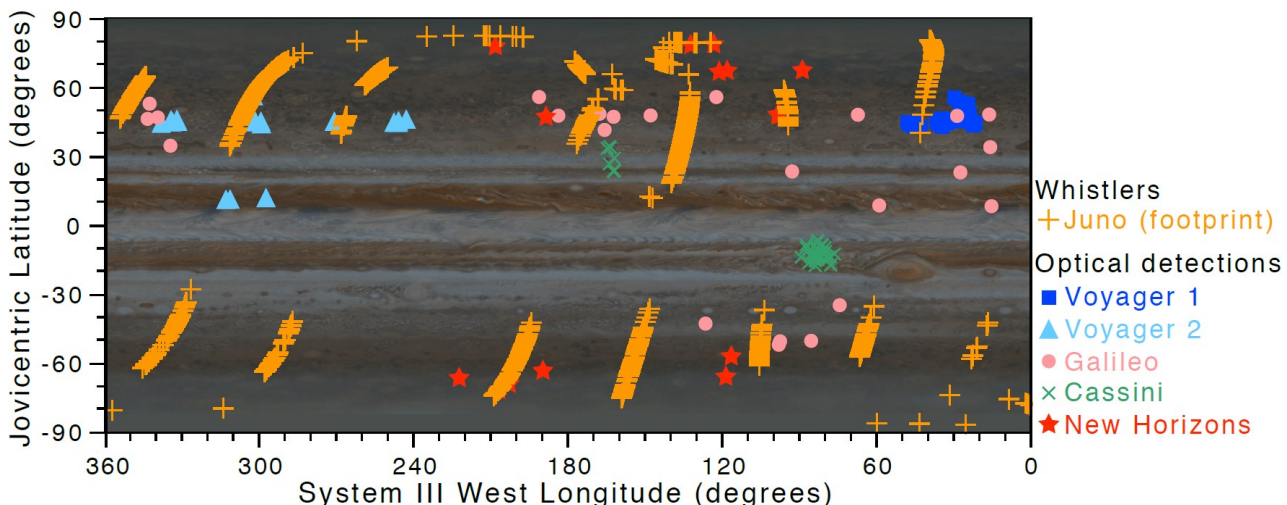


Výsledky Oddělení kosmické fyziky Ústavu fyziky atmosféry AV ČR zveřejněné v roce 2018

1. Elektromagnetické projevy bleskových výbojů na planetě Jupiter

Analyzovali jsme desítky tisíc časově frekvenčních spektrogramů elektromagnetických vln naměřených přístrojem WAVES na palubě družice Juno během průletů sondy v těsné blízkosti planety Jupiter. Našli jsme přes 1600 tzv. rychlých hvizdů, signálů generovaných bleskovými výboji v oblacích planety Jupiter. Zjistili jsme, že se hvizdy zaznamenané sondou Juno podstatně liší od hvizdů zachycených v minulosti sondou Voyager (pomocí kterých byl původně odhalen výskyt blesků na planetě Jupiter). Záznamy rychlých hvizdů shromážděné během osmi blízkých průletů sondy Juno okolo planety představují dosud nejrozsáhlejší soubor měření blesků u Jupiteru. Zjistili jsme, že se více blesků vyskytuje na severní polokouli a že se četnost blesků překvapivě blíží četnosti pozemských blesků.



Detekce blesků pomocí pozorování elektromagnetických vln ve formě rychlých hvizdů na palubě sondy Juno v porovnání s optickými pozorováními předchozích sond (Voyager 1, Voyager 2, Galileo, Cassini, New Horizons).

Reference:

Kolmašová, I., Imai, M., Santolík, O., Kurth, W. S., Hospodarsky, G. B., Gurnett, D. A., Connerney, J. E. P., Bolton, S.J. (2018a), Discovery of rapid whistlers close to Jupiter implying lightning rates similar to those on Earth, *Nature Astronomy*, 2, 7, pp. 544-548.

Související reference:

