

II. RAPORT STIINTIFIC SI TEHNIC

2014

RAPORT STIINTIFIC SI TEHNIC

1. Titlu proiect

METODE COMPUTATIONALE IN INVESTIGAREA STIINTIFICA A SPATIULUI
(COMPUTATIONAL METHODS IN SCIENTIFIC INVESTIGATION OF SPACE)
COMISIS

2. Obiective generale/specifice proiect

Cercetarile fundamentale din fizica teoretica si astrofizica ofera noi metode computationale care pot fi aplicate intr-un spectru larg de domenii ale stiintelor si tehnologiei spatiale. Obiectivul principal al proiectului COMISIS consta in studierea si dezvoltarea acestor tehnici in vederea aplicarii lor in trei directii. Prima dintre ele este dedicata evidentierii posibilelor noi efecte si masuratori cu ajutorul carora se pot testa teorii si modele alternative in astrofizica. Cea de-a doua directie se concentreaza asupra diagnosticarii plasmelor solare si spatiale. Partea a treia a proiectului este dedicata metodelor semi-analitice in studiul stabilitatii dinamice a zborului spatial supus constrangerilor.

Proiectul este realizat de un consorțiu format din trei parteneri: Universitatea de Vest din Timisoara in calitate de coordonator (CO), Universitatea din Craiova (partenerul P1) si Universitatea "Babes-Bolyai" Cluj-Napoca (partener P2). Activitatile din proiect, atat cele stiintifice cat si cele administrative-manageriale si de promovare sunt repartizate in cinci pachete de lucru (WP1...WP5) continand obiectivele si task-urile repartizate celor trei parteneri.

3. Nr. etapa / Denumire etapa

Etapa I: Formularea de ipoteze

4. Obiective etapa

Activitate I.1: Ecuații pentru fluxuri

WP1: task 1.1, task 1.2, task 1.4

Activitate I.2: Structuri magnetice in plasma solară

WP2: task 2.1, task 2.2

Activitatea I.3: Stabilitatea sateliților la perturbații mici

WP3: task 3.1, task 3.2, task 3.4

5. Rezultate planificate etapa

Rezultatele planificate pentru aceasta etapa sunt descrise in pachetele de lucru corespunzatoare si in lista de deliverabile si corespund celor din descrierea obiectivelor din proiect si anume:

- Lucrari stiintifice publicate sau in curs de publicare si/sau prezentate la manifestari stiintifice;
- Pachete de programe pentru studiul diferitelor modele cosmologice (D.1.1);
- Functii de transfer pentru transmiterea informatiei prin structura magnetica solara (D.2.1);
- Diferitele activitati si produse legate de promovare si managementul proiectului (WP4, WP5);

6. RST - raport stiintific si tehnic in extenso - maxim 20 pagini pentru etapa intermediara

6.1. Rezumatul etapei

Dupa etapele de organizare si consolidare a celor trei echipe de cercetatori din consortiu care realizeaza proiectul COMISIS s-a trecut la realizarea activitatilor de cercetare, promovare si diseminare prevazute acestei etape in pachetele de lucru corespunzatoare. Astfel au fost abordate teorii alternative de gravitatie cu aplicatii in modelele cosmologice, simultan cu realizarea pachetelor computationale de calcul simbolic, numeric si graphic necesare. Totodata s-au investigat procesele de imprastiere a ferionilor pe obiecte masive cu simetrie sferica, dezvoltandu-se metodele de calcul necesare tratarii unor astfel de procese in scopul evidentierii acelor procese astrofizice ce pot produce efecte masurabile.

In cadrul cercetarilor legate de dinamica plamei solare s-au realizat simulari de unde magnetohidrodinamice si dinamica tuburilor de flux folosind codul FLASH, modelarea propagarii modurilor sausage lente in tuburi magnetice de flux groase si s-au studiat radiatiile in campuri magnetice deterministice si stochastice.

S-a abordat de asemenea dezvoltarea un algoritm care sa permita studiul stabilitatii satelitilor supusi, in miscare lor pe orbita, actiunii unor forte perturbatoare diferite. O alta problema abordata a constat in studiul cu metode semi-analitice a dinamicii in medii turbulente simultan cu dezvoltarea metodei simetriilor si solutii de similaritate pentru ecuatiile de evolutie neliniare intalnite in dinamica atmosferica.

Toate rezultatele obtinute in cadrul cercetarilor din aceasta faza au fost valorificate prin publicarea lor in reviste de specialitate si/sau prezentarea lor la manifestari stiintifice nationale si internationale.

