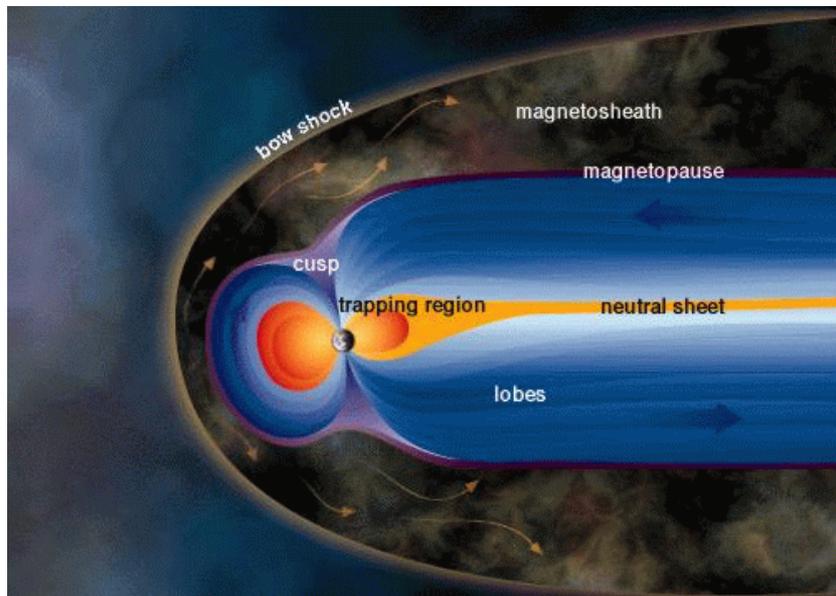


Fizica Plasmei Spațiale din Date Satelitare (FIRE)

O. Marghitu, M. Echim, O.D. Constantinescu,
H. Comișel, A. Blăgău, C. Bunescu, M. Ciobanu

Institutul Național pentru Fizica Laserilor
Plasmei și Radiației
Institutul de Științe Spațiale

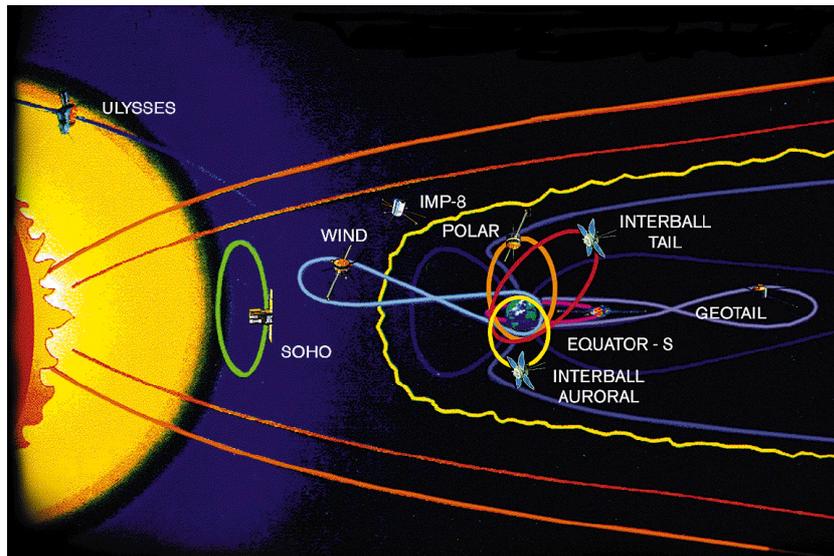


Program Aerospațial
Subprogram Explorări Spațiale
3–4 Iulie, 2003

1. Obiective

1. Contribuție la exploatarea științifică a datelor achiziționate de misiunile spațiale:

- CLUSTER — sci.esa.int/cluster
- INTERBALL — www.iki.rssi.ru/interball
- FAST — plasma2.ssl.berkeley.edu/fast
- EQUATOR-S — www.mpe.mpg.de/EQS



2. Investigarea sistemului *vânt solar – magnetosferă – ionosferă*.

3. Pregătire pentru participarea la programul PECS al ESA.

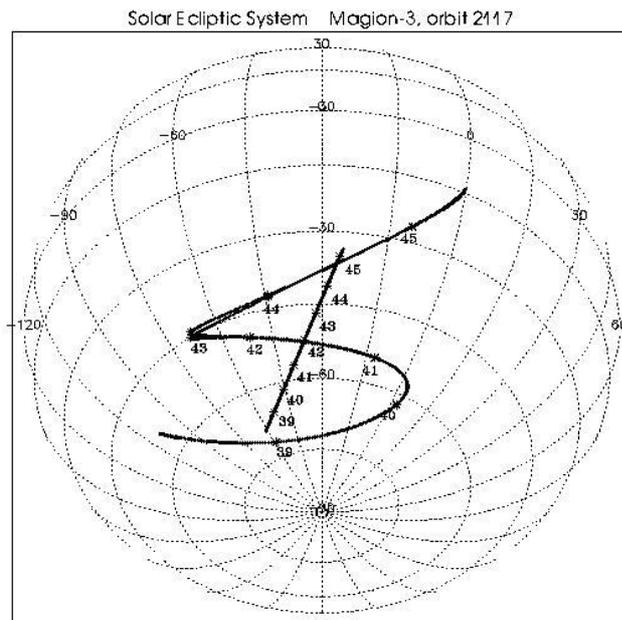
2. Descriere

Tematici științifice abordate de proiectul FIRE:

- Metode de determinare a orientăției satelitare — date MAGION-5.
- Fascicule de ioni energetici de origine terestră — date FAST, CLUSTER.
- Instabilitatea de tip oglindă magnetică — date EQUATOR-S, CLUSTER.
- Transferul de masă, energie și impuls la magnetopauză — date CLUSTER, INTERBALL.

