

# Výsledky Oddělení kosmické fyziky Ústavu fyziky atmosféry AV ČR zveřejněné v roce 2016

## 1. Rovníkový šum

Rovníkový šum je významný typ elektromagnetických vln vyznačující se superpozicí spektrálních čar s rozestupy danými cyklotronovou frekvencí iontů v jeho zdrojové oblasti. Vzniká nestabilitou iontové složky plazmatu magnetosféry Země na nízkých šířkách. Naše experimentální i teoretické výsledky ukazují, že se rovníkový šum může šířit ze zdrojové oblasti v magnetosféře až k nízké oběžné dráze družice DEMETER na výšce okolo 700 km. Nalezli jsme souvislost tohoto jevu s obdobími zvýšené geomagnetické activity. Detekovali jsme též kvaziperiodické modulace rovníkového šumu a možný vliv iontů kyslíku na jeho vznik.

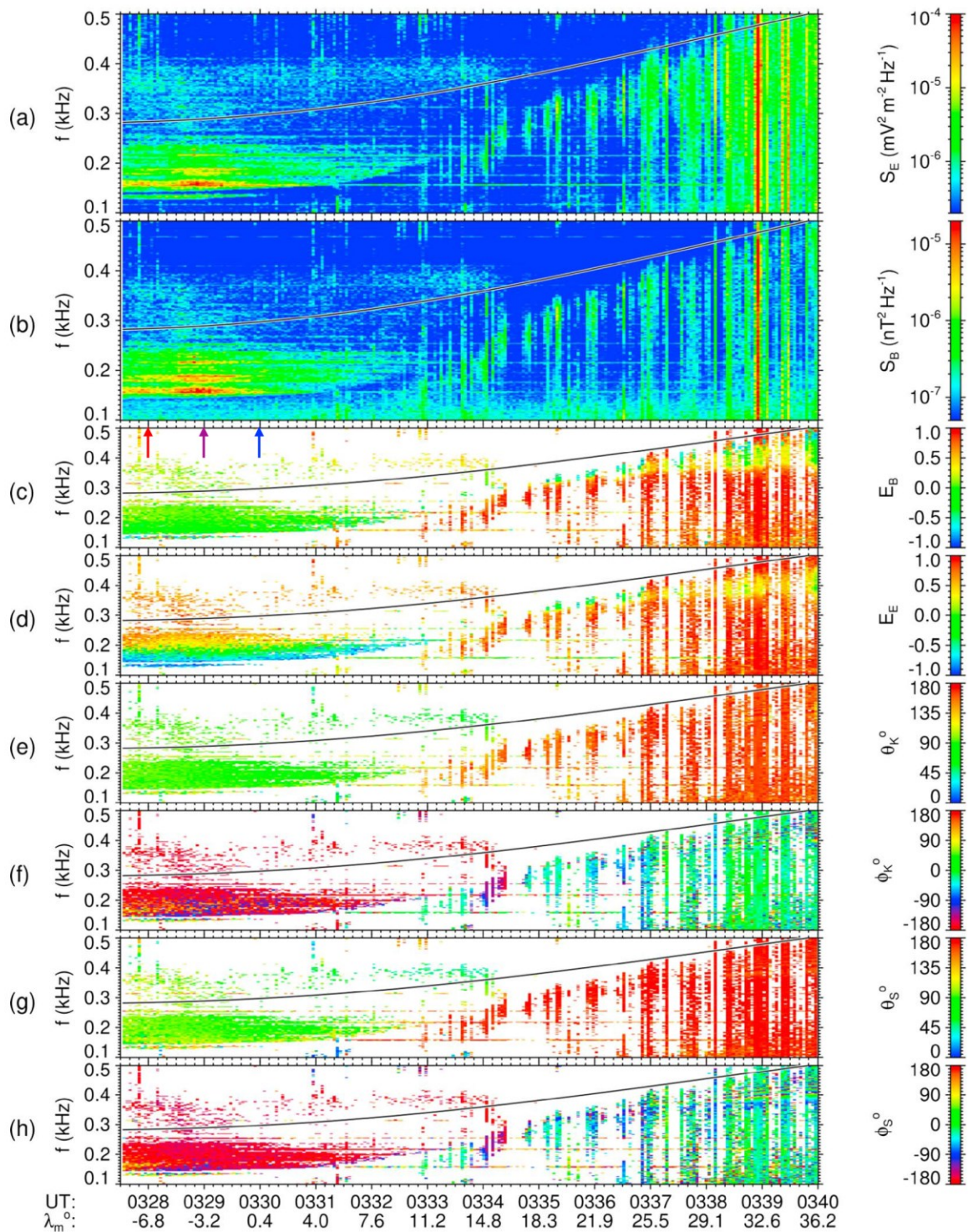
### Reference:

**Santolík, O.**, M. Parrot, and F. Němec (2016), Propagation of equatorial noise to low altitudes: Decoupling from the magnetosonic mode, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 6694-6704, doi:10.1002/2016GL069582.

