

## **Návrh studentského fakulního grantu** (podle §6 Stipendijního řádu Matematicko-fyzikální fakulty)

**Název projektu:** Vlny hvizdového módu ve vnějších oblastech magnetosféry Země.

**Řešitelská skupina:** Eva Macúšová a Katarína Gereová, 2. ročník

**Vedoucí projektu:** RNDr. Ondřej Santolík, Dr.

**Charakter projektu:** zpracování experimentálních dat

**Termín ukončení projektu:** 30. září 2003

**Popis projektu:**

### **Současný stav řešení příslušné problematiky**

Magnetosféra Země vzniká vzájemným působením jejího silného magnetického pole a proudu řídkého, bezsrážkového, plně ionizovaného plazmatu pocházejícího ze sluneční korony a známého jako sluneční vítr. Střídavá elektrická a magnetická pole byla v kosmickém prostoru měřena již od doby prvních umělých družic. Měření probíhalo i na frekvencích, jež převedeny na zvukový signál projevily by se ve slyšitelném oboru akustického spektra. Právě v tomto rozsahu frekvencí je v magnetosféře pozorováno velké množství vlnových jevů přitahujících pozornost vědy již od počátku kosmické éry. Zprávy o prvních pozorováních takovýchto vln přicházejících z našeho nejbližšího kosmického okolí existují již z období okolo první světové války kdy byly zaznamenány elektromagnetické vlny projevující se jako zvláštní klesavé tóny.. Tento zvukový vjem se stal i základem vědeckého označení jevu, známého nyní jako hvizdy. Zmíněná pozorování vysvětlil L.R.O. Storey v padesátých letech minulého století [17] pomocí teorie šíření elektromagnetických vln v kosmickém plazmatu. Jeho teorie byla později potvrzena právě družicovými měřeními.

Významným druhem elektromagnetických vln ve hvizdovém módu, které ovlivňují dynamiku radiačních pásů, je takzvaný chorus. Tyto strukturované vlnové emise jsou pozorovány na frekvencích od několika set Hz do několika kHz. Skládají se z diskrétních elementů, trvajících krátkou dobu řádově několika desetin sekundy. Každý z těchto elementů je tvořen tónem měnícím frekvenci rychlostí řádově několika kHz/s. Častěji je pozorována rostoucí frekvence, klesající tóny však také nejsou výjimkou. Celkový dojem z měřeného elektrického nebo magnetického pole, převedeného na akustický signál, vzdáleně připomíná štěbetání ptactva, či produkci pěveckého sboru, odtud vžitý název chorus. Tyto velmi intenzivní vlnové emise jsou středem zájmu již několik desetiletí (viz přehledová práce [12]), mechanismus jejich vzniku však dodnes není dobře objasněn. Nedávné experimentální práce byly zaměřeny na lokalizaci zdrojové oblasti [8, 13], šíření a časově-frekvenční vlastnosti choru [11, 5], a na vlastnosti zdrojové oblasti [16]. Přes některé vzájemně si odporující výsledky je pravděpodobným zdrojovým mechanismem choru dosud ne zcela objasněný nelineární proces [19], spojený s elektronovou cyklotronovou rezonancí. Dochází zde tedy pravděpodobně ke vzájemnému působení elektronů z radiačního pásu a elektromagnetických vln ve hvizdovém módu [7] šířících se podél magnetických siločar [6]. Zdrojová oblast je umístěna v blízkosti geomagnetického rovníku [2, 3, 8]. Chorus pozorovaný na noční straně je pak obzvláště zajímavý vzhledem k jeho spojení s magnetickými bouřemi [1, 10].

Tento krátký rozbor ukazuje, že současné znalosti o vlnách hvizdového módu ve vnějších oblastech magnetosféry Země jsou značně neúplné. Jejich další výzkum důležitý například pro pochopení zdrojových nestabilit plazmatu a způsobů šíření těchto vln ze zdrojové oblasti.

## Cíle projektu a časový harmonogram

Cílem projektu je získání nových informací zdrojích a šíření elektromagnetických vln hvizdového módu ve vnějších oblastech magnetosféry Země. Předpokládáme použití dat družic Cluster popř. Polar nebo Cassini. Základním zdrojem dat však budou družice projektu Cluster. Tento projekt je jedním ze současných vědeckých projektů Evropské kosmické agentury. Skládá ze čtyř identických družic vypuštěných v létě 2000 a umístěných na velmi podobné protáhlé eliptické dráhy. Přístroj STAFF [4, 9] (z anglického Spatio-Temporal Analysis of Field Fluctuations), postavený v laboratoři CETP ve Vélizy u Paříže a na observatoři v Meudonu, je určen pro analýzu elektromagnetických a elektrostatických vln v plazmatu magnetosféry Země a ve slunečním větru.

Postupné cíle lze definovat následovně:

- Prohlídka dostupných případů pozorování elektromagnetických vln hvizdového módu družicemi projektu Cluster ve vnějších oblastech magnetosféry Země. (do 30. 1. 2003).
- Vytvoření seznamu případů pozorování datových souborů vhodných pro další zpracování (do 30. 3. 2003).
- Aplikace různých metod analýzy vícerozměrných vlnových měření [18, 14, 15] na získané datové soubory (do 30. 5. 2003).
- Podrobné zpracování výsledků, porovnání s existujícími poznatky a spolupráce na přípravě publikace (do 30. 9. 2003).