2a. Metode de determinare a orientăției satelitare

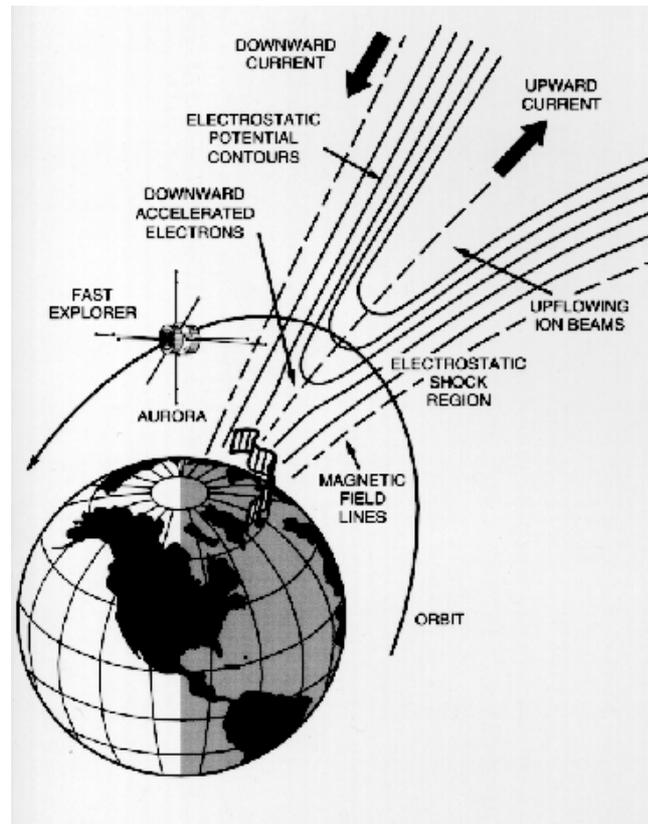
- Utilizează date de câmp magnetic și informație adiacentă produsă de senzori specializați (Soare, Pământ).
- Atunci când factori perturbativi afectează informația adiacentă este necesară utilizarea de metode numerice speciale.
- Folosind datele magnetometrului românesc SG-R7 și o metodă de modelare dinamică s-a determinat atitudinea MAGION-2 și MAGION-3, deși informația adiacentă a fost limitată.



- Caracter de noutate:
 - Condiții orbitale și dinamice diferite în cazul MAGION-5.
 - În modelul de câmp magnetic trebuie inclusă și componenta externă (Tsyganenko) pe lângă cea internă (IGRF).

2b. Fascicule de ioni energetici de origine terestră

- Extrase din ionosferă de câmpul electric paralel din Regiunea de Accelerare Aurorală (RAA), $\sim 70^\circ$ lat., $\sim 0.5 - 2R_E$ alt.

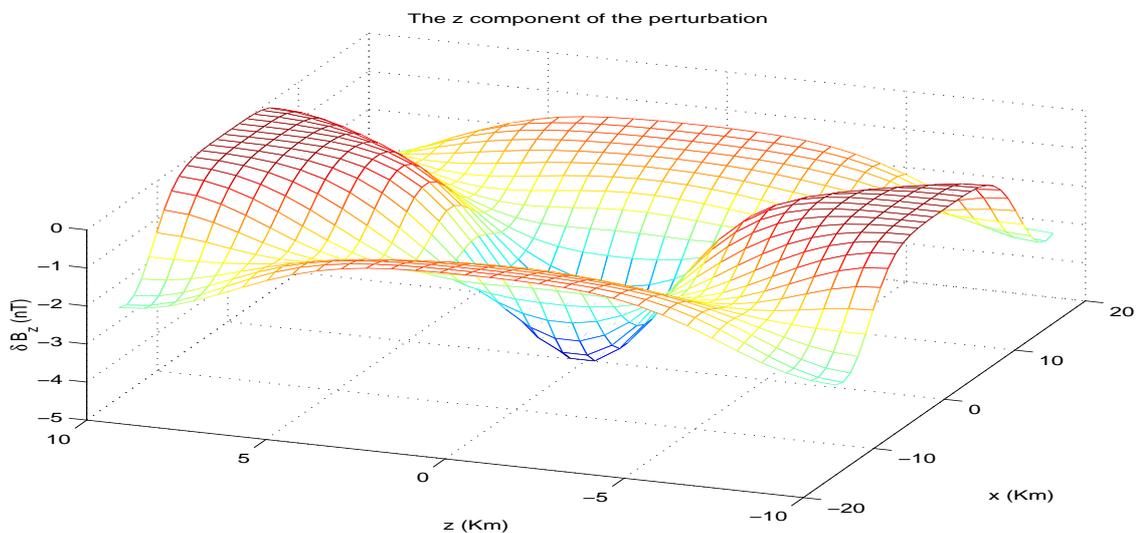


<http://www-ssc.igpp.ucla.edu/fast>

- Investigarea câmpului electric paralel prin compararea datelor de spectrometria plasmei cu datele de câmp electric.
- Examinarea relației existente între datele măsurate de FAST, la o altitudine de $\sim 0.5R_E$, și CLUSTER, la $\sim 10R_E$.
- Caracter de noutate:
 - Investigarea structurii interne a fasciculelor ionice.
 - Aplicarea de metode statistice în studii de caz.
 - Studiul conjugat al datelor FAST și CLUSTER.