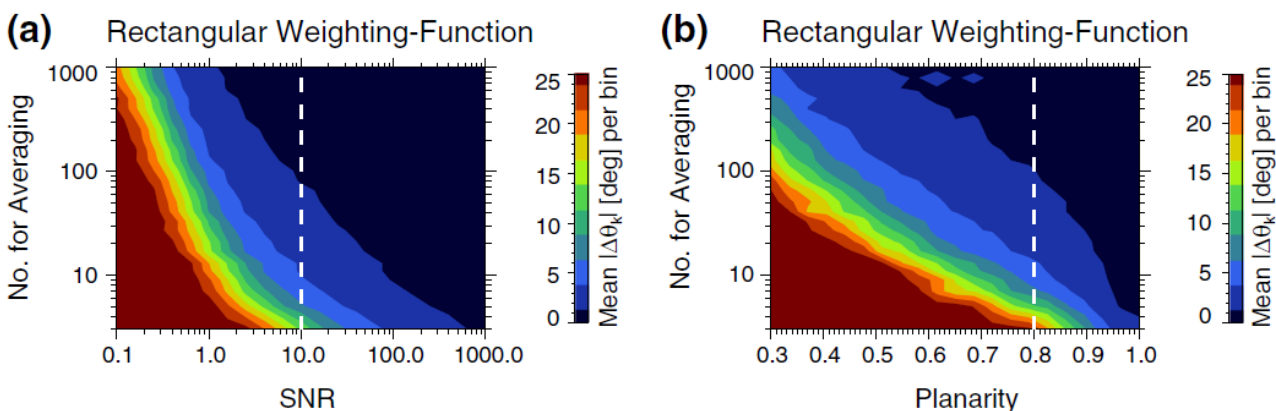
Brown, S., Janssen, M., Adumitroaie, V., Atreya, S., Bolton, S., Gulkis, S., Ingersoll, A., Levin, S., Li, Ch., Li, L., Lunine, J., Misra, S., Orton, G., Steffes, P., Tabataba-Vakili, F., **Kolmašová, I.**, Imai, M., **Santolík, O.**, Kurth, W., Hospodarsky, G., Gurnett, D., Connerney, J. (2018), Prevalent lightning sferics at 600 megahertz near Jupiter's poles, *Nature*, 558, 87, pp. 87-90.

Imai, M., **Santolík, O.**, Brown, S. T., **Kolmašová, I.**, Kurth, W. S., Janssen, M. A., et al. (2018), Jupiter lightning-induced whistler and sferic events with waves and MWR during Juno perijoves. *Geophysical Research Letters*, 45, 7268-7276. <https://doi.org/10.1029/2018GL078864>.

Kurth, W. S., Mauk, B. H., Elliott, S. S., Gurnett, D. A., Hospodarsky, G. B., **Santolík, O.**, et al. (2018). Whistler mode waves associated with broadband auroral electron precipitation at Jupiter. *Geophysical Research Letters*, 45, 9372-9379. <https://doi.org/10.1029/2018GL078566>

2. Elektromagnetické emise hvězdného módu generované nestabilitami kosmického plazmatu

V teoretické práci (Taubenschuss a Santolík, 2018) jsme zjišťovali, jak velkých nepřesností se dopouštíme při stanovování parametrů šíření vlnových módů elektromagnetických emisí základní metodou odhadu stupně polarizace vlny (poměr výkonu polarizované části emise k celkovému výkonu emise). Tato metoda se totiž často používá tzv. in-situ pro stanovení vlastností pozorovaných elektromagnetických vln metodou SVD (Singular Value Decomposition). Představili jsme rozdíly mezi použitím čistě reálné a komplexní spektrální matice a porovnali teoretické výsledky s měřením. Navrhli jsme metodu použitelnou pro implementaci do palubních družicových algoritmů.



Absolutní hodnota chyby určení úhlu normálového vlnového vektoru znázorněná barevně jako funkce (a) poměru užitečného signálu a šumu či (b) rovinnosti vlny. Na ose x je znázorněn počet frekvenčních intervalů, které vstupovaly do procedury spektrálního průměrování.

Reference:

Taubenschuss, U. and Santolík, O. (2018), Wave Polarization analyzed by Singular Value Decomposition of the Spectral Matrix in the Presence of Noise, *Surveys in Geophysics*, <https://doi.org/10.1007/s10712-018-9496-9>.

Související reference:

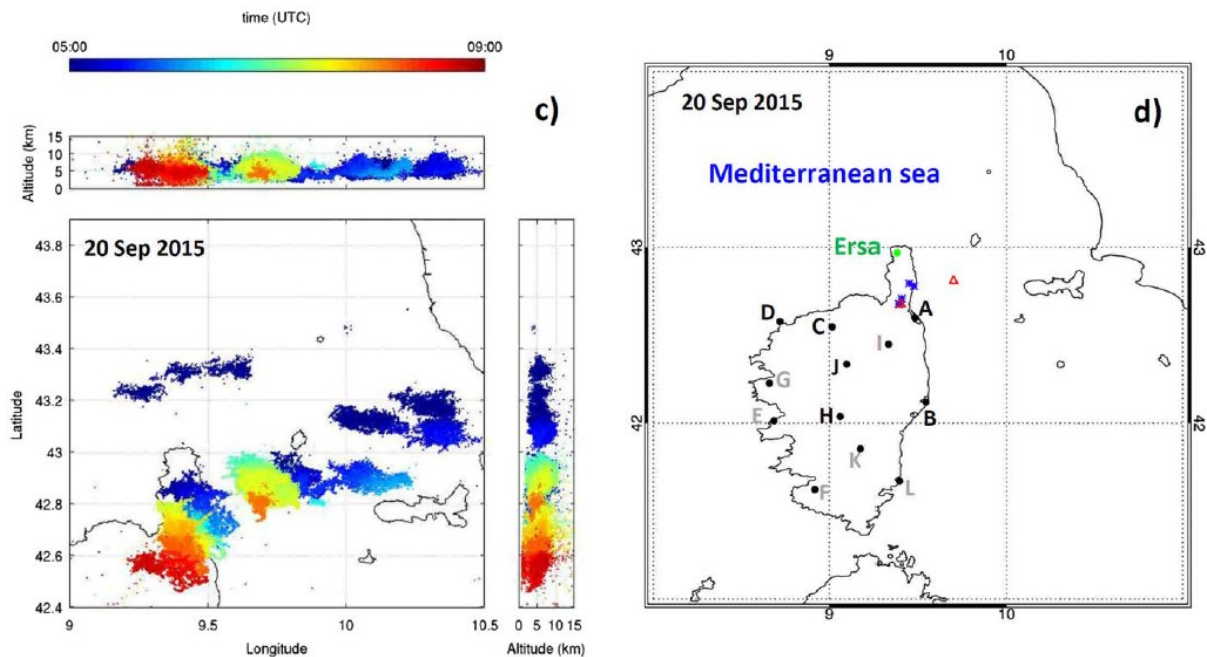
Němec, F., Hospodarsky, G. B., Bezdeková, B., Demekhov, A. G., Pasmanik, D., **Santolík, O.**, Kurth, W. S., and Hartley, D. (2018a), Quasiperiodic whistler mode emissions observed by the Van Allen Probes spacecraft. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123, 8969-8982. <https://doi.org/10.1029/2018JA026058>.

Němec, F., **Santolík, O.**, Boardsen, S. A., Hospodarsky, G. B., & Kurth, W. S. (2018b), Equatorial noise with quasiperiodic modulation: Multipoint observations by the Van Allen Probes spacecraft. *Journal of Geophysical Research*, 123, 4809-4819. <https://doi.org/10.1029/2018JA025482>.

Němec, F., **Santolík, O.**, Hayosh, M., Darrouzet, F., & Cornilleau-Wehrin, N. (2018c), Detailed properties of equatorial noise with quasiperiodic modulation. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123, 5344-5355. <https://doi.org/10.1029/2018JA025382>.

3. Elektromagnetické signály provázející vznik přírodních bleskových výbojů na Zemi

Analyzovali jsme širokospektrální záznamy elektromagnetických pulsů vyzařovaných vnitrooblačovými proudy během iniciační fáze přírodního bleskového výboje v atmosféře Země. Tyto záznamy jsme porovnávali se záznamy stejných procesů detekovanými polem úzkopásmových přijímačů (tzv. LMA - Lightning Mapping Array) pracujících v pásmu 60-66 MHz. Pole LMA je schopné díky současné detekci zdrojů vysokofrekvenčních signálů (vyzařovaných vnitrooblačovými procesy) na více stanicích určit jejich polohu. Nenašli jsme téměř žádnou koincidenci mezi pulsy zaznamenanými širokospektrálním přijímačem a vysokofrekvenčními zdroji detekovanými polem LMA, což bylo v souladu s všeobecně přijímanou hypotézou, že procesy generující vnitrooblačové proudy a procesy vyzařující zdroje vysokofrekvenčního záření jsou pravděpodobně nezávislé. Poté, co jsme detailně prozkoumali záznamy z jednotlivých stanic LMA, jsme došli k překvapivému zjištění, že VHF záření zaznamenané jednotlivými stanicemi je velmi intenzivní a velmi dobře koreluje s iniciačními pulzy naměřenými širokospektrálním analyzátořem. Našli jsme, že nedostatek korelace lokalizovaných VHF zdrojů s iniciačními pulsy způsobuje příliš velké množství VHF zdrojů zaznamenaných na různých stanicích a automatizovaná lokalizační procedura není schopná polohu VHF zdrojů určit. Časovou shodu signálů naměřených v různých frekvenčních pásmech jsme vysvětlili extrémně rychlým skokovým prodlužováním vnitrooblačových proudových kanálů, ke kterému dochází na úplném začátku vývoje bleskového výboje.



Vlevo: Mapa lokalizovaných zdrojů VHF záření zaznamenaná dne 20. září 2015 během bouřky. Barevná škála se mění od modré po červenou v závislosti na čase pozorování. Vpravo: Konfigurace měřících přístrojů. (zelený kroužek - širokospektrální měření; černé kroužky - stanice LMA; červené trojúhelníky a modré křížky - IC a CG blesky zaznamenané bleskovou detekční sítí Meteoráge.

Reference:

Kolmašová, I., Santolík, O. Defer, E. Rison, W., Coquillat, S., Pedebay, S., Lán, R., Uhlíř, L., Lambert, D. Pinty, J.-P., Prieur, S. & Pont, V. (2018) Lightning initiation: Strong pulses of VHF radiation accompany preliminary breakdown. *Scientific Reports* 8, 3650, doi:10.1038/s41598-018-21972-z.

