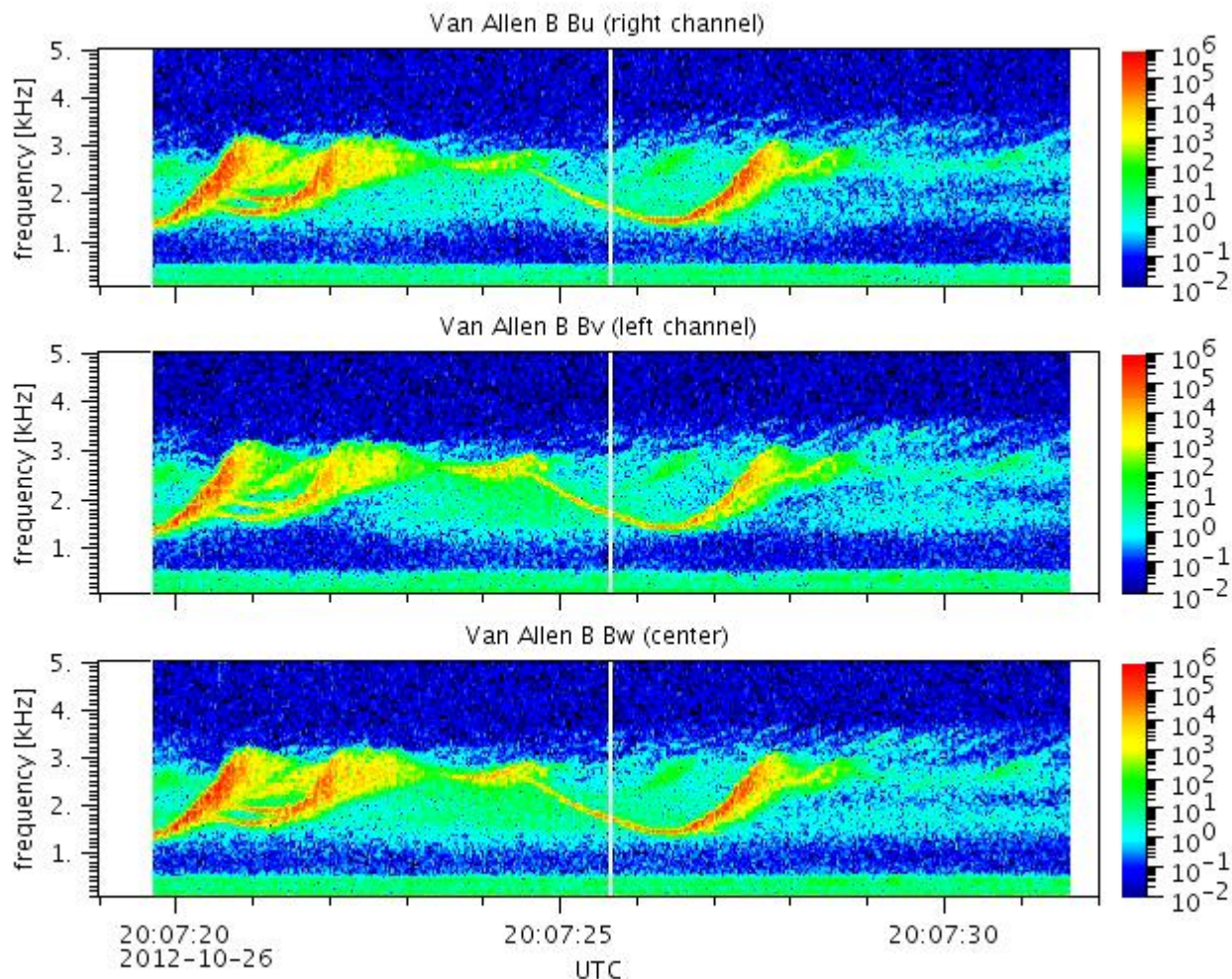
Van Allenovy radiační pásy

Chorus

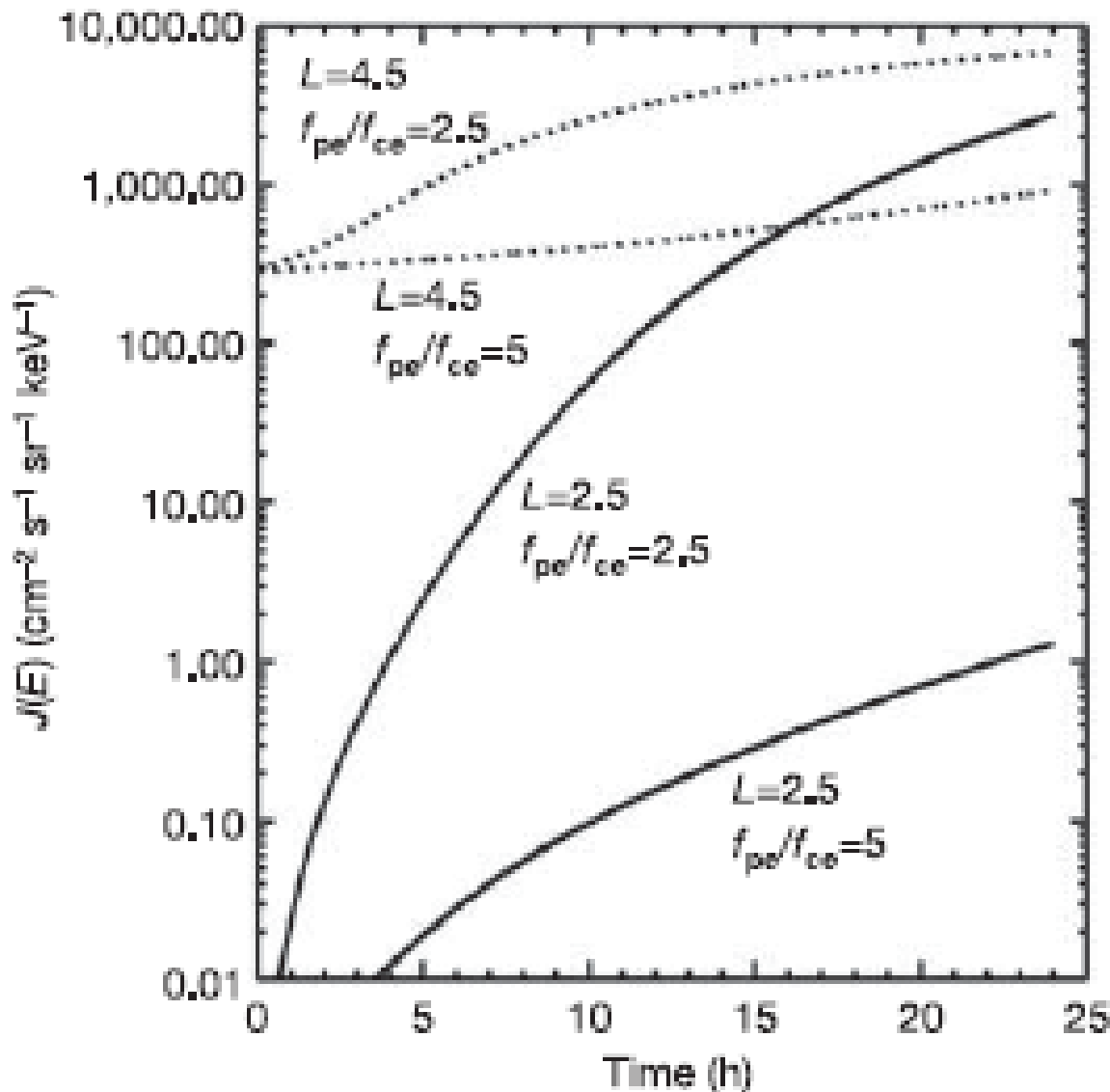
# Chorus zaznamenaný družicemi Van Allen Probes



# Chorus zaznamenaný družicemi Van Allen Probes



# Simulace relativistických elektronů (1 MeV) Urychlených vlnami typu chorus



Geomagnetické  
bouře:

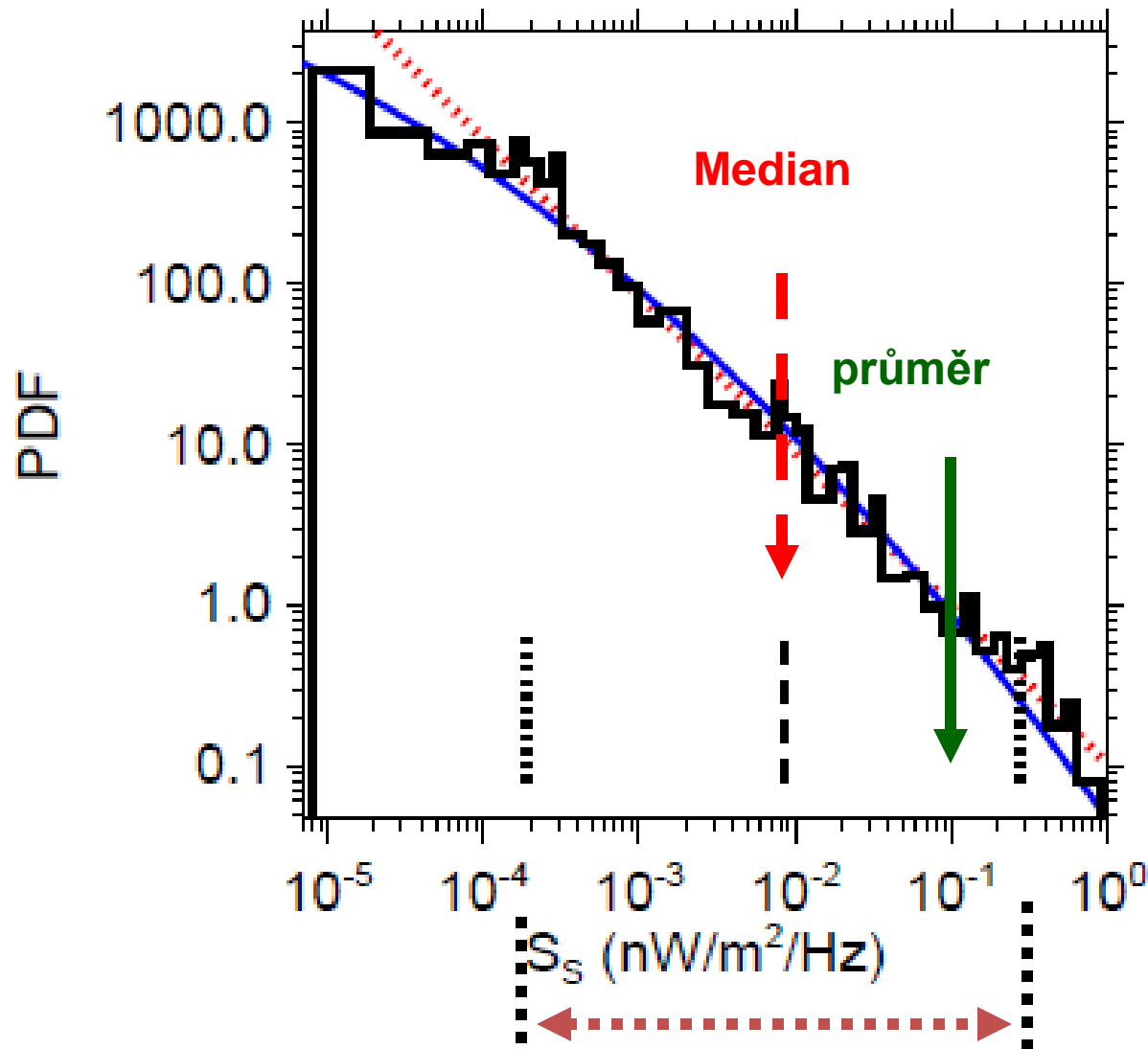
29 říjen –  
4 listopad 2003

Min Dst = -400 nT  
Max Kp  $\sim$  9

(Horne et al., Nature,  
2005)

# Přehled pozorování emisí typu chorus na družici POLAR

59 orbitů, 1. dubna 1996 – 15. září 1997



Nese chorus dostatečnou energii pro uručení elektronů ve vnějším Van Allenově radičním pásu na relativistické energie?

**~4% pozorovaného Poyntingova toku choru** urychlí elektrony na 1 MeV za 1 den.

Variabilita Poyntingova toku

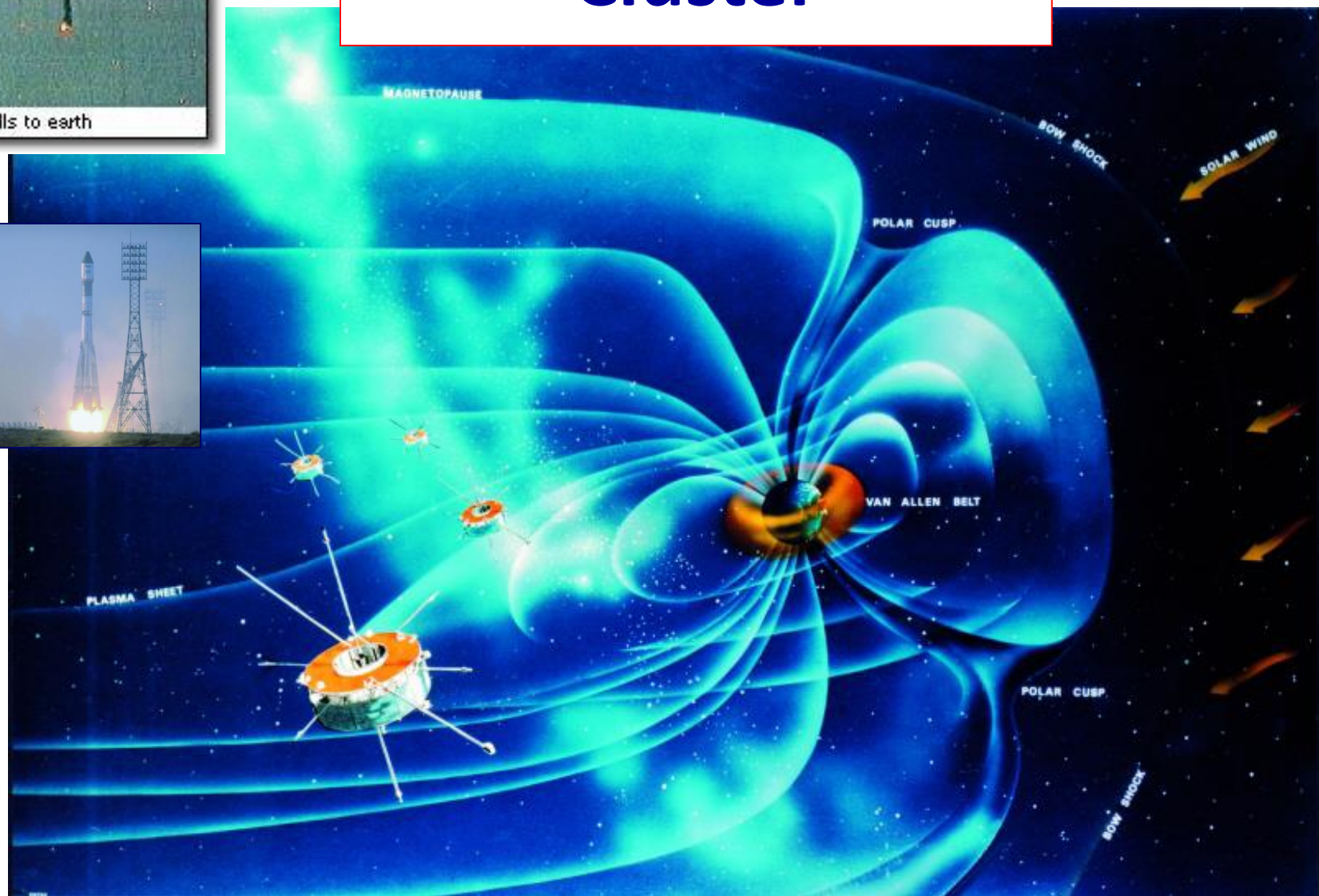
# Cluster



1996

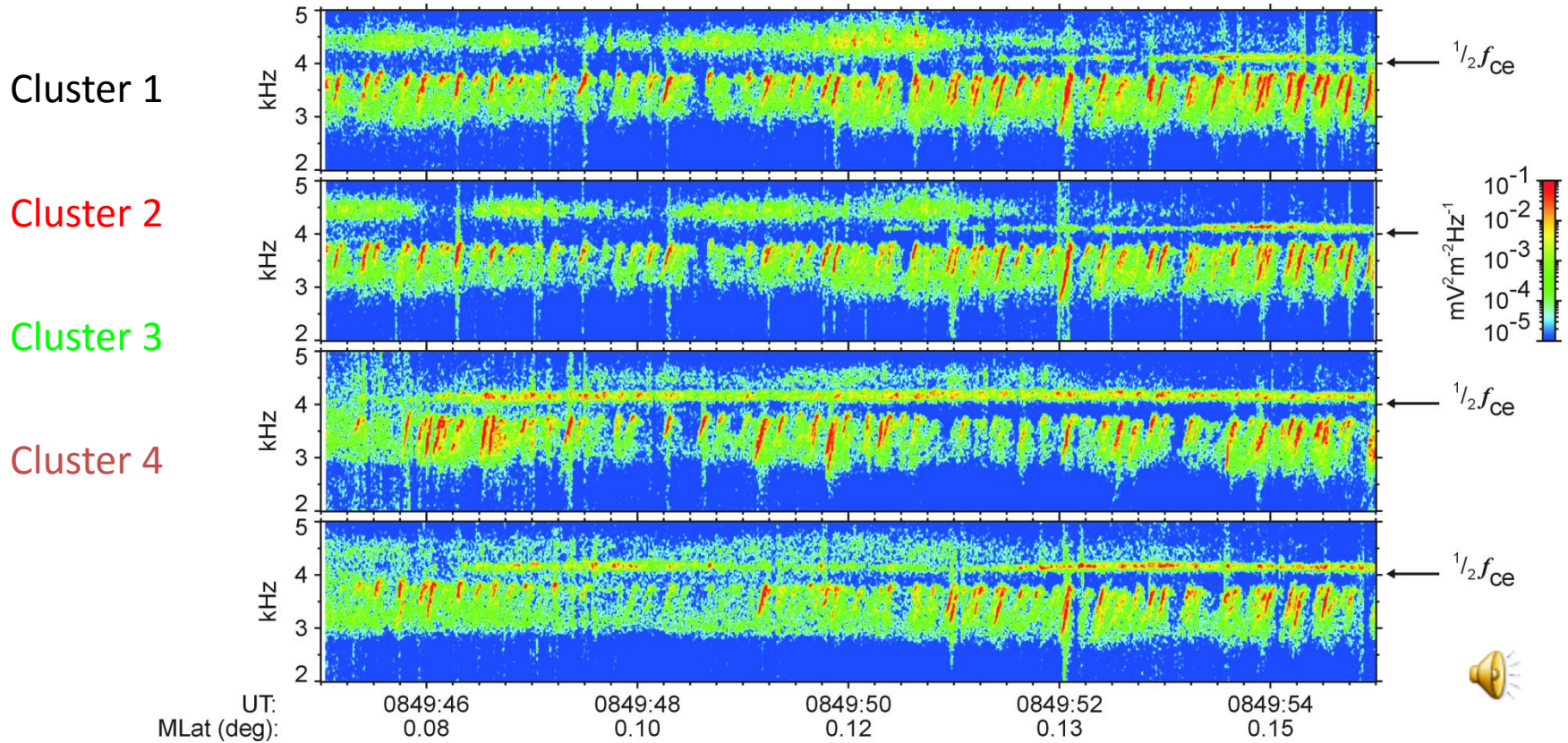


2000



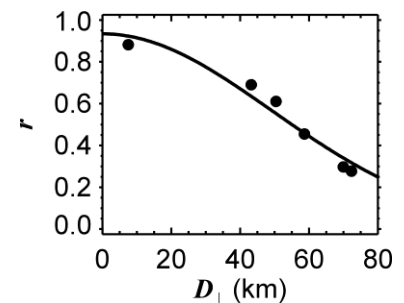


# Podrobné spectrogramy 18. dubna 2002



**KORELAČNÍ  
KOEFIČIENT**

S/C	$D_{\parallel}$	$D_{\perp}$	$r$
1-2	187 km	7 km	0.88
1-3	258 km	72 km	0.28
1-4	110 km	50 km	0.61
2-3	70 km	69 km	0.30
2-4	-77 km	43 km	0.69
3-4	-148 km	58 km	0.45



# Resonance

Two pairs of spacecraft will be launched in an “magneto-synchronous” orbit.