### Související reference:

Parrot, M., F. Němec, **O. Santolík**, and N. Cornilleau-Wehrin (2016), Equatorial noise emissions with a quasiperiodic modulation observed by DEMETER at harmonics of the O<sup>+</sup> ion gyrofrequency, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, 10,289-10,302, doi:10.1002/2016JA022989 Němec, F., M. Parrot, and O. Santolík (2016), Equatorial noise emissions observed by the DEMETER spacecraft during geomagnetic storms, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, 9744-9757, doi:10.1002/2016JA023145

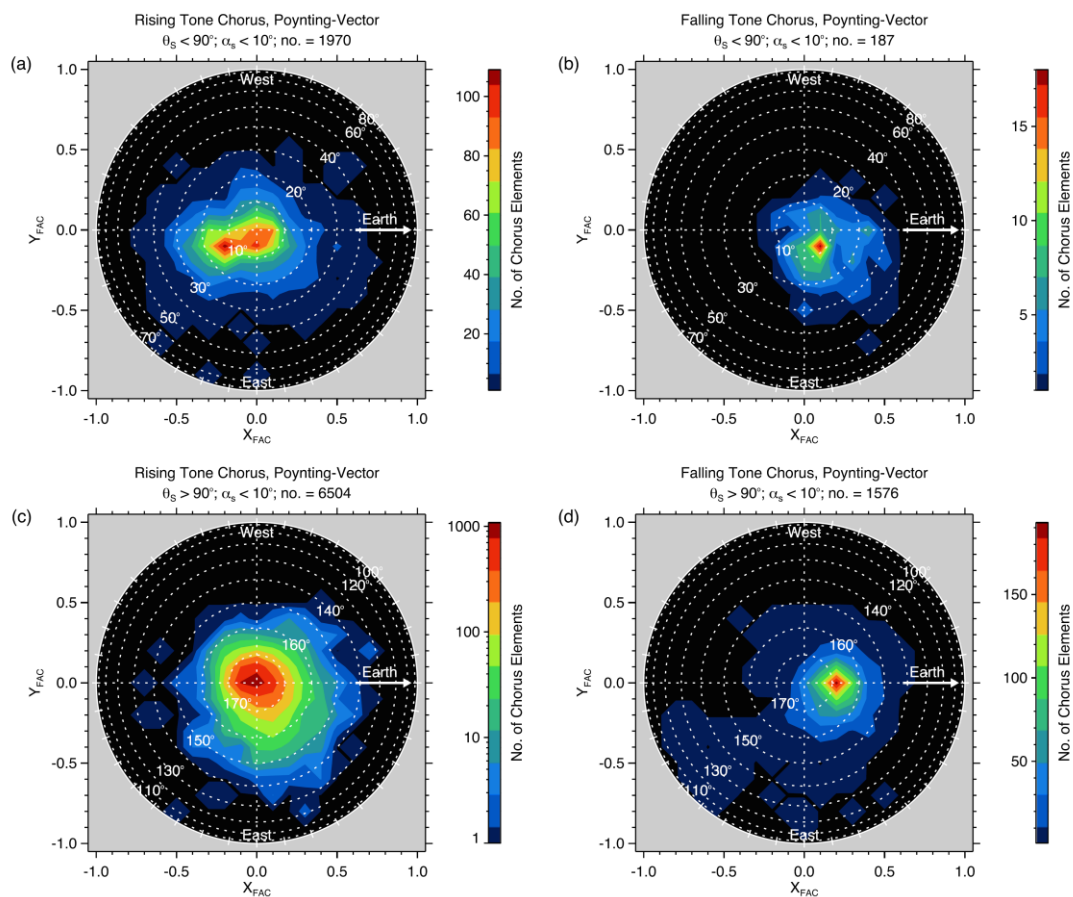
Sarno-Smith, L. K., M. W. Liemohn, R. M. Skoug, **O. Santolik**, et al. (2016), Hiss or equatorial noise? Ambiguities in analyzing suprathermal ion plasma wave resonance, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, 9619–9631, doi:10.1002/2016JA022975



Příklad pozorování rovníkového šumu umělou družicí DEMETER dne 12. dubna 2005. Frekvenčně-časové změny (a) spektrální výkonové hustoty elektrického pole (b) spektrální výkonové hustoty magnetického pole (c) elipticity magnetické polarizace (d) elipticity elektrické polarizace (e-f) směru vlnového vektoru (g-h) směru Poyntingova vektoru.