2c. Instabilitatea de tip oglindă magnetică (OM)

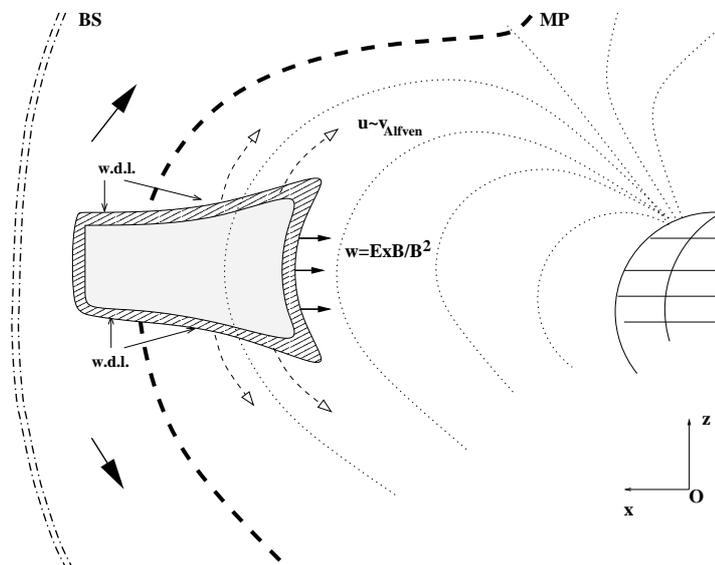
- Identificată în magnetosfera terestră și în spațiul interplanetar.
- A fost elaborat un model care descrie geometria 3D a OM.



- Dezvoltarea codului numeric destinat identificării amprentei OM.
- Caracter de noutate:
 - Identificarea geometriei 3D a OM în datele experimentale. Studiile anterioare folosesc modele 1D.
 - Determinarea anizotropiei și a parametrului β al plasmei din caracteristicile geometrice ale OM.

2d. Transferul de masă, energie și impuls la magnetopauză

- Modele propuse: reconexiune magnetică, instabilitate Kelvin-Helmholtz, difuzie perpendicular pe câmpul magnetic, pulsuri de presiune, pătrundere impulsivă.
- Rolul proceselor colective în propagarea unei neomogenități de plasmă (plasmoid) din vântul solar.



- Decuplarea mișcării plasmei de “mișcarea” liniilor de câmp magnetic datorită câmpului electric paralel cu câmpul magnetic.
- Caracter de noutate:
 - Demonstrarea teoretică și experimentală a existenței câmpului electric paralel la frontiera plasmoidului.
 - Discriminarea între fenomenele temporale și cele spațiale posibilă datorită misiunii CLUSTER.

3. Stadiu de realizare

- **Metode de determinare a orientăției satelitare**

Realizat:

- Determinari ale câmpului magnetic observat și de model pentru satelitul MAGION-5.
- Modelarea dinamică a mișcării satelitelor MAGION-5.

În desfășurare:

- Determinarea orientăției triaxiale a satelitelor MAGION-5.

- **Fascicule de ioni energetici de origine terestră**

Realizat:

- Definirea metodologiei de investigare a structurii interne a fasciculelor ionice.
- Studiul corelației între seturile de date FAST și CLUSTER.

- **Instabilitatea de tip oglindă magnetică**

Realizat:

- Identificarea structurilor de tip OM în datele experimentale.
- Identificarea structurilor de tip OM în datele experimentale utilizând măsurători simultane în puncte separate spațial.

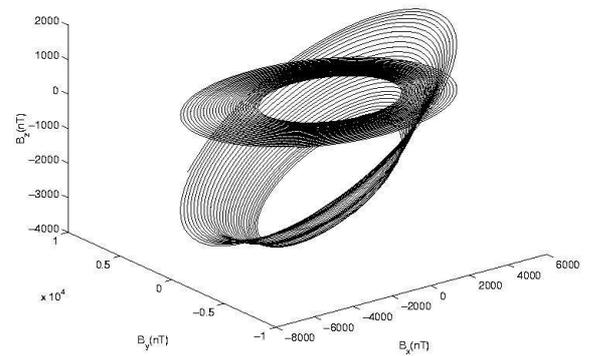
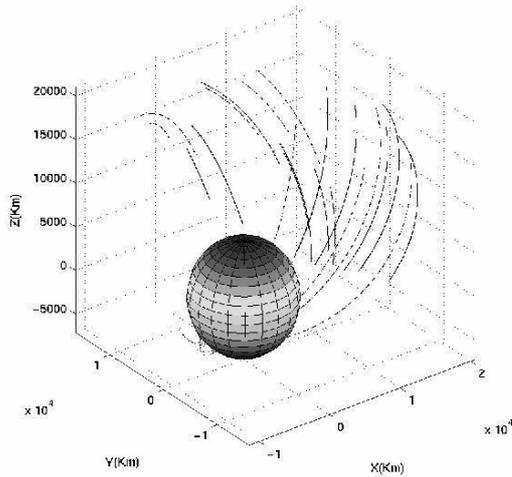
- **Transferul de masă, energie și impuls la magnetopauză**

Realizat:

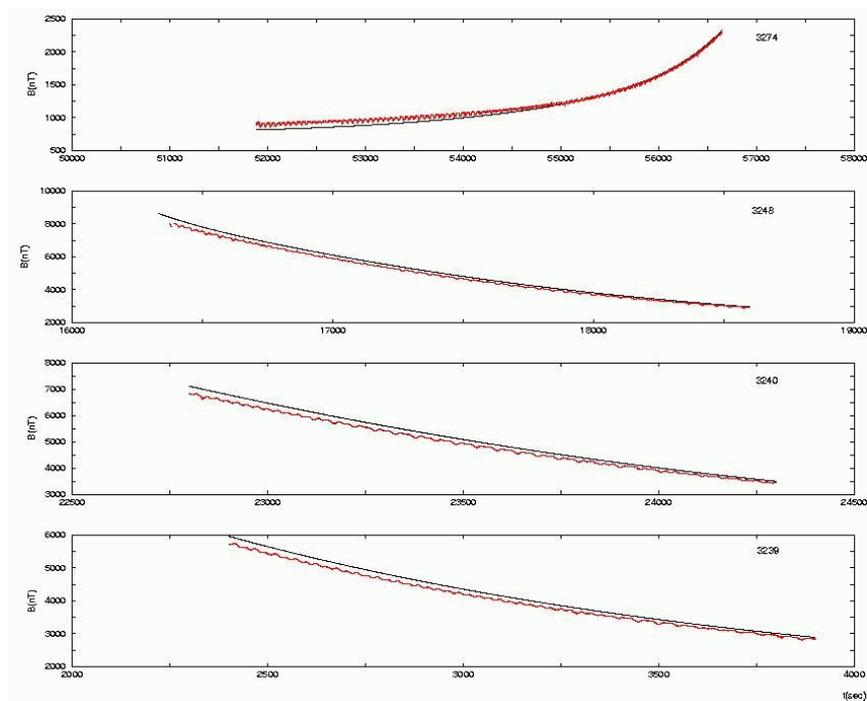
- Rolul proceselor colective în propagarea unei neomogenități de plasmă din vântul solar.