Související reference:

Marshall, T., Bandara, S., Karunarathne, N., Karunarathne, S., **Kolmašová, I.**, Siedlecki, R., Stolzenburg, M. (2018): A study of lightning flash initiation prior to the first initial breakdown pulse, *Atmospheric Research*, 217, 1, pp. 10-23.

Bór, J., Zekó, Z., Hegedüs, T., Jäger, Z., Mlynarczyk, J., **Popek, M.**, & Betz, H. D. (2018). On the series of +CG lightning strokes in dancing sprite events. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123, 11,030–11,047. <https://doi.org/10.1029/2017JD028251>.

Špačková, H., Kolmašová, I., Santolík, O., Popek, M., and Bor, J. (2018), Properties of Sprite Parent Lightning for a Storm on 6 August 2013, in *WDS'18 Proceedings of Contributed Papers — Physics* (eds. J. Safrankova and J. Pavlu), Prague, Matfyzpress, pp. 93–98, 2018. ISBN 978-80-7378-374-7.

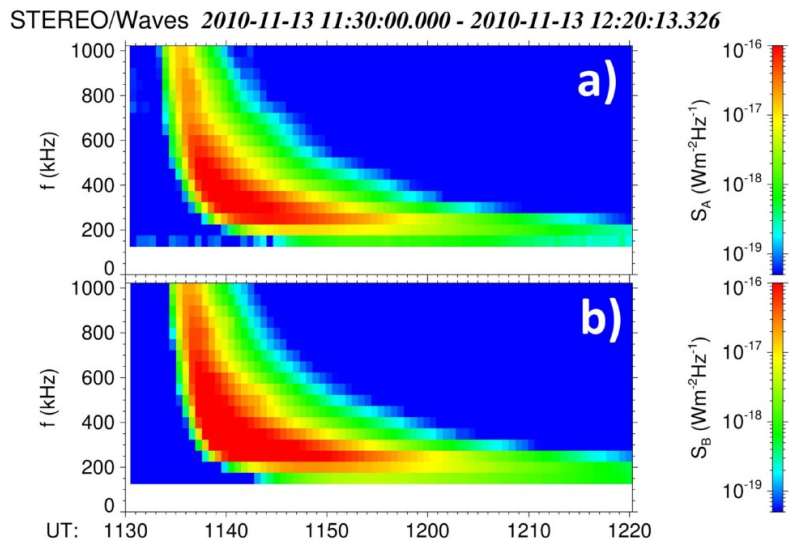
Záhlava, J., Nemeč, F., **Santolík, O., Kolmašová, I.**, Parrot, M., & Kouba, D. (2018a). Selective attenuation of lightning-generated whistlers at extra low frequencies: DEMETER spacecraft observations. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123. <https://doi.org/10.1029/2018JA025879>.

Záhlava, J., Nemeč, F., **Santolík, O., Kolmašová, I.**, Hospodarsky, G. B., Parrot, M., et al. (2018b). Longitudinal dependence of whistler mode electromagnetic waves in the Earth's inner magnetosphere. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123, 6562-6575. <https://doi.org/10.1029/2018JA025284>.

Záhlava, J., Nemeč, F., Pincon, J. L., **Santolík, O., Kolmasová, I.**, & Parrot, M. (2018c). Whistler influence on the overall very low frequency wave intensity in the upper ionosphere. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123, 5648-5660. <https://doi.org/10.1029/2017JA025137>.

4. Radiové meziplanetární emise typu III a fluktuační elektronové hustoty ve slunečním větru

Zabývali jsme se analýzou vlastností meziplanetárních radiových emisí typu III, které jsou generovány rychlými elektronovými svazky pocházejícími z oblastí přepojování magnetických siločar v slunečním větru. Statisticky jsme zpracovali 152 jednoduchých izolovaných radiových emisí typu III detekovaných dvojicí družic STEREO v meziplanetárním prostoru. V časově frekvenčních spektrogramech jsme našli exponenciální závislost poklesu intenzity emisí na frekvenci. Pomocí metody Monte Carlo jsme simulovali vliv náhodných fluktuací elektronové hustoty na změny intenzity emise. Charakteristický exponenciální průběh poklesu intenzity emise jsme simulacemi ověřili a vysvětlili rozptylem vln na nehomogenitách hustoty. Naše výsledky naznačují, že se relativní fluktuační elektronové hustoty ve slunečním větru pohybují okolo 6 až 7 procent ve velkém rozsahu vzdáleností od Slunce. Vzhledem k tomu, že je šíření emisí typu III ovlivněno těmito fluktuacemi, může analýza vlastností radiových emisí typu III posloužit jako diagnostický nástroj pro studium plazmatu slunečního větru.