## 2. Chorus a radiční pásy

Zveřejnili jsme nové výsledky pozorování emisí typu chorus v radičních pásích Země. Chorus se vyznačuje sekvencí stoupavých nebo klesajících tónů elektromagnetických vln na slyšitelných frekvencích a vzniká nelineárními interakcemi těchto vln s elektronovou složkou plazmatu. Urychluje též elektrony ve vnějším Van Allenově radičním pásu na relativistické energie. Pečlivou analýzou vlnového a Poyntingova vektoru těchto emisí, založenou na 6 letech měření družic THEMIS jsme potvrdili, že Poyntingův vektor je většinou téměř rovnoběžný se siločarami magnetického pole Země. Jako první jsme též ukázali, že stoupavé tóny se šíří pod malými úhly od siločar směrem od Země, zatímco klesavé tóny se šíří spíše k Zemi. Tento experimentální výsledek nyní čeká na teoretické vysvětlení.



*Směr Poyntingova vektoru v ploše  $[x, y]$  v souřadném systému magnetického pole Země. Levé panely zobrazují vlastnosti stoupavých tónů emise chorus, pravé panely vlastnosti klesajících tónů. Barevná škála znázorňuje počet případů vstupujících do statistiky.*

### Reference:

Taubenschuss, U., O. Santolik, H. Breuillard, W. Li, and O. Le Contel (2016), Poynting vector and wave vector directions of equatorial chorus, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, doi:10.1002/2016JA023389.

### **Související reference:**

**Santolík, O.**, Multi-dimensional Analysis of Whistler-mode Waves in the Radiation Belt Region, in *Waves, Particles, and Storms in Geospace A Complex Interplay*, Edited by Georgios Balasis, Ioannis A. Daglis, and Ian R. Mann, Oxford University Press, 2016, ISBN 9780198705246.

Li, W., **O. Santolík**, J. Bortnik, R. M. Thorne, C. A. Kletzing, W. S. Kurth, and G. B. Hospodarsky (2016), New chorus wave properties near the equator from Van Allen Probes wave observations, *Geophys. Res. Lett.*, 43,4725-4735, doi:10.1002/2016GL068780.

Parrot, M., **O. Santolík**, and F. Nemeč (2016), Chorus and chorus-like emissions seen by the ionospheric satellite DEMETER, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, 3781-3792, doi:10.1002/2015JA022286.

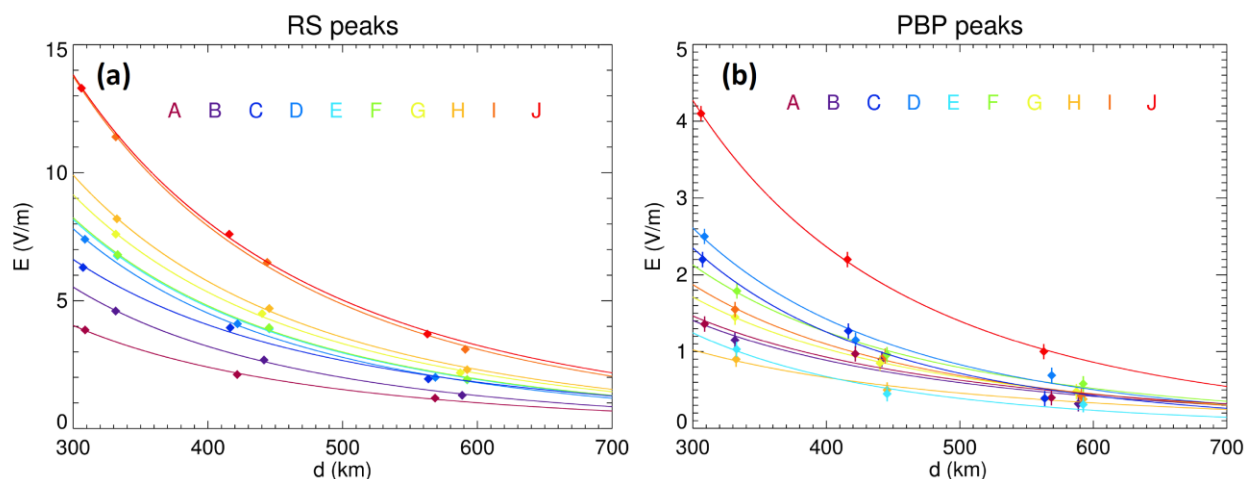
Ripoll, J.-F., G. D. Reeves, G. S. Cunningham, V. Loridan, M. Denton, **O. Santolík**, W. S. Kurth, C. A. Kletzing, D. L. Turner, M. G. Henderson, and A. Y. Ukhorskiy (2016), Reproducing the observed energy-dependent structure of Earth's electron radiation belts during storm recovery with an event-specific diffusion model, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 5616-5625, doi:10.1002/2016GL068869.