3a. Metode de determinare a orientăției satelitare

- Evaluări balistice ale traiectoriei MAGION 5
- Câmpul magnetic în sistemul satelitului, Orbita 3240



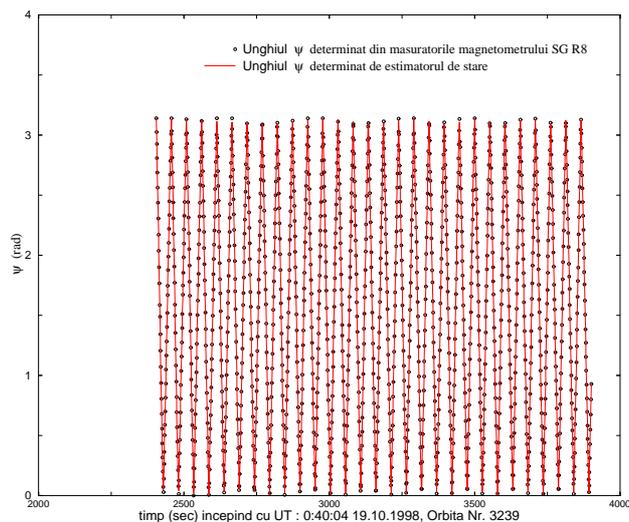
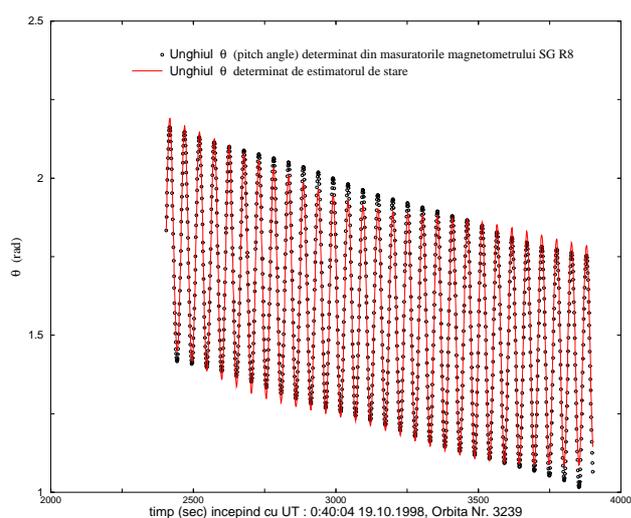
- Comparație între modulul câmpului magnetic observat și model



3a. Metode de determinare a orientăției satelitare

Estimatorul de stare batch:

- *Vectori de stare:* 4 quaternioni, 3 viteze unghiulare, 4 momente de inerție, 1 coeficient de vîscozitate
Măsurări: date magnetometrice triaxiale
Integrator: metoda Runge Kutta de ordin 4
Modele teoretice folosite pentru observabile: câmpul geomagnetic IGRF 1995 (până la a 10-a armonică sferică)
- Unghiurile Euler calculate direct din datele magnetometrice și valorile obținute de estimatorul batch pentru orbita 3239



3b. Fascicule de ioni energetici de origine terestră

- Arcele aurorale sunt produse de electroni accelerați în RAA, care interacționează cu particulele din atmosferă.



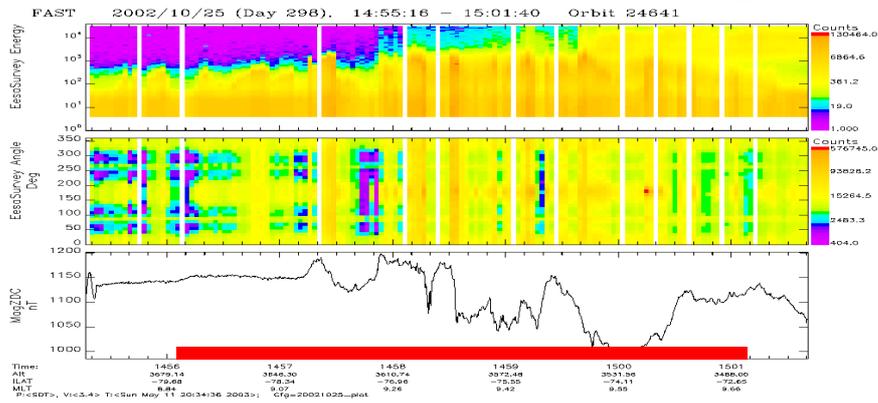
<http://climate.gi.alaska.edu/Curtis/curtis.html>

- Același câmp electric accelerează electronii în jos, spre Pământ, și ionii în sus, îndepărtându-i de Pământ.
- Măsurătorile de ioni de pe CLUSTER poartă informație despre procesele care au loc în RAA, asemănător modului în care observațiile optice de la sol permit caracterizarea electronilor accelerați.
- Examinarea conjugată a datelor FAST/EESA și CLUSTER/CIS (electroni, respectiv ioni) sugerează existența unei relații între structurile detectate de cele două misiuni, fapt notabil dată fiind diferența între scalele temporale: ~ 1 min pentru FAST, respectiv ~ 1 h pentru CLUSTER.