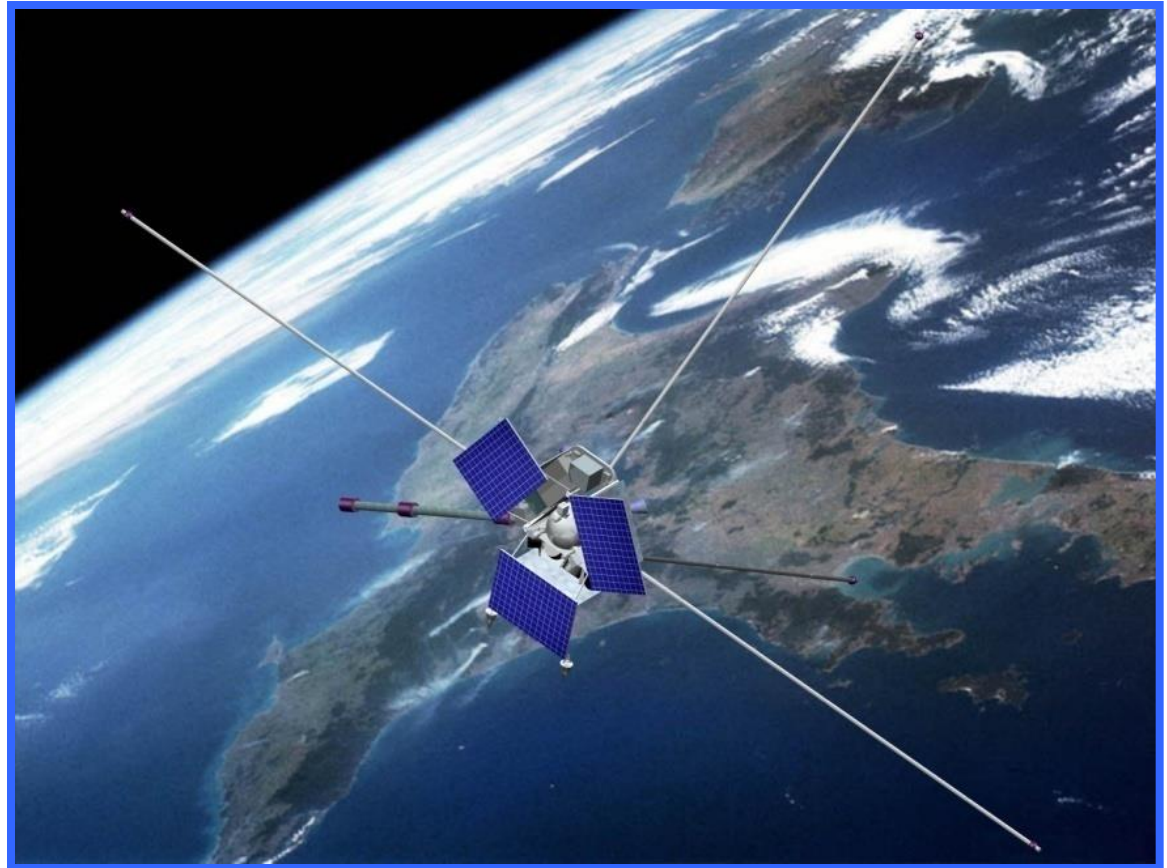
Orbital parameters:

$$T = 8 \text{ h}$$

$$h_{\text{ap}} = 28\,000 \text{ km}$$

$$h_{\text{per}} = 500 \text{ km}$$

$$i = 63.4^\circ$$



# *Mechanical design*

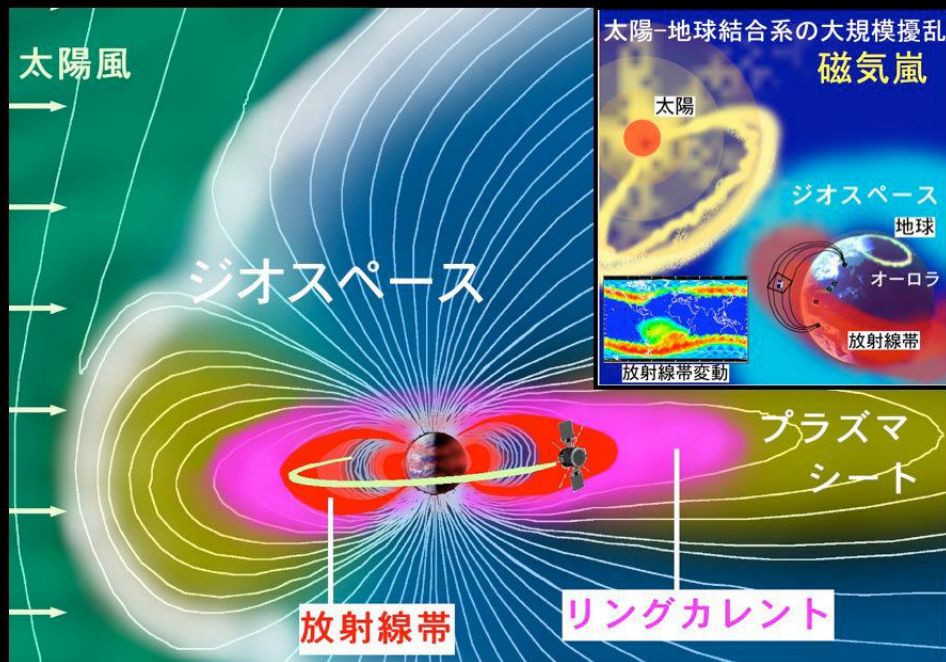


*Engineering  
model*

## ジオスペースにおける最高エネルギー粒子の生成過程に迫る！ ～ 宇宙嵐は相対論的粒子をどのようにつくるのか？ ～

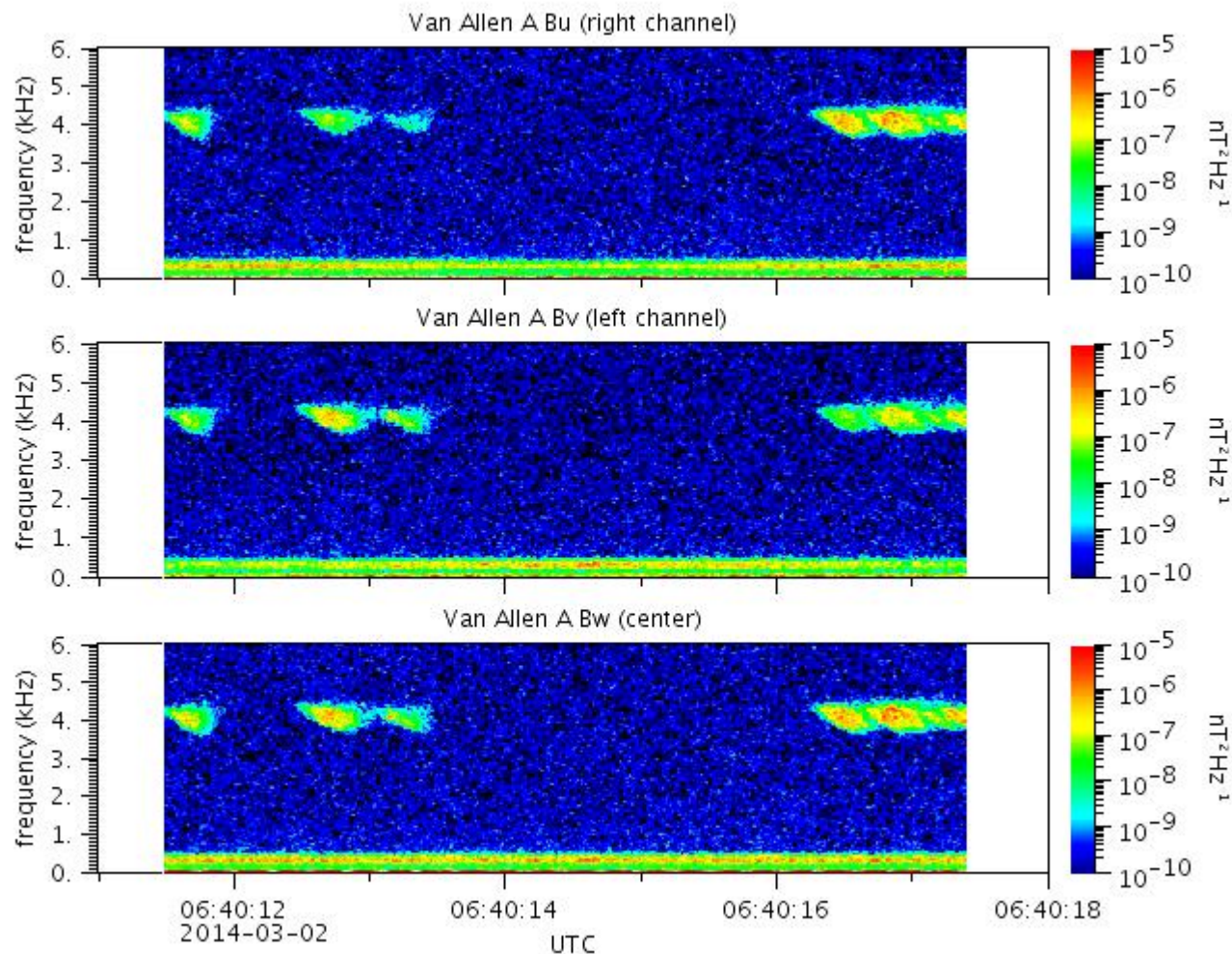
- 意義
- ・ 地球磁気圏における相対論的粒子の加速過程の直接観測
  - ・ ジオスペース（地球近傍宇宙空間）環境変動メカニズムの探究
  - ・ 強放射線帯下における小型衛星によるプラズマ計測の技術開発