Hospodarsky, G. B., W. S. Kurth, C. A. Kletzing, S. R. Bounds, **O. Santolík**, R. M. Thorne, W. Li, T. F. Averkamp, J. R. Wygant, and J. W. Bonnell (2016), Plasma Wave Measurements from the Van Allen Probes, in *Magnetosphere-Ionosphere Coupling in the Solar System*, edited, pp. 127-143, John Wiley & Sons, Inc., doi:10.1002/9781119066880.ch10.

Hartley, D. P., C.A.Kletzing, W. S. Kurth, S. R. Bounds, T. F. Averkamp, G. B. Hospodarsky, J. R. Wygant, J. W. Bonnell, **O. Santolík**, and C. E. J. Watt (2016), Using the cold plasma dispersion relation and whistler mode waves to quantify the antenna sheath impedance of the Van Allen Probes EFW instrument, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, 4590-4606, doi:10.1002/2016JA022501.

### **3. Elektromagnetické projevy iniciační fáze bleskových výbojů**

Analyzovali jsme širokospektrální měření elektromagnetických tzv. iniciačních pulsů předcházejících záporný bleskový výboj typu oblak-země. Zjistili jsme, že se signály mohou šířit ve vlnovodu tvořeném zemí a ionosférou na vzdálenosti přesahující 600 km. Určili jsme empiricky útlum signálu. Zjistili jsme, že útlum (2dB/100km) je stejný pro zpětné výboje i pro iniciační pulsy. Odhadli jsme, že špičkové proudy tekoucí uvnitř bouřkového oblaku během vzniku bleskového výboje mohou dosahovat až 60kA.



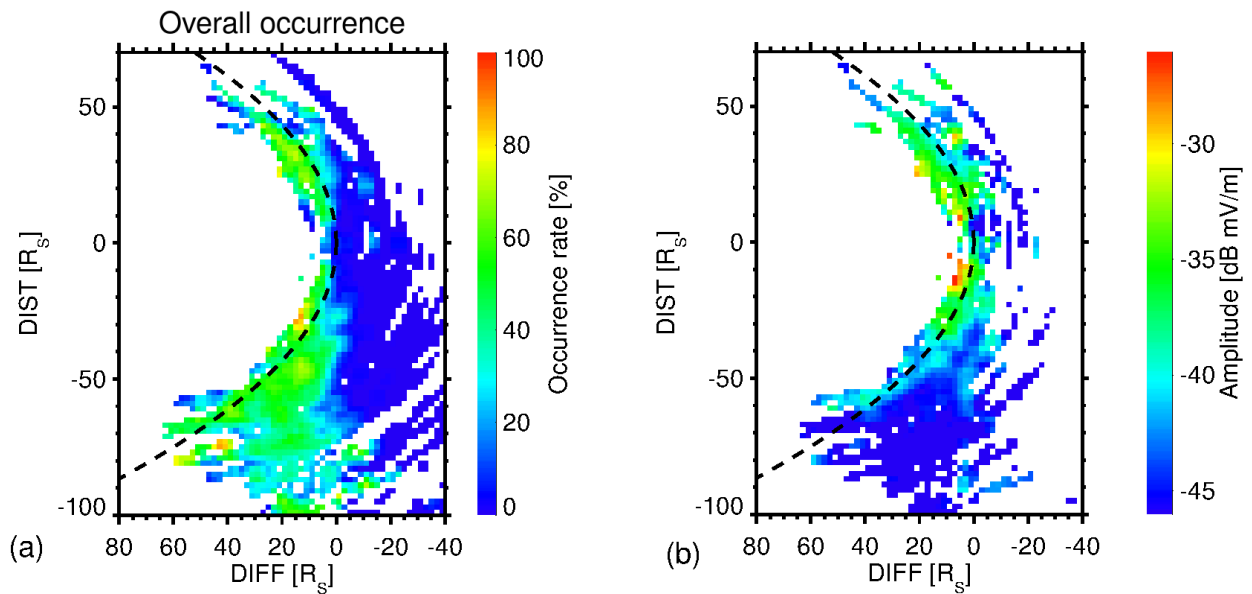
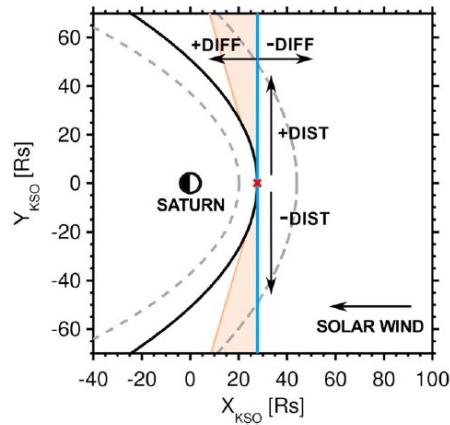
(a) Amplitudy zpětných výbojů a (b) amplitudy příslušných předcházejících dominantních iniciačních pulsů jako funkce vzdálenosti od zdrojového zpětného výboje. Měřené hodnoty jsou znázorněny tečkami, nelineární fit je znázorněn plnou čarou. Jednotlivé případy jsou odlišeny barevně a písmeny A-J vzestupně podle špičkového proudu zpětného výboje odhadnutého bleskovou detekční službou MÉTÉORAGE.