Hustota radiového toku emise typu III naměřená družicemi (a) STEREO-A a (b) STEREO-B dne 13. listopadu 2005.

Reference:

Krupar, V., M. Maksimovic, E. P. Kontar, A. Zaslavsky, **O. Santolik, J. Soucek, O. Kruparova**, J. P. Eastwood, and A. Szabo (2018). Interplanetary Type III Bursts and Electron Density Fluctuations in the Solar Wind. *Astrophysical Journal*, 857:82 (7pp), 2018 April 20. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/aab60f>.

Související reference:

Grison, B., J. Soucek, V. Krupar, D. Písa, O. Santolík, U. Taubenschuss, and F. Nemeč (2018a). Shock deceleration in interplanetary coronal mass ejections (ICMEs) beyond Mercury's orbit until one AU. *J. Space Weather Space Clim.* 2018, 8, A54. <https://doi.org/10.1051/swsc/2018043>.

Erard, S., Cecconi, B., Le Sidaner, P., Rossi, A. P., Capria, M.T., Schmitt, B., Génot, V., André, N., Vandaale, A. C., Scherf, M., Hueso, R., Määtänen, A., Thuillot, W., Carry, B., Achilleos, N., Marmo, C., **Santolík, O.**, Benson, K., Fernique, P., Beigbeder, L., Millour, E., Rousseau, B., Andrieu, F., Chauvin, C., Minin, M., Ivanoski, S., Longobardo, A., Bollard, P., Albert, D., Gangloff, M., Jourdan, N., Bouchemit, M., Glorian, J. M., Trompet, L., Al-Ubaidi, T., Juaristi, J., Desmars, J., Guio, P., Delaa, O., Lagain, A., **Soucek, J., Píša, D.** (2018), VESPA: A community-driven Virtual Observatory in Planetary Science, *Planetary and Space Science*, roc.150, pp. 65-85.

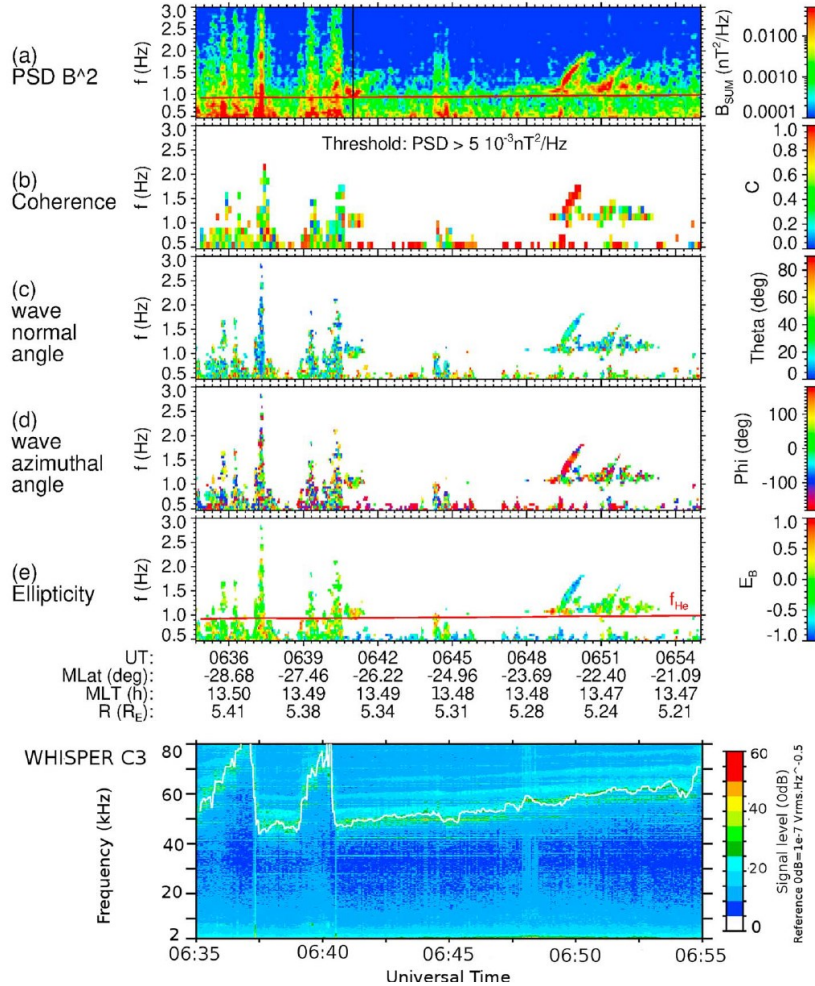
André, N., Grande, M., Achilleos, N., Barthélémy, M., Bouchemit, M., Benson, K., Blelly, P. L., Budnik, E., Caussariou, S., Cecconi, B., Cook, T., Génot, V., Guio, P., Goutenoire, A., **Grison, B.**, Hueso, R., Indurain, M., Jones, G. H., Lilensten, J., Marchaudon, A., Matthiä, D., Opitz, A., Rouillard, A., Stanislawski, I., **Souček, J.**, Tao, C., Tomasik, L., Vaubaillon, J. (2018), Virtual Planetary Space Weather Services offered by the Europlanet H2020 Research Infrastructure, *Planetary and Space Science*, 150, pp. 50-59.