## Výsledky projektu

Družicový projekt Cluster, do nějž je vedoucí předkládaného studentského projektu zapojen, poskytuje v současnosti velké množství dat, jejichž systematické zpracování by v optimálním případě mohlo podstatně přispět k pochopení zdrojového mechanismu a šíření zdrojích a šíření elektromagnetických vln hvizdového módu ve vnějších oblastech magnetosféry Země.

Předpokládáme, že úspěšné řešení projektu bude završeno přípravou referátu na mezinárodní konferenci Americké geofyzikální unie (San Francisco, prosinec 2003) a přípravou následné publikace v časopise. V případě rychlejšího postupu prací by případné první výsledky mohly být představeny i na mezinárodní konferenci Evropské geofyzikální společnosti (Nice, duben 2003) nebo na studentské konferenci "Week of doctoral students" pořádané fakultou.

## Literatura

- [1] Anderson, R. R., and K. Maeda, VLF emissions associated with enhanced magnetospheric electrons, *J. Geophys. Res.*, 82, 135–146, 1977.
- [2] Burtis, W. J., and R. A., Helliwell, Banded chorus - a new type of VLF radiation observed in the magnetosphere by OGO 1 and OGO 3, *J. Geophys. Res.*, 74, 3002–3010, 1969.
- [3] Burton, R.K., and R.E., Holzer, The origin and propagation of chorus in the outer magnetosphere, *J. Geophys. Res.*, 79, 1014–1023, 1974.
- [4] Cornilleau-Wehrin N., Chanteur G., Perraut S., Rezeau L., Robert P., Roux A., Villedary C. de, Canu, P., Maksimovic M., Conchy, Y. de, Hubert D., Lacombe, C., Lefeuvre, F., Parrot M., Pincon, J.L., Decrau P.M.E., Harvey C.C., Louarn Ph., Santolík, O., Alleyne H.St.C., M. Roth and STAFF team, First results obtained by the Cluster STAFF experiment, in press, *Ann. Geophys.*, 2002.

- [5] Gurnett, D. A., R. L. Huff, J. S. Pickett, A. M. Persoon, R. L. Mutel, I. W. Christopher, C. A. Kletzing, U. S. Inan, W. L. Martin, J.-L. Bougeret, H. St. C. Alleyne, and K. H. Yearby, First results from the Cluster wideband plasma wave investigation, *Ann. Geophys.*, *19*, 1259–1272, 2001.
- [6] Hayakawa, M., Yamanaka, Y., Parrot, M. and Lefeuvre, F., The wave normals of magnetospheric chorus emissions observed on board GEOS 2, *J. Geophys. Res.*, *89*, 2811–2821, 1984.
- [7] Helliwell, R. A., A theory of discrete emissions from the magnetosphere, *J. Geophys. Res.*, *72*, 4773–4790, 1967.
- [8] LeDocq, M. J., D. A. Gurnett, and G. B. Hospodarsky, Chorus source locations from VLF Poynting flux measurements with the Polar spacecraft, *Geophys. Res. Lett.*, *25*, 4063–4066, 1998.
- [9] Maksimovic, M., C.C. Harvey, O. Santolík, C. Lacombe, Y. de Conchy, D. Hubert, F. Pantellini, N. Cornilleau-Wehrlin, I Dandouras, E.A. Lucek, and A. Balogh, Polarisation and propagation of Lion Roars in the dusk side Magnetosheath, *Ann. Geophys.*, *19*, 1429–1438, 2001.
- [10] Meredith, N. P., R. B. Horne, A. D. Johnstone, and R. R. Anderson, The Temporal Evolution of Electron Distributions and Associated Wave Activity following Substorm Injections in the Inner Magnetosphere, *J. Geophys. Res.*, *105*, 12,907–12,917, 2000.
- [11] Nagano, I., S. Yagitani, H. Kojima, and H. Matsumoto, Analysis of wave normal and Poynting vectors of the chorus emissions observed by Geotail, *J. Geomag. Geoelectr.*, *48*, 299–307, 1996.
- [12] Omura Y., Nunn D., Matsumoto H., and Rycroft M. J., A review of observational, theoretical and numerical studies of VLF triggered emissions, *J. Atmos. and Terrest. Phys.*, *53*, 351–368, 1991.
- [13] Parrot, M., O. Santolík, N. Cornilleau-Wehrlin, M. Maksimovic, C. Harvey, Source location of chorus emissions observed by CLUSTER, in press *Ann. Geophys.*, 2002.
- [14] Santolík, O., and M. Parrot, Application of wave distribution function methods to an ELF hiss event at high latitudes, *J. Geophys. Res.*, *105*, 18,885–18,894, 2000.
- [15] Santolík, O., M. Parrot, and F. Lefeuvre, SVD methods for wave propagation analysis, 10.1029/2000RS002523, in press, *Radio. Sci.*, 2002.
- [16] Skoug, R.M., S. Datta, M.P. McCarthy, and G.K. Parks, A cyclotron resonance model of VLF chorus emissions detected during electron microburst precipitation, *J. Geophys. Res.*, *101*, 21,481–21,491, 1996.
- [17] Storey, L. R. O., An investigation of whistling atmospherics, *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, A246, 113–141, 1953.
- [18] Storey, L. R. O., and F. Lefeuvre, The analysis of 6-component measurement of a random electromagnetic wave field in a magnetoplasma, 2. The integration kernels, *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, *62*, 173–194, 1980.
- [19] Trakhtengerts, V.Y., A generation mechanism for chorus emission, *Ann. Geophys.*, *17*, 95–100, 1999.