

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

**Název projektu:** Studium vlnových jevů na nízkých frekvencích z dat družic Cluster a Demeter

**Řešitel:** František Němec, 3. ročník

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

**Charakter projektu:** zpracování experimentálních dat

**Termín ukončení projektu:** 30. září 2004

**Popis projektu:**

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

Elektromagnetické emise související se seismickou nebo vulkanickou činností jsou známy již dlouho, ale mechanismus jejich vzniku není doposud dobře vysvětlen. Mnoho prací prezentuje pozorování vlnových emisí během seismické činnosti [10, 13]. Je možno rozlišit dva typy emisí. Prvním typem jsou emise, které se objevují několik hodin před zemětřesením. Jsou pozorovány v širokém rozsahu frekvencí od desítek hertzů po několik megahertzů. Druhým typem jsou vlny pozorované až posléze, které jsou spojeny se šířením zvukových-gravitačních vln [12]. Obecně lze ale říci, že všechny hypotézy, které uvažují generační mechanismus pro vlny prvního typu, je možno použít i pro typ druhý, kdy se zemská kůra vrací zpět do rovnovážného stavu. Vlny se mohou pohybovat vzhůru do ionosféry, pozorování prováděná na palubě satelitů s nízkou oběžnou dráhou prokázala zvýšený výskyt odpovídajících nízkofrekvenčních vln nad regiony s velkou seismickou činností.

Po velkých zemětřeseních byly zaznamenány perturbace hustoty elektronů v ionosféře. Ty byly rovněž pozorovány několik dnů před nad seismickou zónou. Vlnové emise a perturbace hustoty elektronů v ionosféře mají mnoho společného a je možné zdůvodnit je pomocí téže teorie. Existuje více teorií snažících se vysvětlit tento jev, jsou založeny zpravidla na: produkci vln stlačením skály, difuzi vody v epicentru a redistribuci elektrického náboje na povrchu Země a následně v zemské atmosféře. Jenom statistická studie založená na mnoha pozorováních může odhalit obecné chování takových ionosférických perturbací a pomoci definovat charakteristiku perturbací, které předcházejí zemětřesením [8]. Takováto statistická studie je hlavním úkolem umělé družice Demeter, která bude vypuštěna počátkem příštího roku a její řídicí středisko bude v laboratoři LPCE Orléans ve Francii.

Rovníkový šum je elektromagnetická emise pozorovaná v blízkosti geomagnetického rovníku. Vyskytuje se v radiálních vzdálenostech několika zemských poloměrů a na frekvencích od několika hertzů po několik desítek hertzů. Plasmové vlny toho typu byly prvně pozorovány na počátku sedmdesátých let [14] v intervalu  $\pm 2^\circ$  od rovníku a na frekvencích mezi dvojnásobkem lokální protonové cyklotronové frekvence ( $f_{H+}$ ) a polovinou spodní hybridní frekvence ( $f_{lh}$ ). Tato pozorování ukázala, že rovníkový šum je intenzivní, téměř lineárně polarizovaná emise. Gurnett [2] provedl analýzu podrobných dat z širokopásmového analyzátoru na palubě družice Hawkeye. Výsledky ukázaly, že to, co se při analýze dat s menším rozlišením jeví jako šum, je ve skutečnosti systém mnoha spektrálních čar na různých frekvencích. Navrhl myšlenku, že tyto jsou tvořeny iontovou cyklotronní rezonancí v místě, kde se lokální cyklotronová frekvence shoduje s pozorovanou frekvencí dané spektrální čáry. Po generování se pak vlny šíří v elektromagnetickém hvizdovém módu do místa pozorování. V pozdější práci [6] byl navržen model generování těchto vln založený na nestabilitě prstencové rozdělovací funkce protonů.

Práce [4, 3] ukáží, že rovníkový šum se vyskytuje v radiálních vzdálenostech mezi 2 a 7  $R_E$  a na šířkách do  $10^\circ$  od geomagnetického rovníku. Jeho nejnižší frekvence může klesnout až k základní  $f_{cH+}$ .

Projekt Cluster [1] umožnil vícebodová pozorování rovníkového šumu. Práce [17] ukazuje časově prostorovou proměnnost rovníkového šumu za pomoci současného měření družic v raním sektoru vnější plazmasféry. Ve shodě s předchozími měřeními jsou vlnové emise detekovány v úzkém intervalu magnetických šířek v rozmezí  $24^\circ$  od geomagnetického rovníku. V [19] je pak provedena systematická analýza velkého množství pozorování rovníkového šumu založená na datech z přístrojů STAFF-SA na palubě družic Cluster. Podíl počtu výskytů rovníkového šumu byl stanoven na přibližně 60%. Rovníkový šum byl identifikován vybíráním emisí s nízkou elipticitou. Výsledky ukazují, že se rovníkový šum má velmi intenzivní magnetickou složku, a může proto hrát nezanedbatelnou roli v dynamice vnitřní magnetosféry.

### **Cíle projektu a časový harmonogram**

První část projektu zabývající se studiem rovníkového šumu logicky navazuje na projekt vypsáný v loňském roce a dále rozvíjí problematiku v něm zkoumanou. Jejím cílem je dopracování a další aplikace metod vyvinutých pro identifikaci a následnou analýzu rovníkového šumu. K tomu jsou používána data z družic Cluster. Cluster 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 [1, 5] (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.