内部磁気圏赤道面において粒子・電磁場・波動の総合観測を実現し、地上観測網・数値モデリングとの連携を活かして宇宙嵐時のジオスペース変動の物理機構を探る

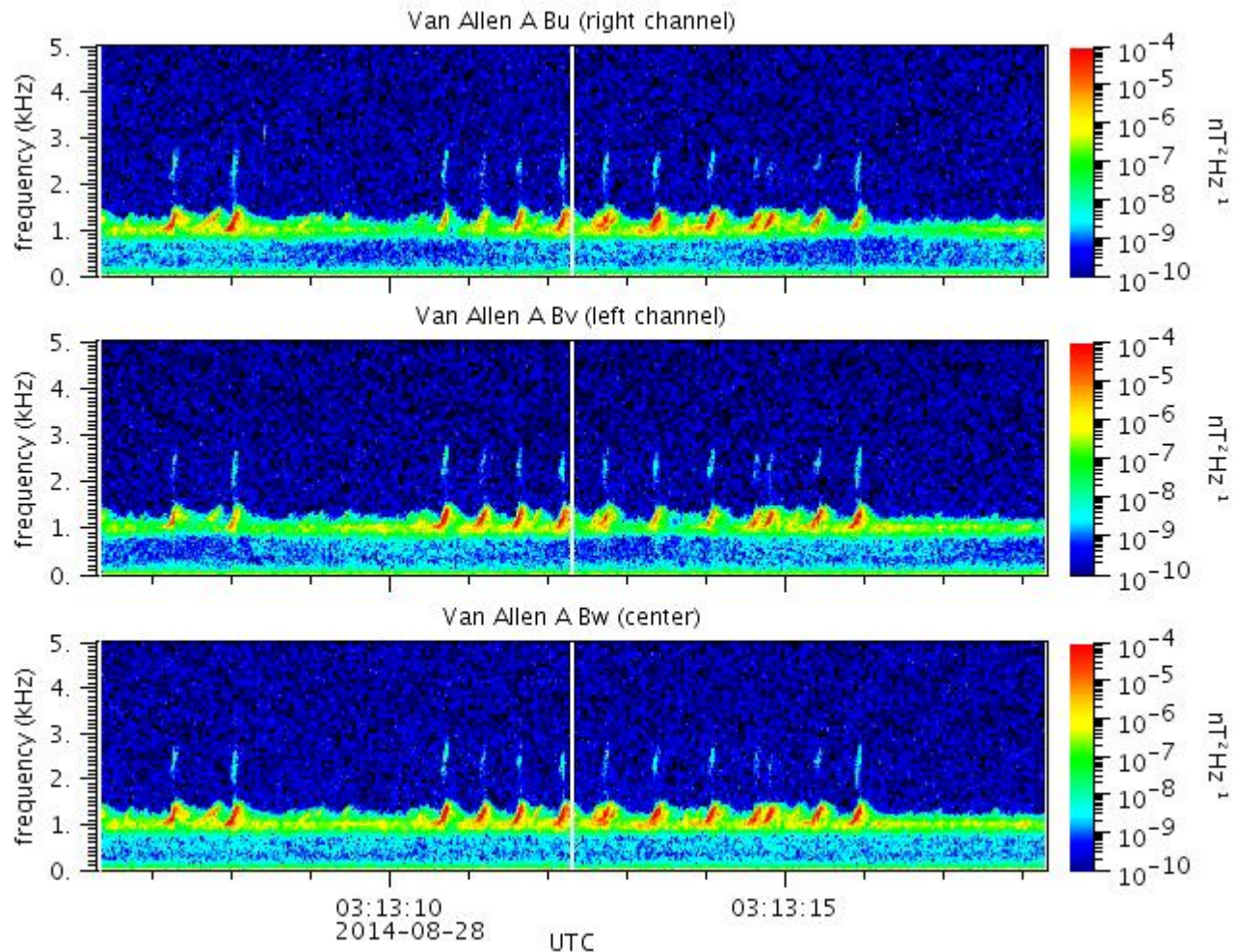


- ・ 打ち上げ時期：2011年頃（太陽活動極大期）
- ・ 遠地点： $\sim 6.6R_e$ ， 近地点： $\geq 250\text{km}$
- ・ 軌道傾斜角：10度以下（赤道面）
- ・ スピン衛星（スピン軸：太陽方向）
- ・ 搭載機器
  - DC/AC磁場・電場計測器  
（磁場 DC-20kHz， 電場 DC-5MHz）
  - 熱的・低・中・高エネルギーイオン質量分析器（1eV-1 MeV）
  - 低・中・高・超高エネルギー電子計測器（10eV-20MeV）

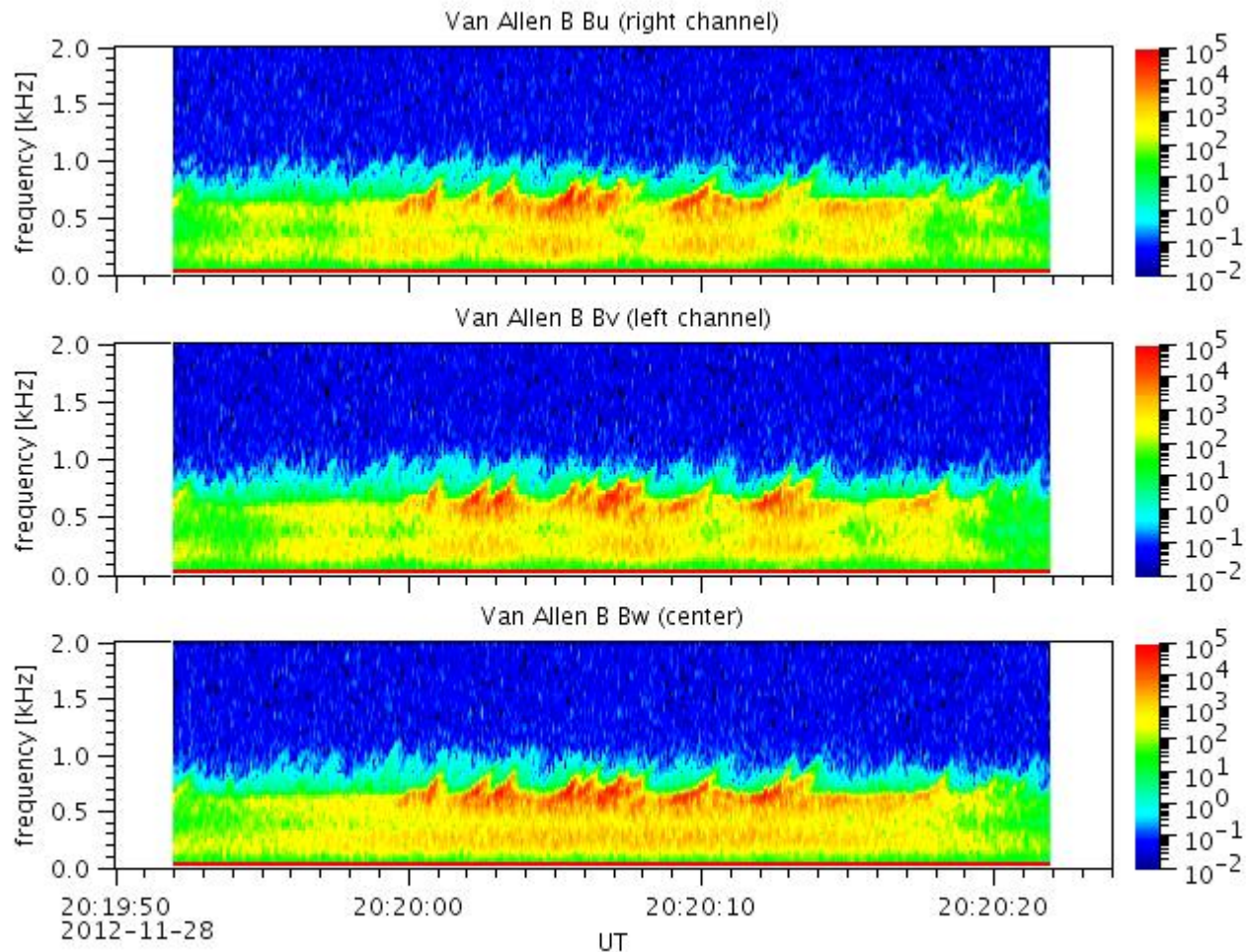
# Chorus zaznamenaný družicemi Van Allen Probes