Bocchialini, K., **Grison, B.**, Menvielle, M., Chambodut, A., Cornilleau-Wehrlin, N., Fontaine, D., Marchaudon, A., Pick, M., Pitout, F., Schmieder, B., Régnier, S., Zouganelis, I., (2018), Statistical Analysis of Solar Events Associated with Storm Sudden Commencements over One Year of Solar Maximum During Cycle 23: Propagation from the Sun to the Earth and Effects, *Solar Physics*, 293, 5.

5. Stoupavé tóny elektromagnetické emise typu EMIC v plazmosferických vlečkách

Ve studii Grison et al. (2018b) jsme hledali elektromagnetické vlnové emise typu EMIC (ElectroMagnetic Ion Cyclotron) v blízkosti tzv. plazmosférických vleček. Použili jsme seznam 189 průchodů družic Cluster plazmosférickými vlečkami a analyzovali vlastnosti emisí typu EMIC, které jsme našli v záznamech družic Cluster naměřených ve frekvenční oblasti pod protonovou cyklotronovou frekvencí. Zaměřili jsme se především na úzkopásmové emise, které se vyznačují rostoucí frekvencí emise. Zjistili jsme, že se tento typ tzv. stoupavých tónů vyskytuje pouze v úzkém rozsahu magnetických šířek mezi 17 a 35 stupni. Výsledky jsme také potvrdili simulací metodou ray tracing.

C3-STAFF / Plume#126 Crossing#736 / 2005-08-16 06:35 - 06:55



Případová studie pozorování úzkopásmových emisí typu EMIC přístrojem STAFF-SC na palubě družice Cluster C3 v blízkosti plazmosférické vlečky z 16. srpna 2005. Jednotlivé panely shora znázorňují (a) spektrální výkonovou hustotu magnetického pole; (b) koherenci; (c) normálový úhel vlnového vektoru; (d) azimutální úhel vlnového vektoru; (e) elipticitu. Spodní panel ukazuje elektromagnetickou emisi s frekvencí odpovídající plazmové frekvenci (měření přístroje WHISPER), ze které se dá určit lokální elektronová hustota a identifikovat přítomnost plazmosférických vleček.

Reference:

Grison, B., Hanzelka, M., Breuillard, H., Darrouzet, F., **Santolík, O.,** Cornilleau-Wehrin, N., & Dandouras, I. (2018b). Plasmaspheric plumes and EMIC rising tone emissions. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123, 9443-9452. <https://doi.org/10.1029/2018JA025796>.

Související reference:

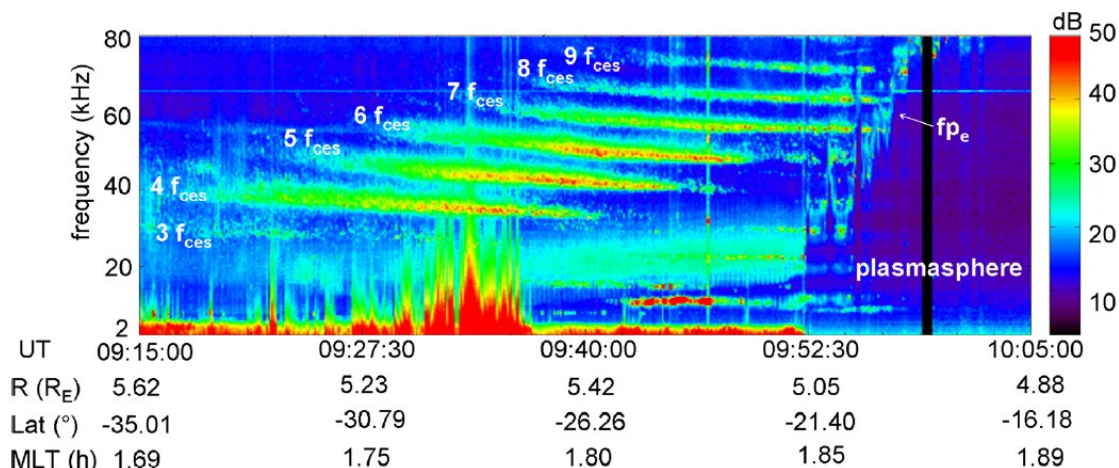
Hartley, D. P., Kletzing, C. A., **Santolík, O.,** Chen, L., & Horne, R. B. (2018). Statistical properties of plasmaspheric hiss from Van Allen Probes observations. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123, 2605-2619. <https://doi.org/10.1002/2017JA02459.3>

Tsurutani, B. T., Park, S. A., Falkowski, B. J., Lakhina, G. S., Pickett, J. S., Bortnik, J., Hospodarsky, G., **Santolík, O.**, Parrot, M., Henri, P., and Hajra, R. (2018). Plasmaspheric hiss: Coherent and intense. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123. <https://doi.org/10.1029/2018JA025975>.