Ve druhé části pak budeme spolupracovat na projektu Demeter. Demeter je mikrosatelit (hmotnost 110 kg) s nízkou (méně než 800 km) polární drahou, který bude vypouštěn CNES (Francouzskou národní kosmickou agenturou), a jehož cílem je především sledování ionosférických perturbací spojených se seismickou aktivitou, ale i globální studium elektromagnetického okolí Země. Mnoho laboratorních experimentů, stejně tak jako satelitní pozorování, ukazují, že existuje vztah mezi elektromagnetickým vlněním a seismickou aktivitou, ale až doposud neexistovalo podobné zařízení vytvořené čistě za účelem studia tohoto jevu.

Postupné cíle lze definovat následovně:

- Zpřesnění analýzy rovníkového šumu, příprava posteru a účast na konferenci AGU (Americké geofyzikální unie) v San Franciscu. (do 15. 12. 2003)
- Úpravy již podaných článků s výsledky analýzy rovníkového šumu na základě připomínek recenzentů (předp. do 15.1.2004)
- Příprava metod zpracování vlnových dat z projektu Demeter (do 30. 5. 2004)
- Zpracování prvních dat z projektu Demeter a příprava publikace (do 30.9. 2004)

### **Výsledky projektu**

Systematické zpracování dostupných experimentálních dat týkajících se rovníkového šumu by v optimálním případě mohlo podstatně přispět k pochopení zdrojového mechanismu této vlnové emise, a tím i k otevření cesty k dalšímu výzkumu vlivu těchto vln na energetické částice v magnetosféře Země.

Data získaná z družice Demeter by měla v konečném důsledku prokázat jednoznačnou souvislost mezi seismickou aktivitou na Zemi a elektromagnetickým vlněním registrovaným v

ionosféře. Výzkum tohoto jevu je velmi žádoucí a zajímavý mimo jiné i proto, že měření elektromagnetické vlnění v ionosféře se tak může stát možností, jak seismickou aktivitu předvídat.

Předpokládáme, že úspěšné řešení projektu bude doprovázeno publikací stávajících výsledků v odborných časopisech (již podané články do *Annales Geophysicae* a *Planetary and Space Science*), a završeno přípravou referátu na mezinárodní konferenci Evropské geofyzikální unie (Nice, duben 2004) či Americké geofyzikální unie (San Francisco, prosinec 2004) a přípravou následné publikace v časopise.

### Literatura

- [1] 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.
- [2] Gurnett, D. A., Plasma wave interactions with energetic ions near the magnetic equator, *J. Geophys. Res.*, 81, 2765–2770, 1976.
- [3] Kasahara, Y., H. Kenmochi, and I. Kimura, Propagation characteristics of the ELF emissions observed by the satellite Akebono in the magnetic equatorial plane, *Radio Sci.*, 29, 751–767, 1994.
- [4] Laakso, H., H. Junginger, A. Roux, R. Schmidt, and C. de Villedary, Magnetosonic waves above  $f_c$  (H+) at geostationary orbit: GEOS 2 results, *J. Geophys. Res.*, 95, 10,609–10,621, 1990.
- [5] Maksimovic, M., C.C. Harvey, O. Santolík, C. Lacombe, Y. de Conchy, D. Hubert, F. Pantellini, N. Cornilleau-Wehrin, 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.
- [6] Perraut, S., A. Roux, P. Robert, R. Gendrin, J.-A. Sauvaud, J.-M. Bosqued, G. Kremser, and A. Korth, A systematic study of ULF waves above  $F_{H+}$  from GEOS 1 and 2 measurements and their relationships with proton ring distributions, *J. Geophys. Res.*, 87, 6219–6236, 1982.
- [7] Parrot, M. et al., 1993. High-frequency seismo-electromagnetic effects, *Phys. Earth Planet. Int.*, 77, 65–83.
- [8] Parrot, M. 1994a, Statistical study of ELF/VLF emissions recorded by a low altitude satellite during seismic events, *J. Geophys. Res.*, 99, 23, 339–23, 347.
- [9] Parrot, M., 1994b, Observations of PLHR by the low-altitude AUREOL-3 satellite, *J. Geophys. Res.*, 99, 3961–3969.
- [10] Parrot, M., 1995. Electromagnetic noise due to earthquakes in Handbook of Atmospheric Electrodynamics, v.II, Ed. by H. Volland, CRC Press, Boca Raton, pp. 95–116.
- [11] Parrot, M., Zaslavski Y., 1996. Physical mechanisms of man made influences on the magnetosphere, *Surveys in Geophysics*, 17, 67–100.
- [12] Pokhotelov, O. A. et. al., 1995. Response of the ionosphere to natural and man made acoustic sources, *Ann. Geophys.*, 13, 1197–1210.

- [13] Serebryakova, O. N. et. al., 1992. Electromagnetic ELF radiation from earthquake regions are observed by low-altitude satellites, *Geophys. Res. Lett.*, 19, 91-95.
- [14] Russell, C. T., R. E. Holzer, and E. J. Smith, OGO 3 observations of ELF noise in the magnetosphere: 2. The nature of the equatorial noise, *J. Geophys. Res.*, 73, 755–768, 1970.
- [15] 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.
- [16] Santolík, O., M. Parrot, and F. Lefeuvre, SVD methods for wave propagation analysis, 10.1029/2000RS002523, in press, *Radio. Sci.*, 2002.
- [17] Santolík, O., J. S. Pickett, D. A. Gurnett, M. Maksimovic, N. Cornilleau-Wehrin, Spatio-temporal variability and propagation of equatorial noise observed by Cluster, 10.1029/2001JA009159, in press, *J. Geophys. Res.*, 2002.
- [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] Santolik, O. et al., Systematic analysis of equatorial noise below the lower hybrid frequency, *Ann. Geophys.*, submitted, 2003.

**Podpis vedoucího projektu:**

RNDr. Ondřej Santolík, Dr.