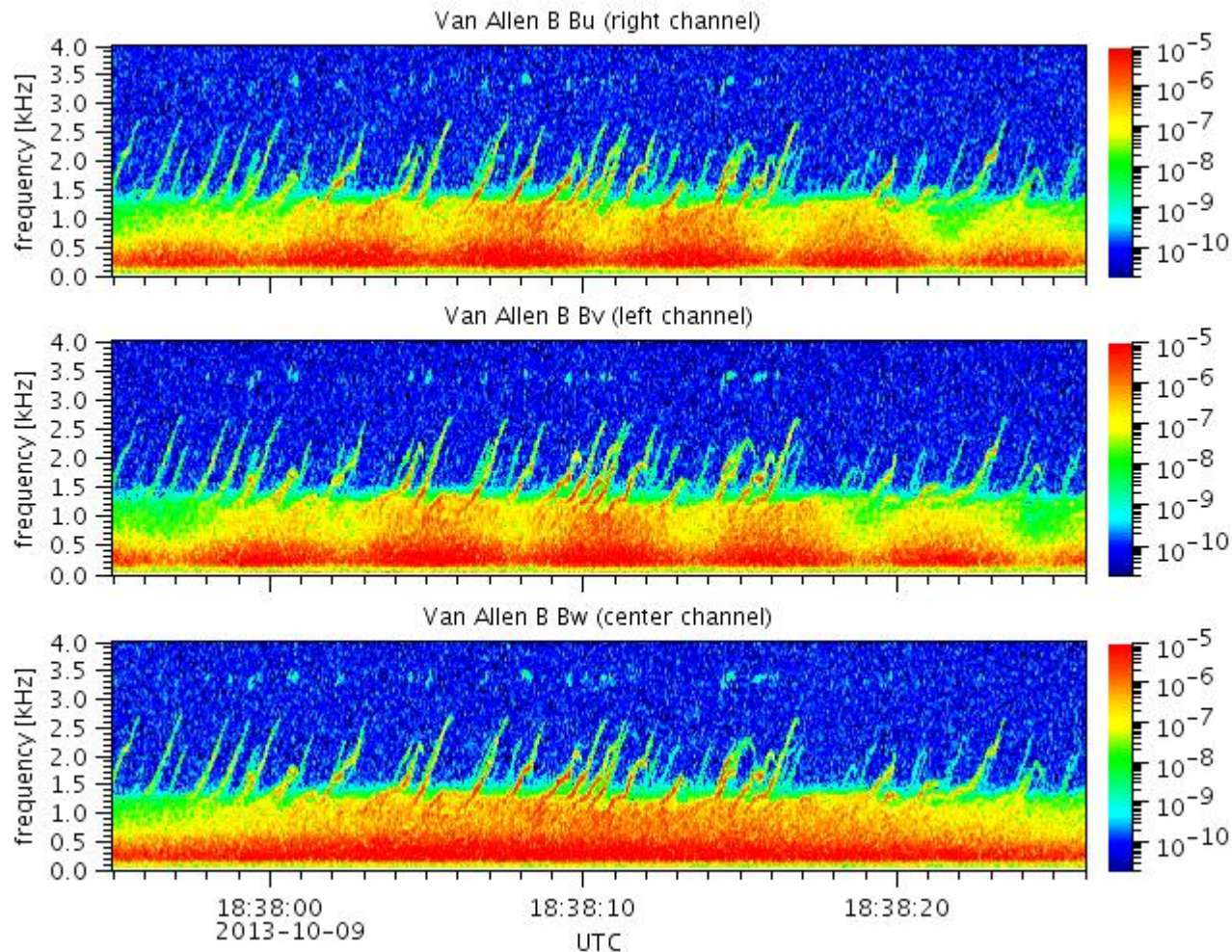
# Chorus zaznamenaný družicemi Van Allen Probes