#### Reference:

Kolmašová, I., O. Santolík, T. Farges, S. A. Cummer, R. Lán, and L. Uhlíř (2016), Subionospheric propagation and peak currents of preliminary breakdown pulses before negative cloud-to-ground lightning discharges, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 1382-1391, doi:10.1002/2015GL067364.

#### 4. Vlny v plazmatu v blízkosti Saturnu

Před planetární magnetosférou dochází k zpomalení toku slunečního větru a formování planetární rázové vlny. Elektronky odražené od rázové vlny jsou urychlené a tvoří elektronové svazky, které se šíří zpět proti toku slunečního větru. Tyto elektronové svazky mohou v oblastech nazývaných „foreshock“ generovat intenzivní elektrostatické Langmuirovy vlny. V naší studii jsme se zaměřili na mapování vlnové aktivity, která byla pozorována družicí Cassini v oblastech před rázovou vlnou Saturnu. Použili jsme všechna dostupná data z přístroje Wideband ve frekvenčním pásmu 1 – 10 kHz změřená mezi lety 2004 a 2014. Typické spektrum, které jsme pozorovali, obsahuje jeden intenzivní pík (62% ze všech měření). Zaznamenali jsme také spektra obsahující superpozici dvou (25%) a více (13%) intenzivních píků. Výskyt vln strmě naroste těsně za hranicí foreshocku a dále roste ve směru toku slunečního větru. Spektra obsahující jeden intenzivní pík jsou pozorována napříč celou oblastí, zatímco komplikovanější spektra jsou pozorována dále od hranice foreshocku a blíže směrem k rázové vlně. Vlny jsou nejintenzivnější na hranici foreshocku a jejich intenzita slábne směrem podél toku slunečního větru a směrem dále od rázové vlny.



Výsledky pozorování družice Cassini mezi lety 2004 a 2014. Všechna pozorování jsou zobrazena ve foreshockovém souřadném systému znázorněném nahoře. Dole: (a) Globální četnost Langmuirových vln před rázovou vlnou Saturnu. (b) Distribuce amplitud pozorovaných vln. Poloha modelu rázové vlny před Saturnem je zobrazen černou čárkovanou čarou.