Hartley, D. P., Kletzing, C. A., De Pascuale, S., Kurth, W. S., & **Santolík, O.** (2018), Determining plasmaspheric densities from observations of plasmaspheric hiss. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123, 6679-6691. <https://doi.org/10.1029/2018JA025658>.

6. Částicové simulace

Pomocí PIC (Particle In Cell) simulací jsme hledali způsob, kterým dochází ke konverzi elektrostatických a elektromagnetických vln vlivem svazkové nestability vznikající na gradientu hustoty. V hustém prostředí jsme za použití svazkové nestability vygenerovali elektronové Bernsteinovy módy a studovali jsme časový vývoj jejich vlnových spekter, rozdělení rychlostí, změny Poyntingova vektoru a změny elektrické a magnetické energie vlny během konverze. Došli jsme k závěru, že tento proces konverze může být zdrojem elektromagnetických vln, které jsou běžně detekovány přijímači na palubách družic pohybujících se v hustotního gradientu poblíž plazmopauzy.



Časově frekvenční spectrogram emise typu netermální continuum pozorované přístrojem WHISPER na palubě družice Cluster2 dne 15. února 2006. Intenzita elektrického pole vlny je vyznačena barevnou škálou a udávána v dB nad úrovní $10^{-8} \text{ mV}_{\text{rms}}^2/\text{Hz}$.

Reference:

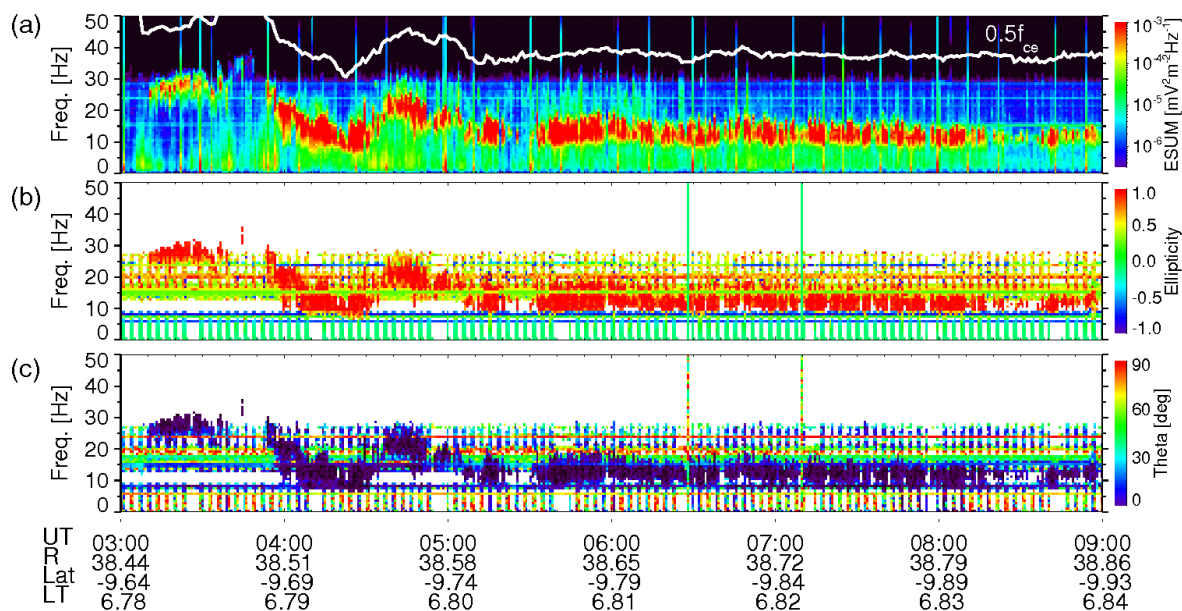
Horký, M., Y. Omura, and **O. Santolík**, Particle simulation of electromagnetic emissions from electrostatic instability driven by an electron ring beam on the density gradient, *Physics of Plasmas* 25, 042905 (2018); <https://doi.org/10.1063/1.5025912>.

Související reference:

Tichý, M., Petin, A., Kudrna, P., Horký, M., Mazouffre, S., (2018), Electron energy distribution function in a low-power Hall thruster discharge and near-field plume, Physics of Plasmas, 25, 6.