# Chorus zaznamenaný družicemi Van Allen Probes



# Chorus zaznamenaný družicemi Van Allen Probes







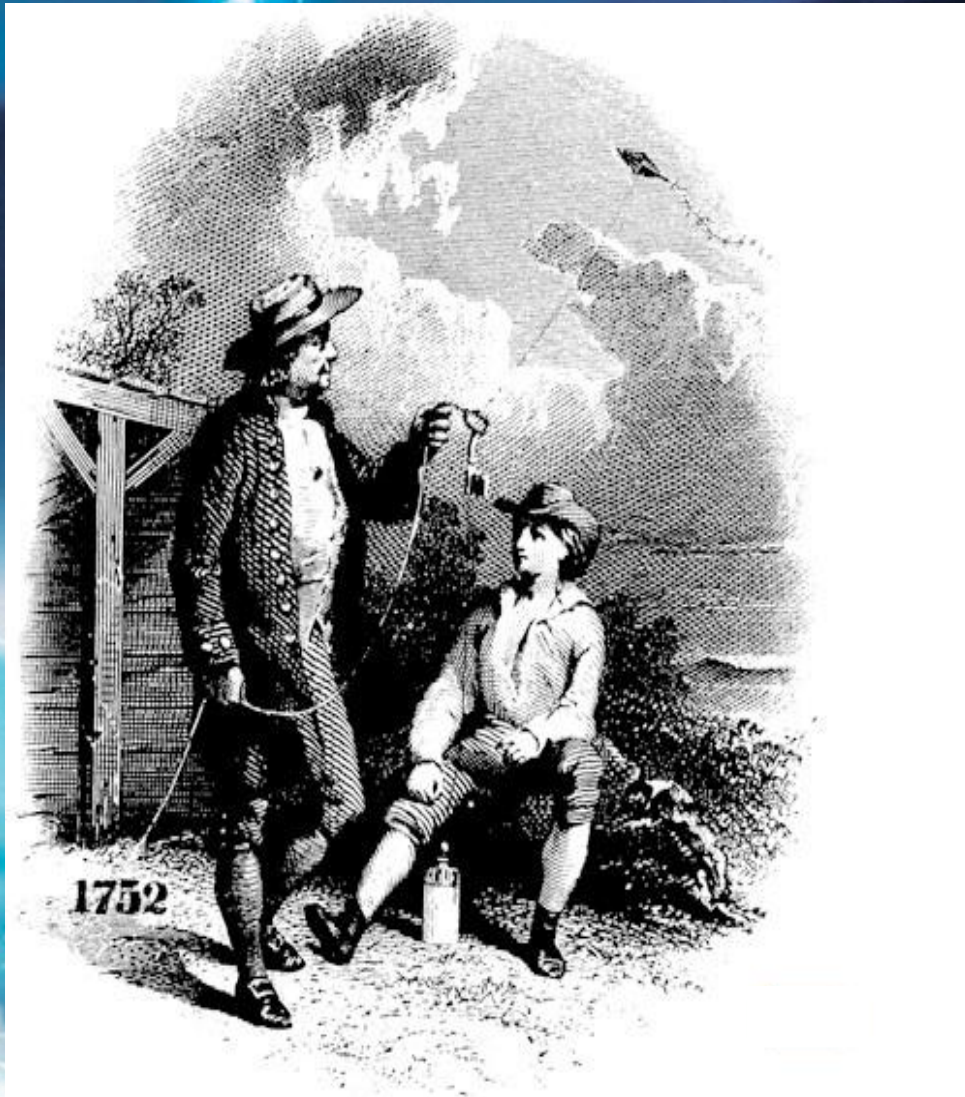
# **Benjamin Franklin (1706–1790)**

***přírodovědec - samouk,  
spisovatel, významný  
americký politik***

***vyučil se tiskařem, založil první  
veřejnou knihovnu v Americe***

***studium „záhadných“  
elektrických jevů (1747-1755)***

***červen 1752 – pokus s  
papírovým drakem s kovovým  
hrotem , konopným provazem  
a klíčem***



**Prokop Diviš  
(1698–1765)**

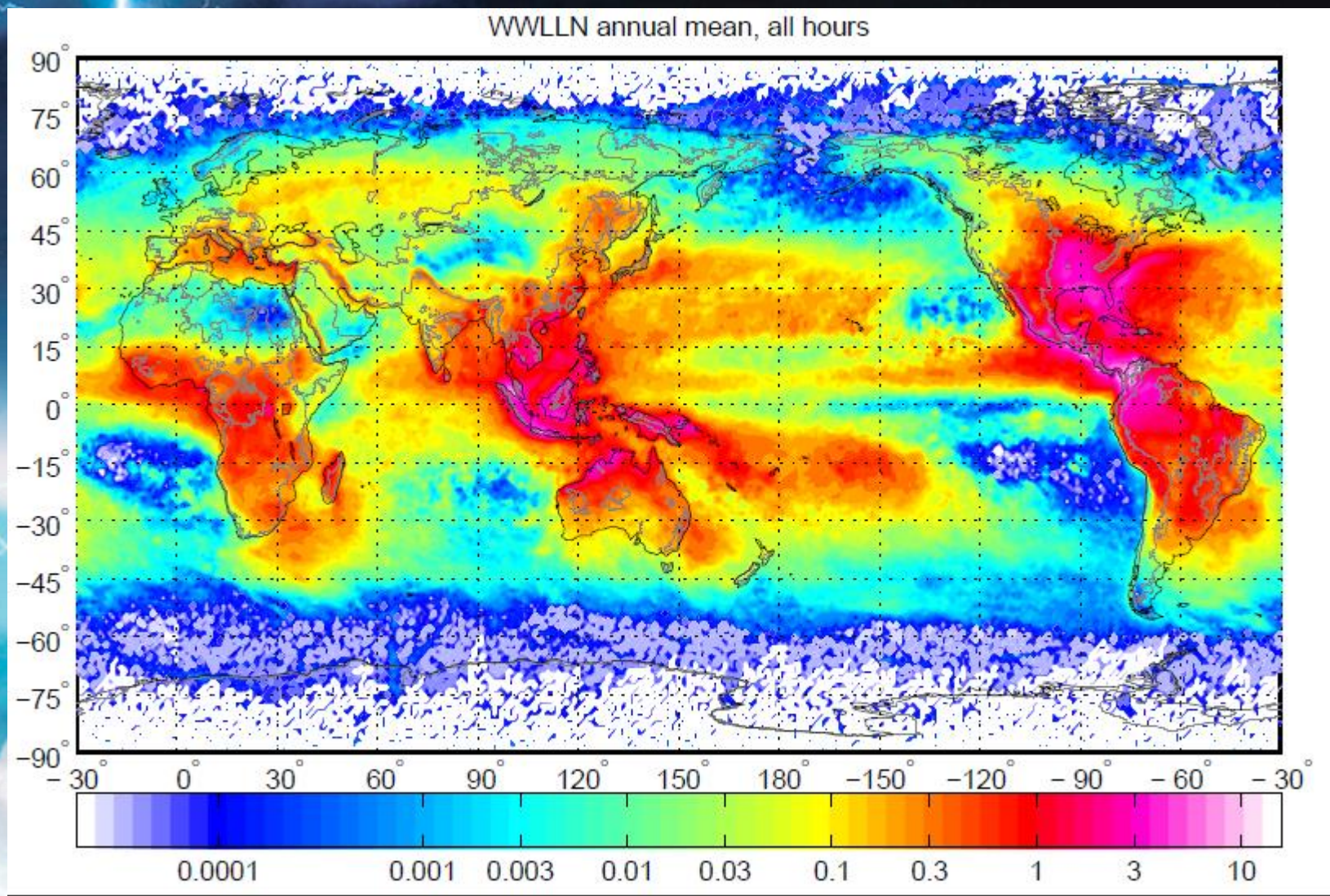


**Helvíkovice u Žamberka**

**1754 sestrojil hromosvod;  
B. Franklin až v roce 1760,  
(teor. 1753)**

***katolický kněz, přírodovědec, hudebník a vynálezce.***

# Rozložení blesků na Zemi – rok 2012



Počet blesků /km<sup>2</sup> rok

[wwlln.net](http://wwlln.net)

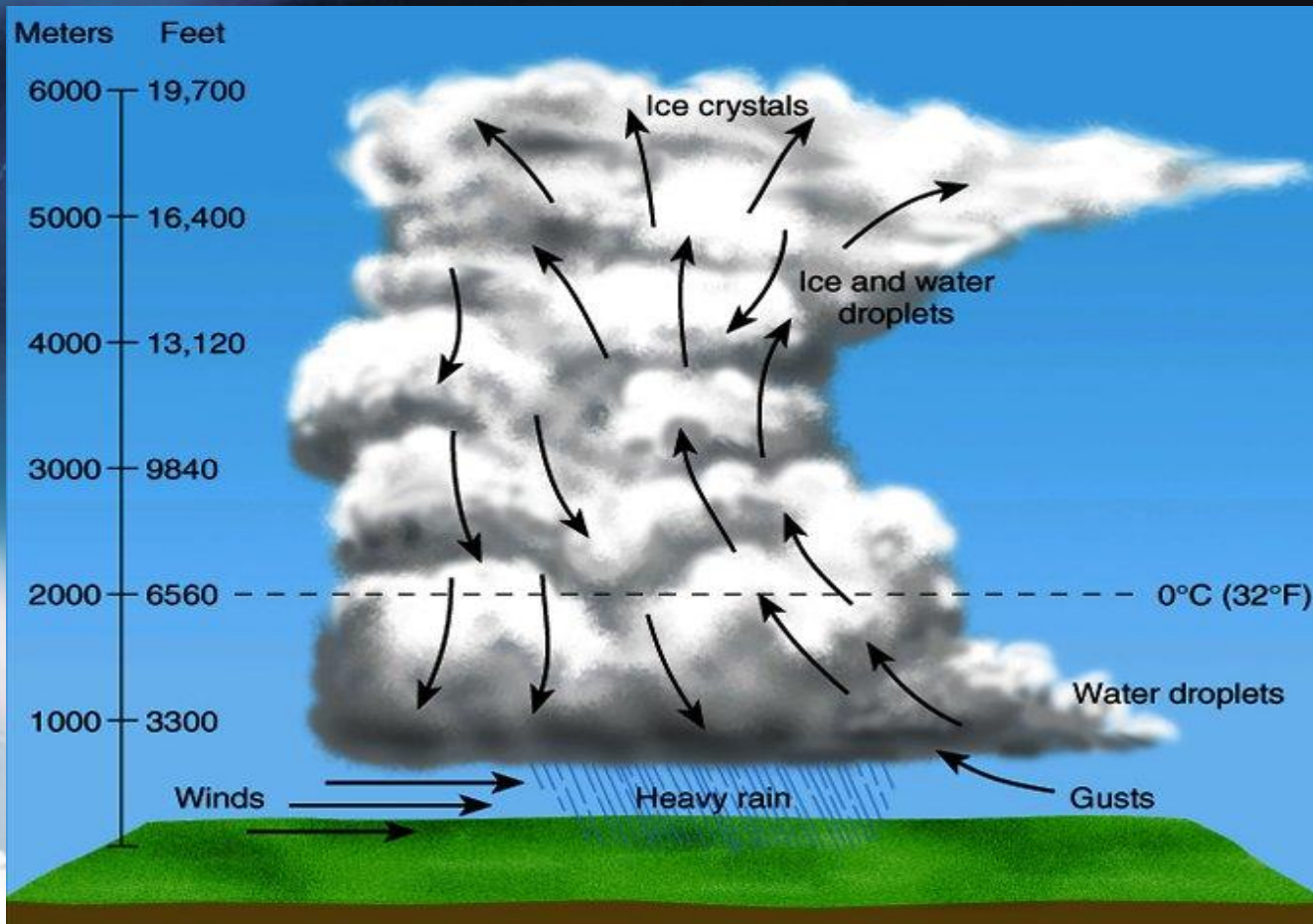
# *Bouřkový mrak - cumulonimbus*



*vlhko a teplo, výrazné vertikální proudění*

# Složení bouřkového mraku

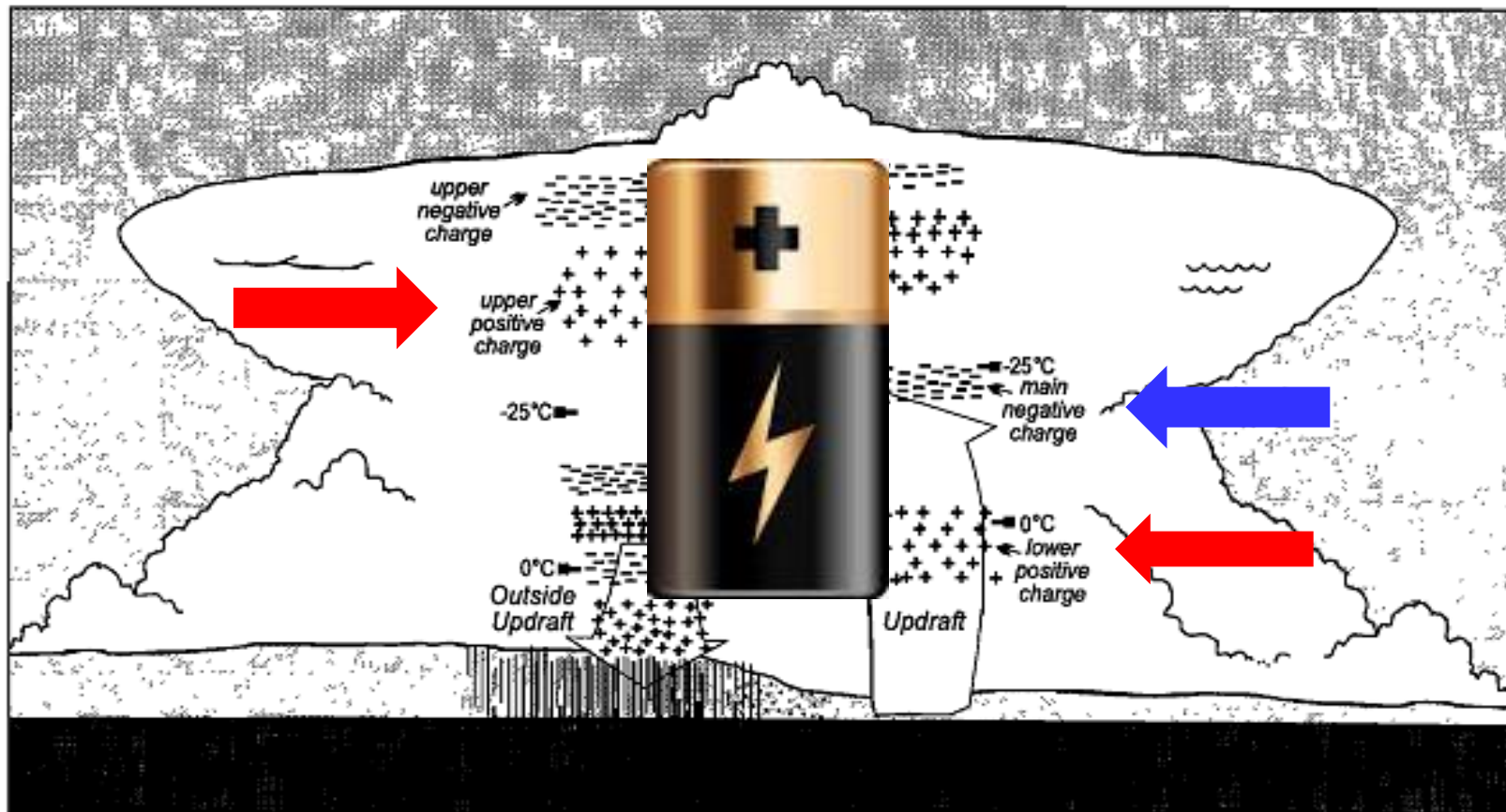
*vodní kapky,  
sněhové  
vločky,  
sněhové krupky  
(2-5 mm),  
ledové krupky  
(2-5 mm),  
kroupy > 5 mm*