#### Reference:

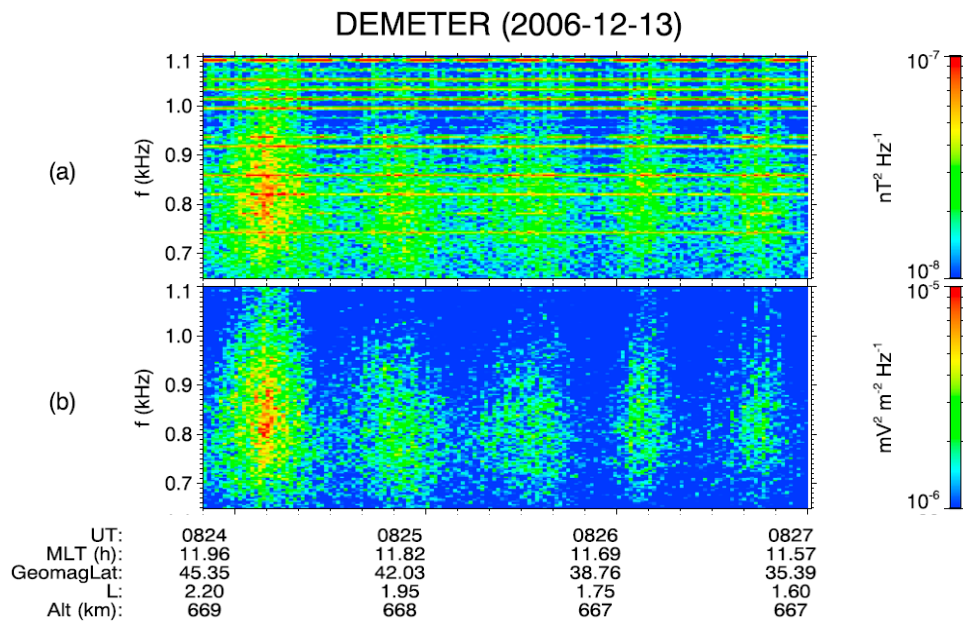
**Píša, D., O. Santolík,** G. B. Hospodarsky, W. S. Kurth, D. A. Gurnett, and **J. Souček** (2016), Spatial distribution of Langmuir waves observed upstream of Saturn's bow shock by Cassini, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, 7771–7784, doi:10.1002/2016JA022912.

#### Související reference:

Menietti, J. D., P. H. Yoon, **D. Píša,** S.-Y. Ye, **O. Santolík,** C. S. Arridge, D. A. Gurnett, and A. J. Coates (2016), Source Region and Growth Analysis of Narrowband Z-mode Emission at Saturn, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, doi:10.1002/2016JA022913.

## 5. Kvaziperiodické emise

Analyzovali jsme také tzv. kvaziperiodické emise pozorované ve frekvenčním pásmu 0.5-4kHz družicí DEMETER. Zjistili jsme, že se emise šíří téměř paralelně s pozadovým magnetickým polem ve vyšších geomagnetických šířkách a že se úhel vlnového vektoru vzhledem k magnetické siločáře stává šikmým až kolmým, když je emise pozorována v blízkosti geomagnetického rovníku. Toto schéma šíření dovoluje emisi proniknout skrz ionosféru a je konsistentní s hypotézou, že zdroj kvaziperiodické emise se nachází v oblasti geomagnetického rovníku ve větších radiálních vzdálenostech od Země.



*Spektrální výkonová hustota elektrického (a) a magnetického (b) pole emise naměřená 13.12.2006.*

### Reference:

**Hayosh, M., F. Nemeč, O. Santolík,** and M. Parrot (2016), Propagation properties of quasiperiodic VLF emissions observed by the DEMETER spacecraft, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 1007-1014, doi:10.1002/2015GL067373.

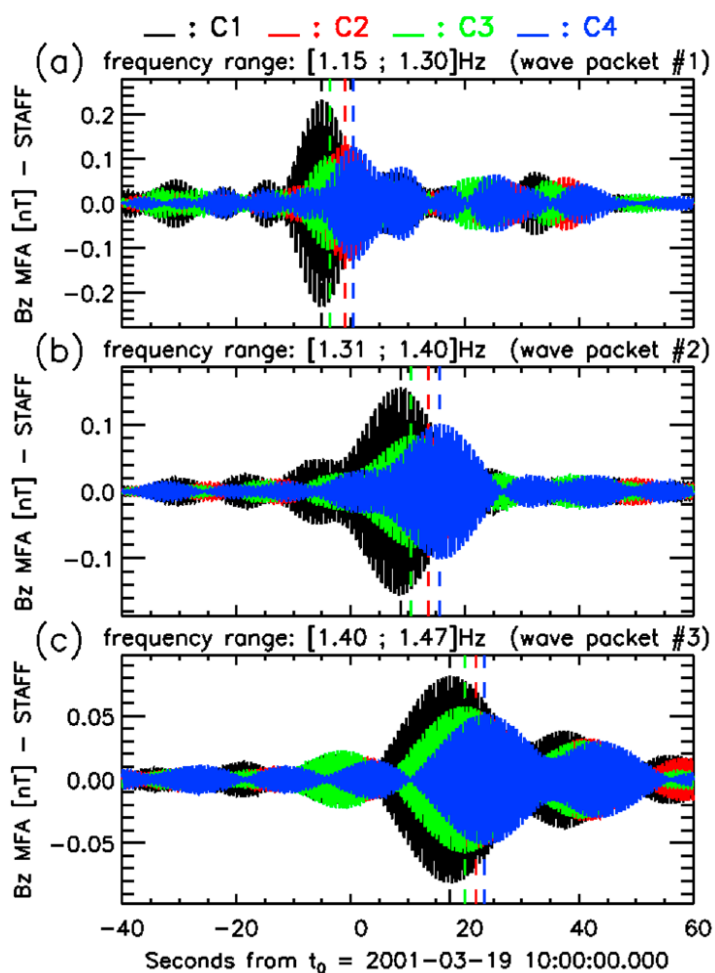
### Související reference:

