

## **Písemná zpráva o řešení studentského fakultního 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, 4. ročník

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

**Charakter projektu:** zpracování experimentálních dat

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

### **Průběh řešení projektu**

První část projektu navazovala na projekt vypsáný v loňském roce. Používali jsme data získaná během dvou let měření přístrojů STAFF-SA (Spatio-temporal analysis of field fluctuations) na palubě čtyř družic Cluster. Celkem jsme získali 603 datových intervalů, kdy se družice nacházely v rovníkové oblasti blízko perigea jejich dráhy (na vzdálenosti přibližně čtyř zemských poloměrů), tedy v oblasti s potenciálním výskytem rovníkového šumu. Pro studium jeho vlastností jsme měli k dispozici měření 3 magnetických a 2 elektrických antén.

Pro určování statistických vlastností rovníkového šumu jsme používali algoritmus pro jeho automatickou identifikaci vyvinutý v loňském projektu. Ten pracuje ve dvou krocích. V prvním z nich se využívá znalosti, že jsou rovníkové emise téměř lineárně polarizovány, ve druhém se pak hledají pomocí metody nejmenších čtverců parametry Gaussova rozdělení tak, aby co nejlépe odpovídalo intenzitám daného případu (integrováním přes frekvence) jako funkce magnetické šířky. Takto získané parametry jsme pak použili v další analýze.

Zabývali jsme se dvěma hlavními otázkami. První z nich bylo dopracování závěru minulého projektu, který ukázal, že nejvíce maxim intenzity emisí rovníkového šumu se vyskytuje v intervalu dvou stupňů od geomagnetického rovníku. Problémem tohoto závěru ale je, že polohu geomagnetického rovníku určujeme z dipólového modelu magnetického pole Země, který se od žádaného rovníku, definovaného jako místo s minimem magnetického pole (min-B equator), může lišit až o několik stupňů. Tento problém jsme se rozhodli odstranit použitím sofistikovanějších modelů magnetického pole země, konkrétně modelů Tsyganenko 89 a Tsyganenko 96. Druhou hlavní otázkou, kterou jsme se v této části projektu zabývali, bylo nalezení spojitosti mezi poměrem spektrálních hustot magnetického a elektrického pole a plazmovou hustotou v místě pozorování podle teorie studeného plazmatu.

Druhá část projektu byla zaměřena na zpracování dat z nové družice Demeter, vypuštěné počátkem léta Francouzskou národní kosmickou agenturou (CNES), jejímž hlavním cílem je sledování ionosférických perturbací spojených se seismickou aktivitou, které by snad v budoucnu mohly sloužit ke krátkodobým předpovědím seismické aktivity. Dalším cílem je pak studium efektů v ionosféře, které plynou z lidské činnosti, ale i globální studium elektromagnetického pole v okolí Země.

Pro analýzu prvních dat z družice Demeter jsme vytvořili softwarové vybavení, které naměřené vlnové formy převedené do fyzikálních jednotek, převede pomocí Fourierovy transformace do užitečnější podoby spektrálních matic. Tyto pak uloží ve formátu již existujícího softwaru pro další zpracování (elipticita, planarita, směry šíření, atd.). Druhým bodem, kterým jsme se v souvislosti s projektem Demeter zabývali, bylo vytváření globální mapy elektromagnetických emisí v pásmu velmi nízkých frekvencí (VLF) v okolí Země. Vytvořili jsme základ potřebného softwarové vybavení a otestovali ho na doposud naměřených datech. Pro učinění jednoznačných závěrů a dokončení studie je však třeba počkat na další provoz družice. Poslední věcí kterou

jsme se zabývali, byla (a stále je) automatická identifikace PLHR (power line harmonic), tedy elektromagnetických emisí, jejichž zdrojem jsou elektrické sítě na povrchu Země.