3b. Fascicule de ioni energetici de origine terestră

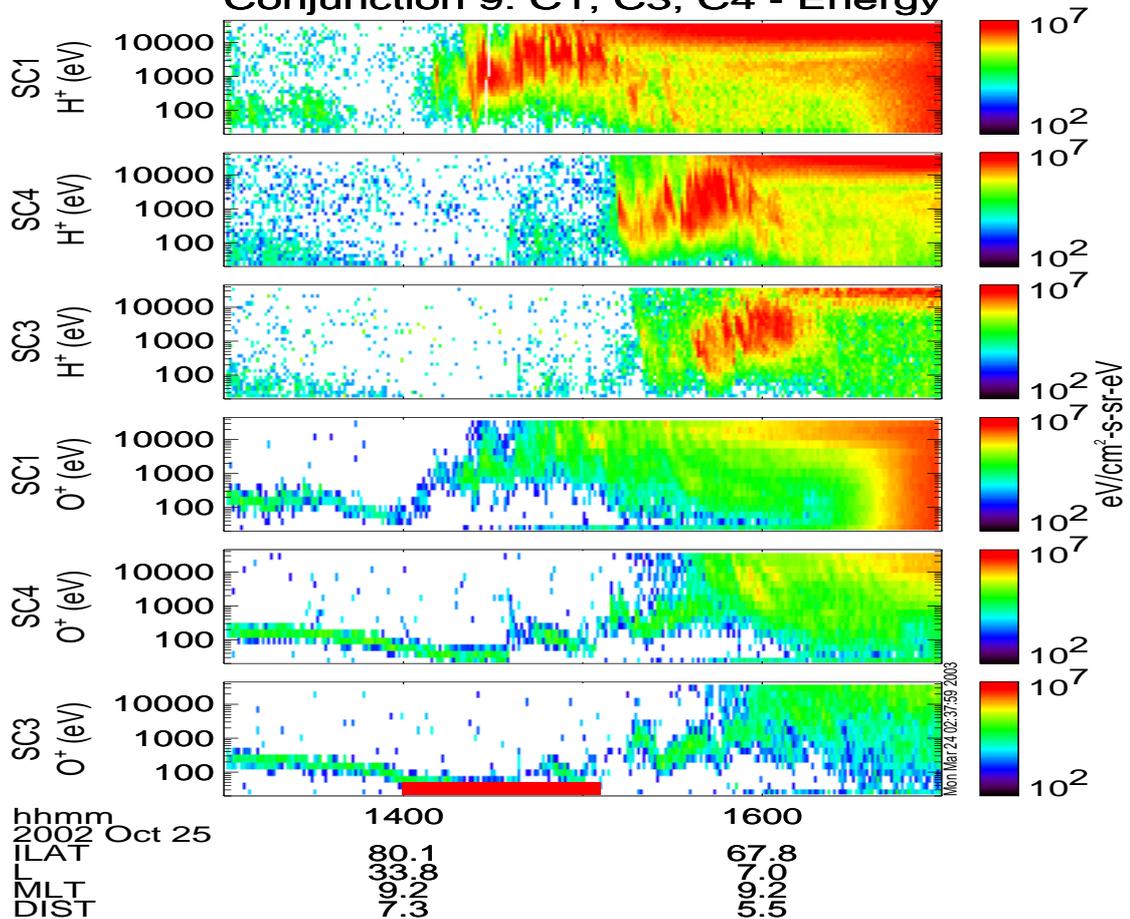
- Exemplu de date conjugate FAST-CLUSTER. Perioadele marcate acoperă aproximativ același interval de latitudine magnetică.

FAST/EESA (electroni) & Câmp Mag. DC



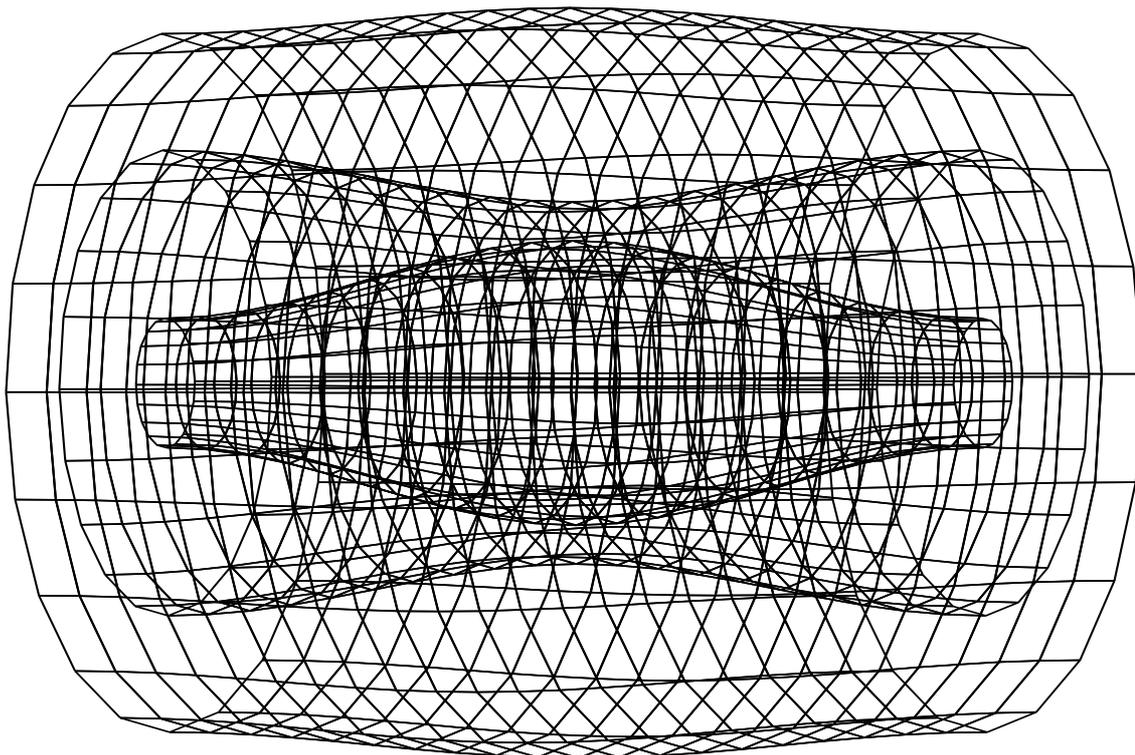
CLUSTER/CIS (ioni)