➤ *neinduktivní předávání náboje třením, vzájemná rychlost ~ 5 m/s*

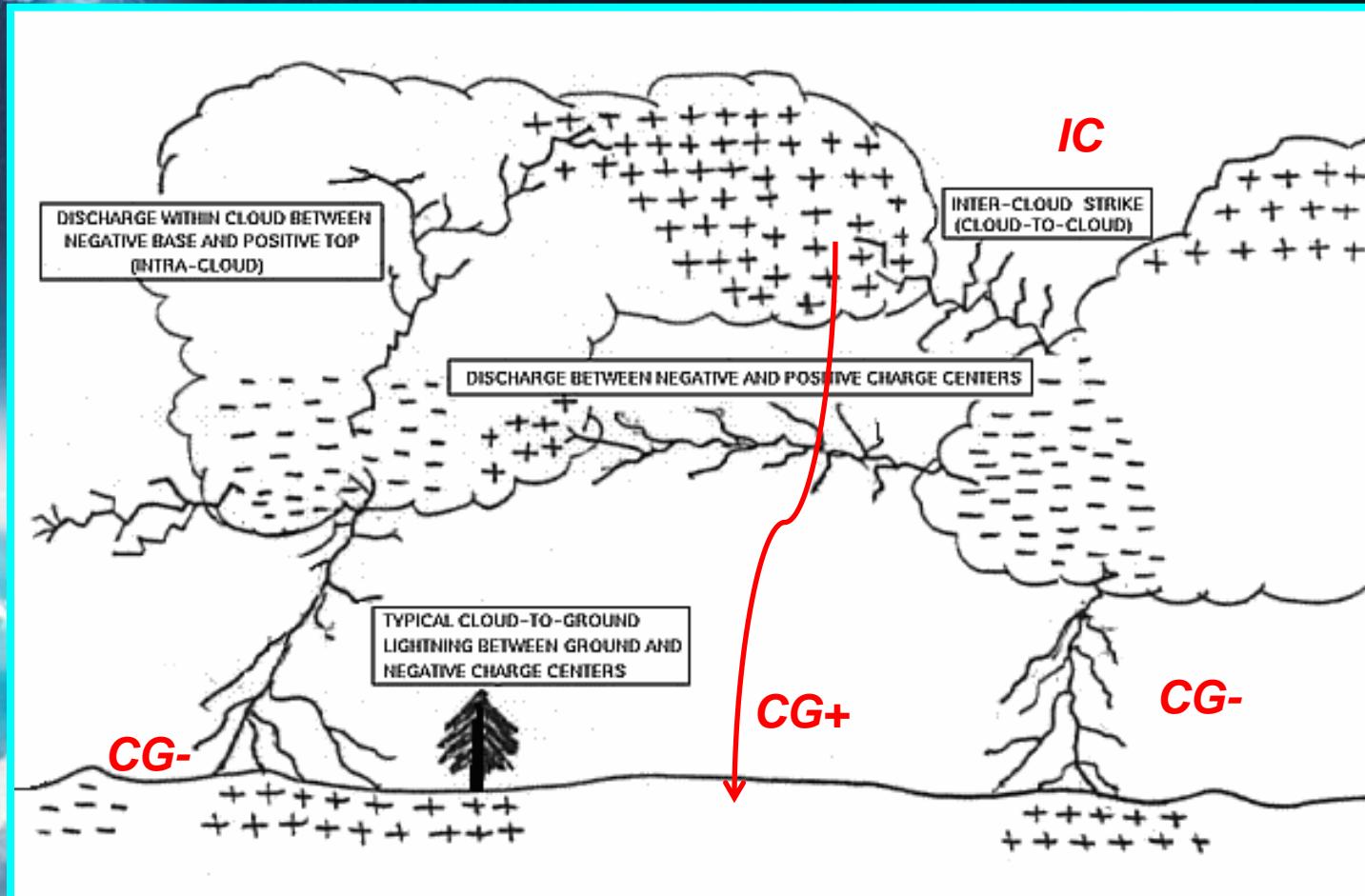
➤ *gravitační teorie pro nejobvyklejší rozložení náboje - těžší kroupy se nabíjí záporně a lehčí vločky kladně*

# Rozložení náboje v bouřkovém mraku



*převzato z Stolzenburg et al., 1998*

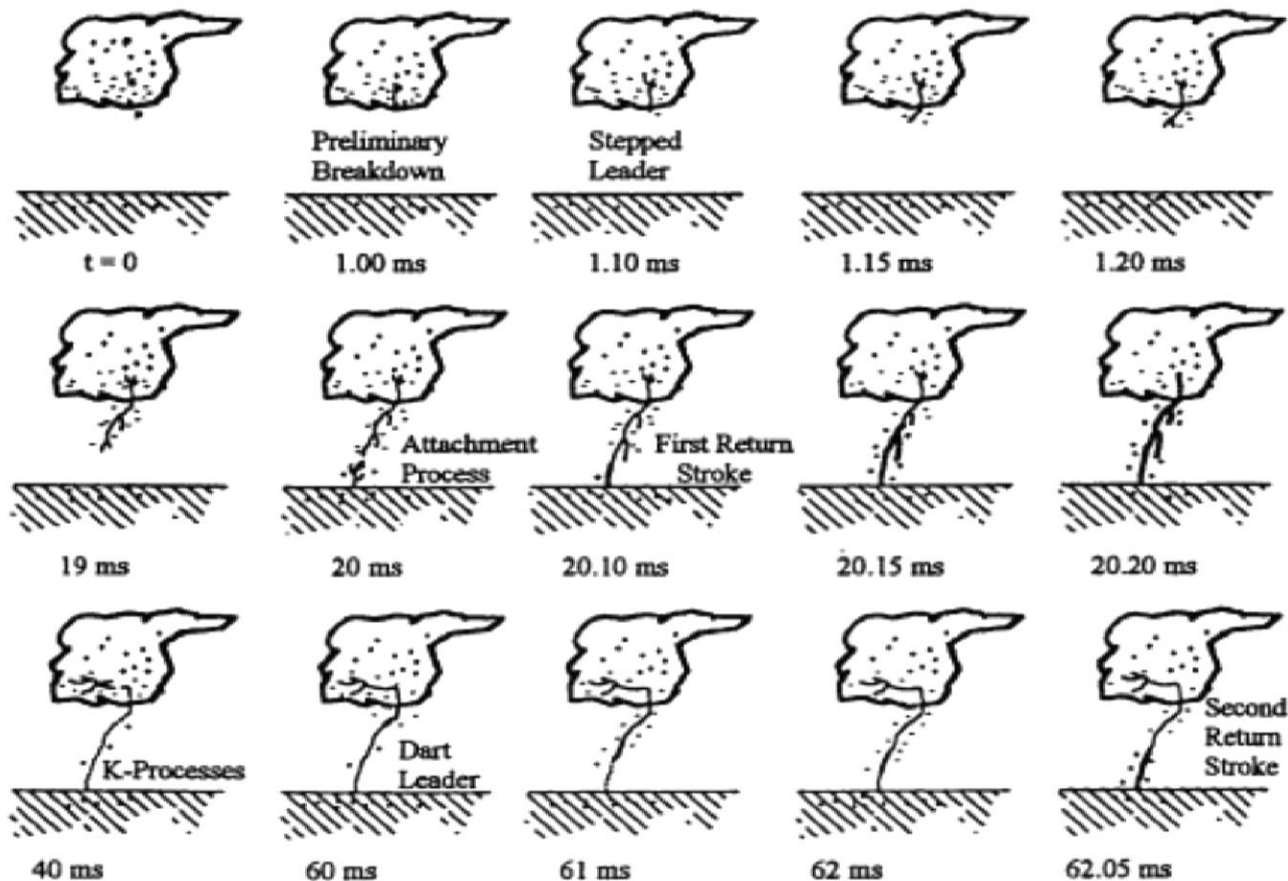
# Typy blesků



*více než 90% bleskových výbojů je typu CG-, transport záporného náboje z mraku na zem*