### **Dosažené výsledky**

- Při použití sofistikovanějších modelů magnetického pole Země, než je prostý dipólový, jsou maxima intenzity emisí rovníkového šumu lokalizována blíže min-B rovníku. Pozorované odchylky od přesně rovníkové polohy jsou s největší pravděpodobností důsledkem nepřesnosti použitého modelu. To je v dobré shodě s faktem, že ve většině případů se jedná o pozorování s extrémními hodnotami vstupních parametrů modelu, kdy model již nepracuje tak dobře.
- Teorie studeného plazmatu určuje vztah mezi poměrem spektrálních hustot magnetického a elektrického pole a plazmovou hustotou. Ze znalosti poměru spektrálních hustot pak můžeme plazmovou hustotu odhadnout. Její hodnota se mění od jednotek po stovky částic v krychlovém centimetru a ukazuje výskyt družic ve dvou různých oblastech hustot. Tyto dvě oblasti je pak možno vysvětlit jako uvnitř / vně plazmasféry. Srovnání plazmových hustot odhadnutých z teorie studeného plazmatu s hustotami měřenými vykazuje poměrně dobrou shodu.
- Spektrální hustota magnetického pole nevykazuje žádnou výraznou závislost na hodnotě Dst indexu, zatímco spektrální hustota elektrického pole s rostoucí hodnotou Dst indexu klesá. Z teorie studeného plazmatu pak plyne, že plazmová hustota s rostoucím Dst indexem roste, což je ve shodě s pozorováním.
- Vytvořili jsme a otestovali program pro konverzi dat naměřených družicí Demeter do spektrálních matic, vhodných pro další zpracování. Program je v současné době využíván jak námi, tak laboratoří LPCE/CNRS v Orleans ve Francii.
- Navrhli a impletovali jsme základ softwaru pro vytvoření mapy elektromagnetických emisí v okolí Země.
- Začali jsme pracovat na problému automatické identifikace PLHR emisí.

### **Využití výsledků projektu**

1. Programové vybavení pro zpracování vlnových měření družice Demeter vytvořené jako součást projektu je a bude hojně využíváno k další práci, a to jak námi, tak našimi (zahraničními) kolegy.
2. Výsledky projektu byly použity v následujících příspěvcích na mezinárodních konferencích:
  - Nemeč, F., O. Santolik, K. Gereova, E. Macusova, N. Cornilleau-Wehrlin, Systematic Analysis of Whistler-mode Emissions Below the Lower Hybrid Frequency Based on the Data of the Cluster Project. AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, December 8-12, 2003.
  - Santolik, O., F. Nemeč, K. Gereova, E. Macusova, Y. de Conchy, H. Laakso, N. Cornilleau-Wehrlin, Equatorial Noise Emissions Observed Below the Lower Hybrid Frequency Close to the Plasmopause, Plasmasphere meeting, ESA Headquarters, Paris, France, July 16, 2004.

- Nemeč, F., O. Santolík, K. Gereova, E. Macusova, Y. de Conchy, H. Laakso, N. Cornilleau-Wehrin, Investigation Of Waves Below the Lower Hybrid Frequency in the Equatorial Region, 35th Cospar Scientific Assembly, Paris, France, July 18-25, 2004.
  - Nemeč, F., O. Santolík, M. Parrot, Wave-normal Directions of Electromagnetic Waves Observed by the Demeter Spacecraft, MEEMSV IV International Workshop, La Londe, France, September 5-9, 2004.
  - Santolík, O., F. Nemeč, M. Parrot, Wave Distribution Functions Studies of Waves Observed by the Demeter Spacecraft, MEEMSV IV International Workshop, La Londe, France, September 5-9, 2004.
  - Nemeč, F., O. Santolík, K. Gereova, E. Macusova, Y. de Conchy, H. Laakso, N. Cornilleau-Wehrin, Systematic Study of Equatorial Noise Emissions Below the Lower Hybrid Frequency Based on the Data of the STAFF-SA Instruments On Board the Cluster Spacecraft, VLF Workshop, Sodankyla, Finland, September 27 - October 1, 2004.
3. Výsledky projektu byly použity v následujících pracech zaslaných do mezinárodních časopisů:
- Nemeč, F., O. Santolík, K. Gereova, E. Macusova, Y. de Conchy, N. Cornilleau-Wehrin, Initial Results of a Survey of Equatorial Noise Emissions Observed by the Cluster Spacecraft, *Planetary and Space Sci.*, in press, 2004.
  - Nemeč, F., O. Santolík, K. Gereova, E. Macusova, Y. de Conchy, H. Laakso, N. Cornilleau-Wehrin, Investigation of Waves Below the Lower Hybrid Frequency in the Equatorial Region, *Advances in Space Res.*, submitted, 2004.

V Praze dne 11. října 2004

František Němec, 4. ročník

### **Vyjádření vedoucího projektu**

S předkládanou zprávou plně souhlasím. Kolega Němec se příkladným způsobem zapojil do práce na analýze dat družic Cluster a Demeter, o čemž svědčí výše uvedený seznam publikací a konferenčních příspěvků. Rád proto doporučuji vyplacení druhé části stipendia.

Existuje-li možnost zvýšení vyplácené částky, jak napovídá formulace ve stipendijním řádu fakulty, rozhodně doporučuji takové možnosti v tomto případě využít, neboť kolega Němec se velmi významně (jako první autor) podílel na přípravě dvou publikací zaslaných do mezinárodních recenzovaných časopisů, z nichž jedna byla již přijata do tisku.

Doc. RNDr. Ondřej Santolík, Dr. , KEVF