Conjunction 9: C1, C3, C4 - Energy



3c. Instabilitatea de tip oglindă magnetică

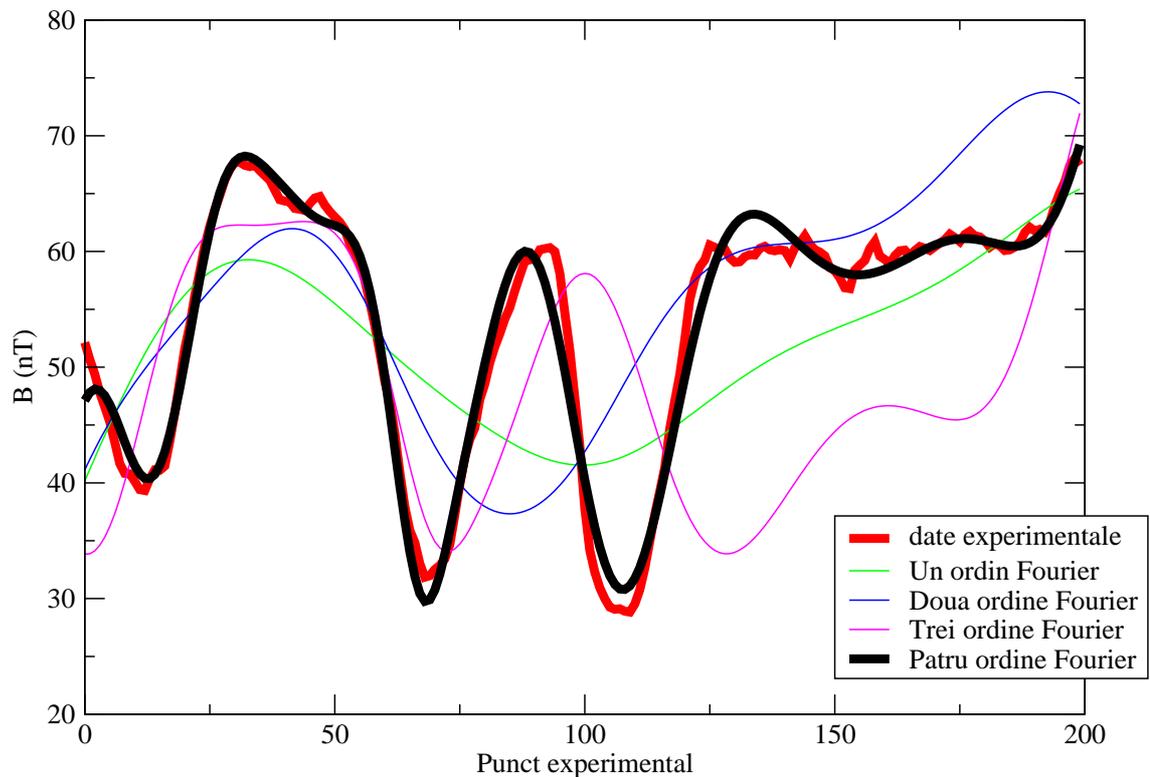
- Modelul teoretic al oglinzilor magnetice prezice o structură geometrică complexă, care depinde în principal de anizotropie și de parametrul β al plasmei.



- În realizarea fitului trebuie ținut seama de poziția și orientarea structurii în raport cu traiectoria satelitului, de parametrii geometrici ai structurii, precum și de caracteristicile plasmei. Numărul mare de parametri liberi rezultați conduce la dificultăți teoretice și tehnice.
- Utilizarea măsurătorilor multisatelit elimină o parte din dificultățile amintite la punctul precedent și mărește confidența în rezultatele fitului.

3c. Instabilitatea de tip oglindă magnetică

- Luarea în considerare a ordinilor Fourier superioare conduce la îmbunătățirea calității fitului

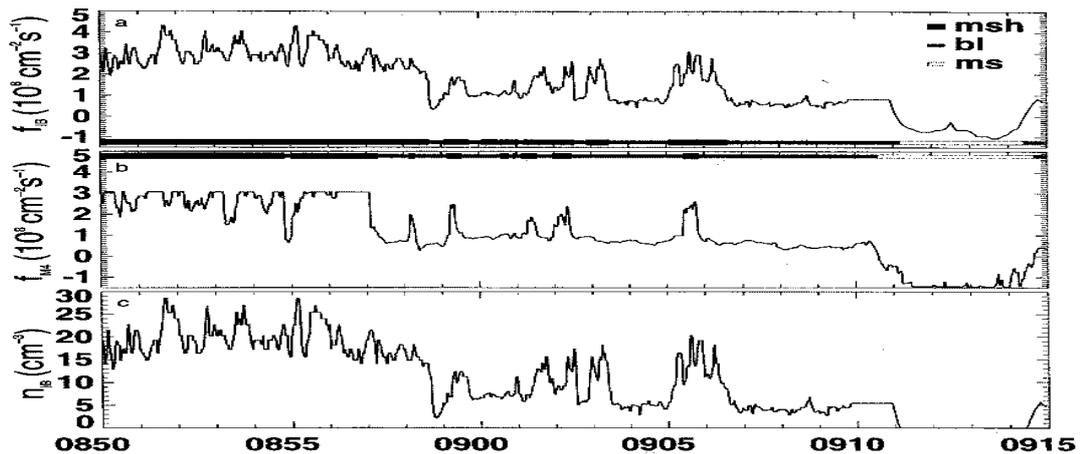


- Structura identificată:
 - Locație: partea de seară a tecii magnetice (magnetosheath)
 - Lungime: 4778km
 - Rază: 2510km