# Vývoj bleskového výboje CG-



vůdčí  
blesk  
krok typ.  
50m,  
50 $\mu$ s  
10<sup>5</sup>m/s

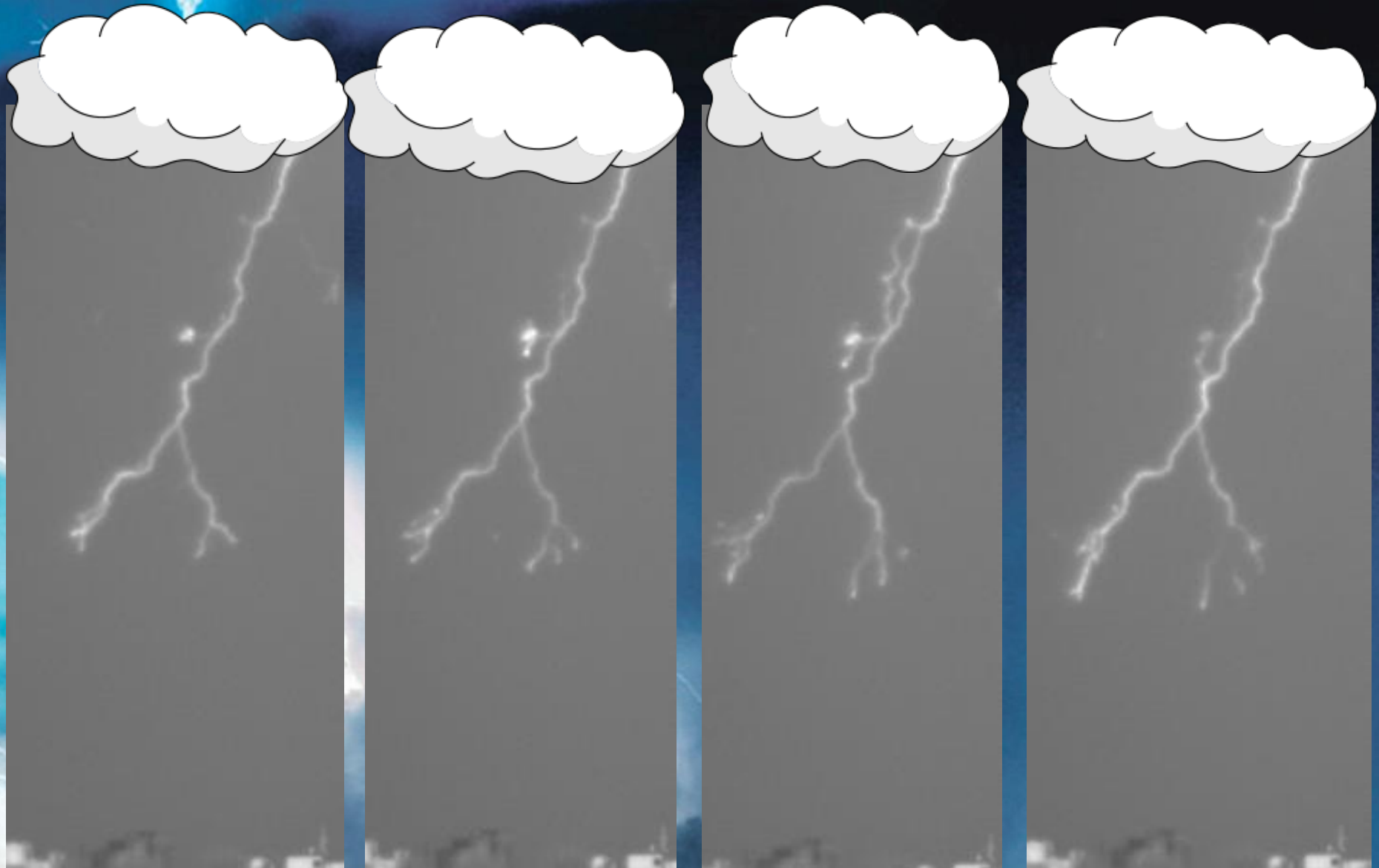
Zpětný  
úder  
10<sup>7</sup>– 10<sup>8</sup>  
m/s

převzato z Rakov and Uman, 2003

# ***Bleskový výboj CG-***

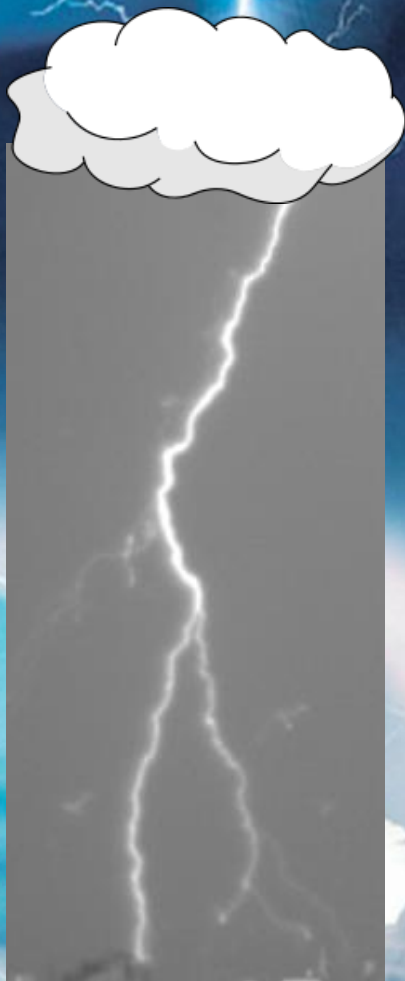


# Vývoj vůdčícího blesku



~6500 snímků/s, snímky jsou vzdálené 153.84  $\mu$ s

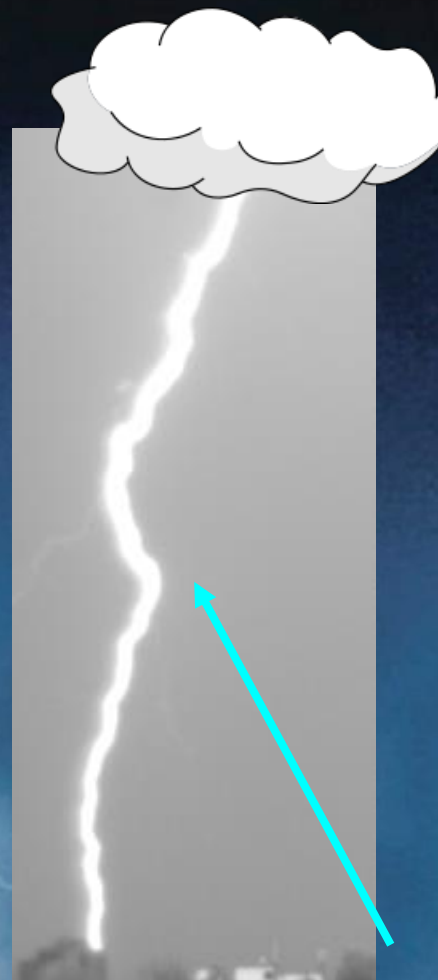
# Vývoj blesku - pokračování



za  $\sim 3 \text{ ms}$



za  $150 \mu\text{s}$

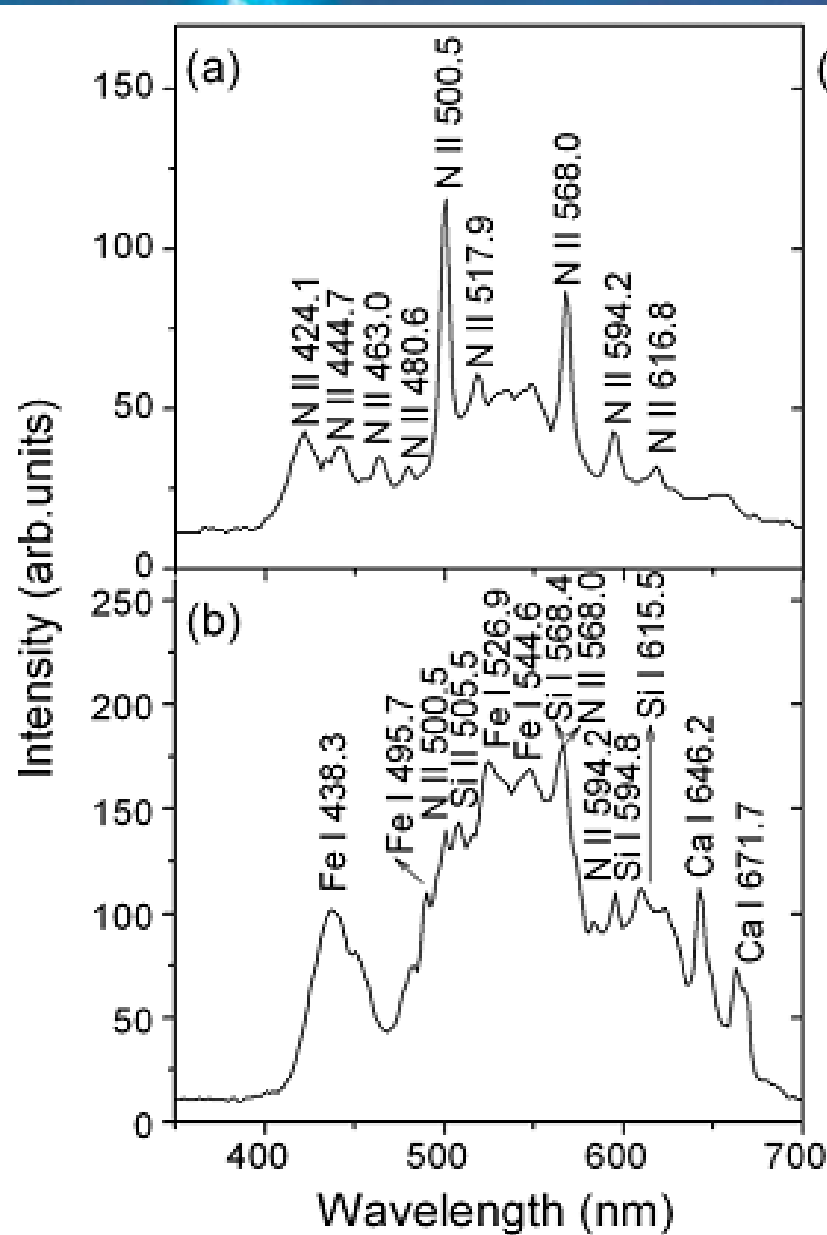


za  $600 \mu\text{s}$

- proud - desítky kA
- tlak - 10 atm
- průměr kanálu – jednotky cm

tzv.  
continuing  
current

# Fyzikální záhada: kulový blesk



životnosti 10-20s

/s

40% pomalu se syčením, 10% se

tá, ale i o

← **obyčejný blesk**

kulového blesku se nemůže jednat o

← **kulový blesk**

pořit kulič

otnosti 8s)

*Physical review Letters (2014)*

*náhodný záznam spektra kulového blesku (Čína, 2012)*

*hypotéza: kulový blesk vzniká po úderu klasického blesku do země*