Nemeč, F., G. Hospodarsky, J. S. Pickett, **O.Santolík,** W. S.Kurth, and C.Kletzing (2016), Conjugate observations of quasiperiodic emissions by the Cluster, VanAllenProbes,andTHEMIS spacecraft, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, 7647-7663, doi:10.1002/2016JA022774.

Martinez-Calderon, K., K. Shiokawa, Y. Miyoshi, K. Keika, M. Ozaki, I. Schofield, M. Connors, C.Kletzing, **M. Hanzelka, O. Santolík,** and W. S. Kurth. (2016), ELF/VLF wave propagation at subauroral latitudes: Conjugate observation between the ground and Van Allen Probes A, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, doi:10.1002/2015JA022264.

## 6. Elektromagnetické iontové cyklotronové vlny

Analyzovali jsme elektromagnetické emise typu EMIC (elektromagnetická iontově cyklotronová emise) zaznamenanou všemi čtyřmi družicemi Cluster krátce poté, co se odrazila od plasmosféry. Zjistili jsme, že se emise šířila směrem k Zemi a k magnetickému rovníku grupovou rychlostí 200 km/s.



*Vlnová forma složky magnetického pole rovnoběžného s pozadovým magnetickým polem zaznamenaná družicemi C1-C4 ve třech různých frekvenčních pásmech (a-c).*

### Reference:

**Grison, B.,** F. Darrouzet, **O. Santolík,** N. Cornilleau-Wehrlin, and A. Masson (2016), Cluster observations of reflected EMIC-triggered emission, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 4164-4171, doi:10.1002/2016GL069096.

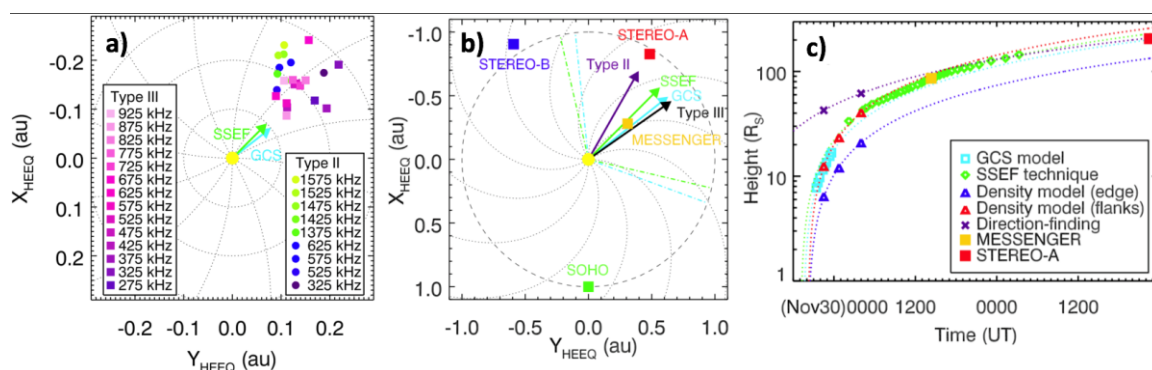
### Související reference:

Sigsbee, K., C. A. Kletzing, C. W. Smith, R. MacDowall, H. Spence, G. Reeves, J. B. Blake, D. N. Baker, J. C. Green, H. J. Singer, C. Carr, and **O. Santolík** (2016), Van Allen Probes, THEMIS, GOES, and Cluster observations of EMIC waves, ULF pulsations, and an electron flux dropout, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, 1990-2008, doi:10.1002/2014JA020877.