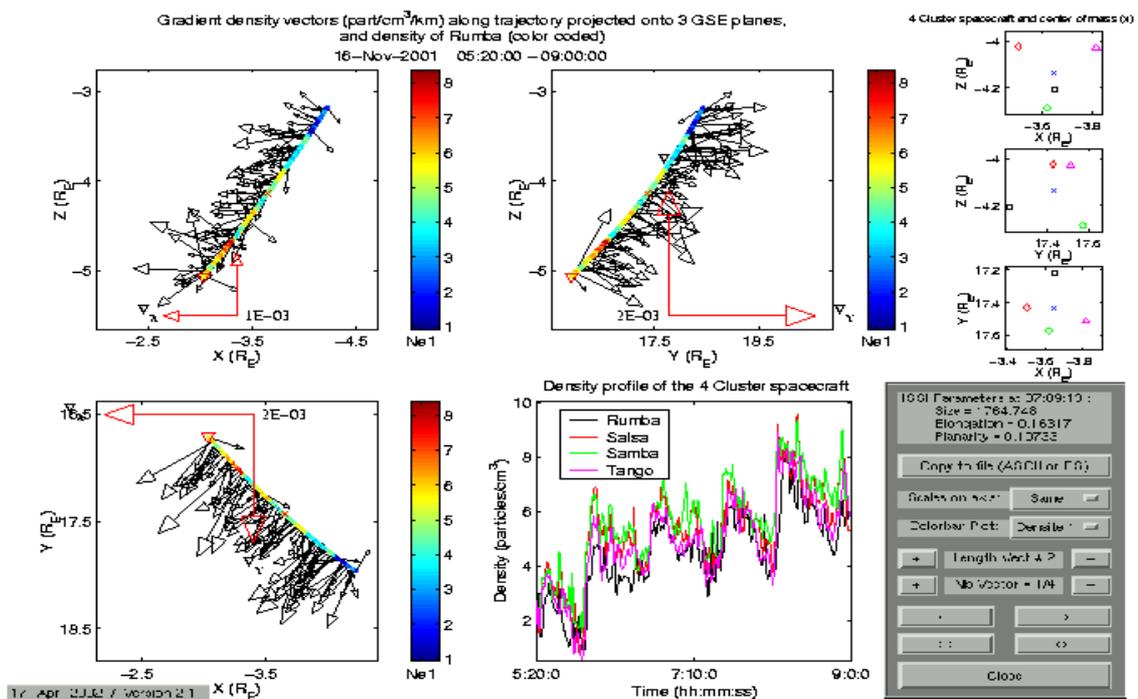
3d. Transferul de masă, energie și impuls la magnetopauză

Dovezi experimentale pentru existența gradientilor pozitivi ai densității plasmei în regiunea adiacentă magnetopauzei:

- INTERBALL - diferențe pozitive ($\frac{\Delta\rho}{\Delta x} > 0$, *Sibeck et al., 2000*)



- CLUSTER - gradienti pozitivi ($\nabla \rho > 0$, *Decréau et al., 2001, Darrouzet et al., 2002*)



3d. Transferul de masă, energie și impuls la magnetopauză

Modelul Pătrunderii Impulsive:

- Magnetopauza este o suprafață 3D de echilibru al presiunii totale

$$\vec{\nabla}_n \cdot (\overline{\overline{P}} + \overline{\overline{T}}) = 0$$

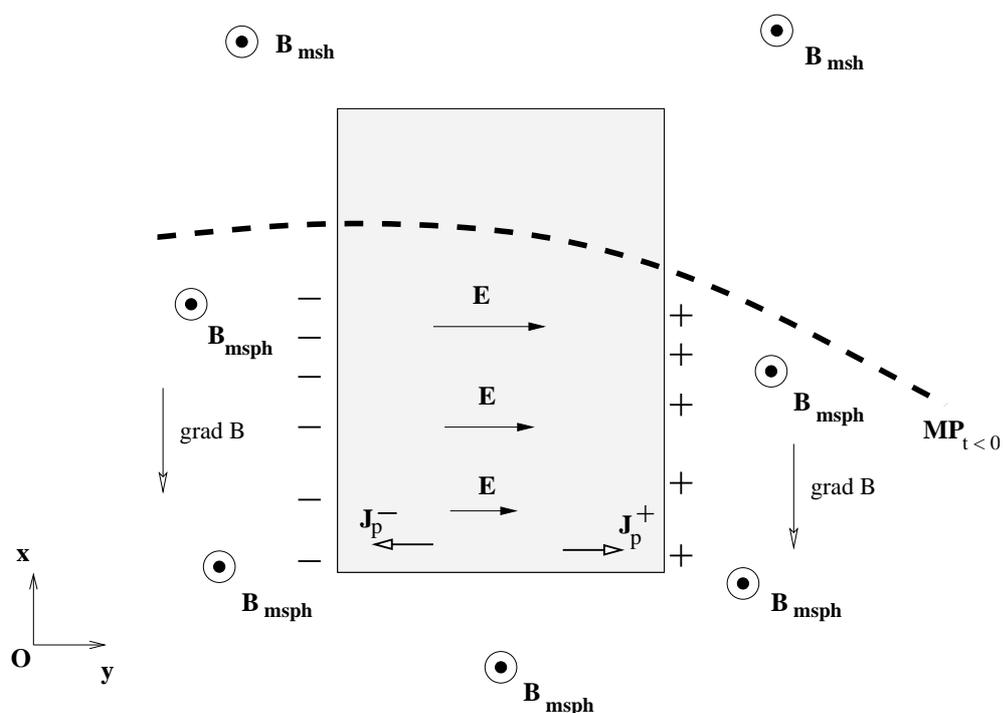
$\vec{\nabla}_n$ este derivata în direcția normală, $P_{ij} = nmw_j + p_{ij}$ tensorul flux de impuls cinetic și T_{ij} tensorul stress electromagnetic.