7. První pozorování elektromagnetické emise typu “lví řev” v plazmatickém okolí planety Saturn

Planetární magnetosféra představuje překážku pro proudění nabitých částic slunečního větru šířících se meziplanetárním prostorem. Před planetární magnetosférou dochází k zpomalení toku částic slunečního větru a formování planetární rázové vlny. Přechodová oblast mezi rázovou vlnou a vnější hranicí magnetosféry, v které dochází k tomuto zpomalení, se nazývá magnetosheath. V této oblasti může docházet v důsledku nestabilit k vzniku elektromagnetických vln. Ukázali jsme první detekci intenzivní vlnové emise v této přechodové oblasti před planetou Saturn.



Data z vlnového přístroje WFR/RPWS umístěného na palubě družice Cassini naměřená 3.7.2005. (a) Suma výkonové spektrální hustoty dvou komponent elektrického pole do frekvence 50 Hz. Bílá čára označuje polovinu elektronové cyklotronové frekvence. (b) Elipticita vlnové polarizace vypočtená z magnetického pole, +1 pro pravotočivé a -1 pro levotočivé kruhově polarizované vlny. (c) Polární úhel vlnové normály vzhledem ke statickému magnetickému poli, 0° pro vlnový vektor paralelní s magnetickým polem.

Tato emise je pozorovaná vlnovým přístrojem WFR/RPWS umístěným na palubě družice Cassini po více než jedenáct hodin měření v ranním sektoru magnetosheathu (magnetický lokální čas ~06:45). Pozorované emise jsou úzkopásmové s maximální intenzitou na frekvenci okolo 16% elektronové cyklotronové frekvence. Využitím metod pro analýzu šíření rovinných vln jsme ukázali, že pozorované emise jsou pravotočivě-kruhově polarizované a mají vlnový vektor téměř paralelní s magnetickými

siločárami s odklonem do 10°. Elektromagnetické vlny se shodnými vlastnosti již byly pozorovány v blízkosti Země a jsou známe pod názvem lví řevy. Potvrdili jsme první výskyt této emise v blízkosti jiné planety sluneční soustavy. Naše pozorování naznačuje, že emise typu lví řev jsou jevem, který můžeme pozorovat za různých plazmatických podmínek napříč sluneční soustavou. Očekáváme, že naše výsledky poskytnou nový pohled na tento typ emise, která je v tomto případě pozorovaná v zcela odlišném fyzikálním prostředí, než se vyskytuje okolo Země.

Reference:

Píša, D., Sulaiman, A. H., **Santolík, O.**, Hospodarsky, G. B., Kurth, W. S., & Gurnett, D. A. (2018). First observation of lion roar emission in Saturn's magnetosheath. *Geophysical Research Letters*, 45. <https://doi.org/10.1002/2017GL075919>.

Související reference:

Sulaiman, A. H., Kurth, W. S., Hospodarsky, G. B., Averkamp, T. F., Persoon, A. M., Menietti, J. D., Ye, S. - Y., Gurnett, D. A., **Píša, D.**, Farrell, W.M., Dougherty, M. K., 2018: Auroral hiss emissions during Cassini, *Geophysical Research Letters*, 45, 14, pp. 6782-6789.

Oddělení kosmické fyziky, Ústav fyziky atmosféry AV ČR v roce 2018

1. Radka Balková, administrativní pracovník, částečný úvazek 50% od 1.listopadu
2. Marek Basovník, PhD student, částečný úvazek 60%, do 31. července
3. Benjamin Grison, vědecký pracovník
4. Michajlo Hajoš, vědecký pracovník
5. Miroslav Hanzelka, student mag. studia, částečný úvazek 50% od 30.9.; PhD student, 70% od 1.10.
6. Aaron T. Hendry, postdoktorand, od 1. dubna
7. Miroslav Horký, postdoktorand
8. Petr Kašpar, postdoktorand
9. Andrea Kolínská, student mag. studia, částečný úvazek 50% , od 1.6.
10. Vratislav Krupař, vědecký pracovník, částečný úvazek 50%
11. Oksana Krupařová, vědecký pracovník; mateřská a rodičovská dovolená
12. Radek Lán, odborný pracovník výzkumu a vývoje
13. Jan Lukačevič, odborný prac. výzkumu a vývoje do 30.9.; PhD student, částečný úvazek 70% od 1.10.
14. David Píša, vědecký pracovník
15. Martin Popek, pozorovatel TLE, částečný úvazek 25%
16. Ondřej Santolík, vedoucí vědecký pracovník, vedoucí oddělení
17. Jan Snížek, odborný pracovník výzkumu a vývoje, od 1.6., částečný úvazek 50%
18. Jan Souček, vedoucí vědecký pracovník, zástupce vedoucího oddělení
19. Hana Špačková (roz. Zemanová), PhD student, částečný úvazek 50% do 30. 9., 70% od 1.10.
20. Ulrich Taubenschuss, vědecký pracovník,
21. Alexander Tomori, PhD student, částečný úvazek 40%
22. Christof Weber, postdoktorand