## 7. Sluneční vítr a rádiové emise

Sluneční vítr je neustálý proud plazmatu pocházející z horních vrstev sluneční atmosféry. Analyzovali jsme a interpretovali data získaná z družic se zaměřením na vlnové emise spojené se slunečními erupcemi a výrony koronální hmoty (Coronal Mass Ejection, CME). Rádiové emise typu III jsou generovány svazky horkých elektronů unikajících z koróny během zvýšené sluneční aktivity. Tyto elektronové svazky excitují v meziplanetárním prostoru elektrostatické Langmuirovy vlny na lokální plazmové elektronové frekvenci  $f_{pe}$  díky „bump-on-tail“ nestabilitě. Langmuirovy vlny mohou být konvertovány na rádiové emise typu III na  $f_{pe}$  anebo dvojnásobku  $f_{pe}$ . Rádiové emise typu II jsou generovány stejným mechanismem na rázových vlnách spojených se šířením CME. Zkoumali jsme šíření CME z 29. listopadu 2013 za použití rádiových, optických, a plazmových měření ze čtyř družic (STEREO-A, STEREO-B, SOHO, a MESSENGER). Pomocí rádiové triangulace jsme poprvé úspěšně lokalizovali zdrojové oblasti rádiových emisí typu II pozorovaných dvěma identickými družicemi STEREO. Naše práce ukazuje, jak se vzájemně doplňují rádiová triangulace a optické techniky při rekonstrukci šíření CME s potenciálním využitím pro lepší předpověď kosmického počasí. Též jsme studovali interakci dvou CME z 22. května 2013. Tato interakce vedla ke generaci rádiové emise typu II, jež byla lokalizována v blízkosti rázové vlny spojené se šířením prvního CME. Rovněž byl pozorován zvýšený rozptyl rádiových vln na nižších frekvencích spojený pravděpodobně s náhodnými fluktuacemi hustoty slunečního větru.



a) Zdrojové oblasti rádiových emisí typu II (kolečka) a typu III (čtverečky) v rovině slunečního rovníku. Šipky ukazují směr šíření CME získaný z optických modelů GCS a SSEF. b) Srovnání směrů šíření CME z optických měření s průměrnými polohami rádiových emisí typu II a typu III. c) Kinematika CME z optických měření a polohy rádiových zdrojů. Tečkované čáry jsou lineární modely.

### Reference:

Krupař, V., J. P. Eastwood, O. Krupařová, O. Santolík, J. Souček, J. Magdalenic, A. Vourlidas, M. Maksimovic, X. Bonnin, V. Bothmer, N. Mrotzek, A. Pluta, D. Barnes, J. A. Davies, J. C. Martínez Oliveros, and S. D. Bale (2016), An analysis of interplanetary solar radio emissions associated with a coronal mass injection, *The Astrophysical Journal Letters*, 823:L5 (7pp), doi: 10.3847/2041-8205/823/1/L5.

### Související reference:

Mäkelä, P., Gopalswamy, N., Reiner, M. J., Akiyama, S., and Krupař, V. (2016), Source regions of the type II radio burst observed during a CME–CME interaction on 2013 May 22, *Astrophysical Journal*, 827, 2, pp. 141/1-141/7.

## **Oddělení kosmické fyziky, Ústav fyziky atmosféry AV ČR v roce 2016**

1. Marek Basovník, PhD student, částečný úvazek 60%
2. Benjamin Grison, vědecký pracovník
3. Michajlo Hajoš, vědecký pracovník
4. Miroslav Hanzelka, student, částečný úvazek 20%, od 1. května
5. Miroslav Horký, postdoktorand
6. Zuzana Sochorová (roz. Hrbáčková), PhD studentka, částečný úvazek 70% do 30. května
7. Petr Kašpar, postdoktorand
8. Vratislav Krupař, vědecký pracovník, částečný úvazek 20% do 31. října, 100% od 1. listopadu
9. Oksana Krupařová, vědecká pracovnice
10. Eva Macúšová, postdoktorandka, do 31. srpna
11. Radek Lán, odborný pracovník výzkumu a vývoje
12. Martin Pauer, odborný pracovník výzkumu a vývoje, částečný úvazek 20% od 15. srpna
13. David Píša, postdoktorand
14. Martin Popek, pozorovatel, částečný úvazek 25% od 1. srpna
15. Ondřej Santolík, vedoucí vědecký pracovník, vedoucí oddělení
16. Jan Souček, vedoucí vědecký pracovník, zástupce vedoucího oddělení
17. Ulrich Taubenschuss, vědecký pracovník
18. Alexander Tomori, PhD student, částečný úvazek 50%
19. Hana Zemanová, PhD studentka, částečný úvazek 50%