- Neomogenitățile din vântul solar au un exces de impuls

$$\Delta \overline{\overline{P}} = \sum_{\alpha} [(\Delta n_{\alpha}) m_{\alpha} (\mathbf{u}_{\alpha} \mathbf{u}_{\alpha} + 2\mathbf{u}_{\alpha} \Delta \mathbf{u}_{\alpha})]$$

și nu satisfac condiția de mai sus.

- Driftul diferențial al ionilor și electronilor produce sarcini spațiale care autosusțin convecția plasmoidului, după cum se prezintă schematic în diagrama de mai jos:



4. Contribuția FIRE la programul AEROSPATIAL

- Investigarea de procese fundamentale în plasma spațială, care nu pot fi reproduse în condiții de laborator.
- Participare nemijlocită la exploatarea științifică a datelor obținute în cadrul programului internațional IASTP (Inter-Agency Solar Terrestrial Program).
- Acces la instrumente hard și soft de ultimă generație. Expertiză în domeniul calculului numeric și al simulărilor orientate spre aplicații spațiale.
- Consolidarea unui grup de cercetare apt să comunice eficient în cadrul comunității științelor spațiale, în condițiile în care informația spațială tinde să intre în cotidian (space weather).
- Limitarea fenomenului de brain-drain prin crearea unui cadru stabil și civilizată de lucru într-un institut românesc.

5. Perspective

- Realizarea obiectivelor proiectului FIRE va permite o mai bună integrare a Grupului de Magnetometrie și Plasmă Spațială (GMPS) din cadrul ISS în comunitatea științelor spațiale.
- Proiectul FIRE este o componentă importantă în susținerea logistică minimală, necesară menținerii și dezvoltării colaborărilor internaționale ale GMPS:
 - Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, Garching, Germania
 - Belgian Institute for Space Aeronomy, Bruxelles, Belgia
 - Institute of Atmospheric Physics, Praga, Cehia
 - Institute of Experimental Physics, Košice, Slovacia
 - Institut für Geophysik und Meteorologie, Braunschweig, Germania
 - Space Sciences Lab., University of California, Berkeley, Statele Unite

Rezultatele științifice obținute de la demararea proiectului se datorează, într-o măsură substanțială, sprijinului oferit de partenerii externi.

- Derularea cu succes a proiectului FIRE poate conduce la inițierea unor acțiuni comune de Cercetare–Învățământ cu Facultatea de Fizică a Universității București.

Rezultate științifice

1. Ciobanu, M., H. Comișel, et al., *Magnetic field data bases: Magion 2, 3, 4 & 5 satellites*, COSPAR Colloquium *Interball and beyond*, Sofia, Februarie 2002.
2. Constantinescu, O.D., *Self-consistent model of mirror structures*, J. Atm. Sol.-Terr. Phys., 64, 645-649, 2002.
3. Constantinescu, O.D., et al., *Modeling the structure of magnetic mirrors using Cluster data*, AGU Fall Meeting, San Francisco, Decembrie 2002.
4. Constantinescu, O.D., et al., *Magnetic mirror geometry using Cluster data: case study*, STAMMS Conf., Orleans, Mai 2003.
5. Echim, M., *Test-particle trajectories in "sheared" stationary field: Newton-Lorenz and first order drift numerical simulations*, Cosmic Research, 40, 534-547, 2002.
6. Echim, M. et J. Lemaire, *Positive density gradients at the magnetopause: interpretation in the framework of the impulsive penetration mechanism*, J. Atm. Sol.-Terr. Phys., 64, 2019-2028, 2002.
7. Echim, M. et J. Lemaire, *Advances in the kinetic treatment of the solar wind magnetosphere interaction: the impulsive penetration mechanism*, in AGU's Geophysical Monograph 133 *Earth's Low Latitude Boundary Layer*, p. 169-179, eds. P. Newell and T. Onsager, Washington, 2002.

8. Echim, M., *Cross-field propagation of plasma irregularities: numerical results relevant for magnetopause investigation*, Int. Conf. on Auroral Phenomena and Solar-Terrestrial Relations, Moscova, Februarie 2003.
9. Echim, M., *The penetrability of the magnetopause tested by numerical integration of single particle orbits*, COSPAR Colloquium *Interball and beyond*, Sofia, Februarie 2002.
10. Lemaire, J., V. Pierrard, M. Echim, et al., *Recent progress in modeling the plasmasphere, energetic particles, as well as the interaction between the solar wind and the magnetosphere*, Space Scientific Research in Belgium – Space Sciences, part 2, p. 27-34, 2001.
11. Marghitu, O., A. Blăgău, et al., *FAST – CLUSTER conjunctions above the auroral oval*, STAMMS Conf., Orleans, Mai 2003.

Spin-off:

12. Marghitu, O., et al., *A new method to investigate arc electro-dynamics*, EGS-AGU Joint Assembly, Nice, Aprilie 2003.
13. Marghitu, O., et al., *3D current topology in the vicinity of an evening arc*, EGS-AGU Joint Assembly, Nice, Aprilie 2003.
14. Marghitu, O., *Auroral arc electro-dynamics with FAST satellite and optical data*, Ph.D. Thesis, Naturwissenschaftliche Fakultät der TU Braunschweig, Mai 2003.