6.2. Descrierea stiintifica si tehnica a activitatilor si rezultatelor etapei I

Activitati realizate de coordonator (CO)

CO a desfasurat activitati de cercetare in cadrul activitatii I.1: Ecuatii pentru fluxuri - in cadrul WP1 obiectivele: "Study of alternative gravity theories for non-standard cosmologies using computational methods", "Investigations on the flow equations with computational methods", respectiv task 1.1, task 1.2, task 1.4.

In cadrul obiectivelor de mai sus s-au studiat teorii alternative ale gravitatiei cu aplicatii in modelele cosmologice si s-au dezvoltat programe in limbaj Maple pentru procesarea in calcul simbolic a acestor modele.

Sunt studiate teoriile $f(R)$ care reprezinta teorii de gravitatie modificata. Vom studia si cateva modele cosmologice simple obtinute cu ajutorul teoriilor $f(R)$. Rezultatele in extenso ale acestei cercetari pot fi consultate in baza de date: arXiv:1403.3852, unde sunt indicate si principalele referinte bibliografice.

Teoria Relativitatii Generale (TRG) continua sa fie si in prezent cea mai buna teorie a gravitatiei pe care o avem. Avand ca punct de plecare TRG pot fi construite modele cosmologice simple, cum ar fi modelele Friedman, cu ajutorul carora poate fi descrisa evolutia Universului de la Big-Bang pana in prezent. Desi TRG a trecut toate testele experimentale la care a fost supusa, exista o serie de fenomene pe care aceasta teorie nu le poate explica (cum ar fi uniformitatea radiatiei de fond, problema materiei negre sau a energiei intunecate, etc). Din aceste motive, dar nu numai, de-a lungul timpului au existat varii incercari de modificare a TRG, iar una din cele mai simple modificari

consta in adaugarea la actiunea standard Einstein-Hilbert de noi invarianti. O clasa de astfel de teorii modificate de gravitatie sunt si teoriile $f(R)$, care se obtin prin adaugarea in actiunea standard de termeni suplimentari proportionali cu diferite puteri ale scalarului Ricci. Se pot scrie trei formulari diferite ale teoriilor $f(R)$, dupa cum urmeaza: formalismul metric, formalismul Palatini si formalismul metric-afin. In cele ce urmeaza ne vom restrange la a prezenta cateva aspect de baza ale primelor doua formalisme. Ecuatiile de baza ale TRG-ului se obtin in urma variatiei actiunii Hilbert-Einstein

$$S_{EH} = \int d^4x \sqrt{-g} \frac{1}{2k} R$$

in raport cu tensorul metric $g_{\mu\nu}$ obtinandu-se in final ecuatiile Einstein

$$G_{\mu\nu} \equiv R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} = k T_{\mu\nu}$$

Pentru a obtine teoriile $f(R)$ vom modifica actiunea standard Einstein-Hilbert, noua actiune scriindu-se astfel:

$$S = \int d^4x \sqrt{-g} f(R)$$

unde prin $f(R)$ am notat o functie arbitrara care depinde doar de scalarul Ricci R . In cele mai multe cazuri functia $f(R)$ se dezvoltă in serie de puteri

$$f(R) = \dots + \frac{a_2}{R^2} + \frac{a_1}{R} - 2\Lambda + R + b_2 R^2 + b_3 R^3 + \dots$$

si include numerosi termeni foarte interesanti din punct de vedere fenomenologic. Se poate arata ca teoriile $f(R)$ sunt echivalente cu o alta clasa de teorii modificate de gravitatie, si anume teoriile de tip Brans-Dicke. In cazul formalismului metric al teoriei, actiunea poate fi scrisa sub urmatoarea forma

$$S_{met} = \int d^4x \sqrt{-g} f(R) + S_M(g_{\mu\nu}, \psi)$$

Din care dupa cateva calcule imediate se obtin noile ecuatii Einstein modificate:

$$f'(R) R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} f(R) g_{\mu\nu} - [\nabla_\mu \nabla_\nu - g_{\mu\nu} \square] f'(R) = k T_{\mu\nu}$$

Calculand urma noilor ecuatii Einstein se obtine in final urmatoarea relatie:

$$f'(R) R - 2f(R) + 3\square f'(R) = kT$$

care leaga differential scalarul Ricci R de urma tensorului energie-impuls T . Se observa ca aceasta relatie difera de cea clasica din TRG, unde $R + T = 0$, ceea ce inseamna ca noua teorie va avea mai multe solutii in comparatie cu gravitatia einsteiniana.

Formalismul Palatini al teoriilor $f(R)$ se obtine prin variatia actiunii in raport cu conexiunea, definita pe varietate, presupunand ca aceasta este independenta de tensorul metric. Actiunea in acest caz poate fi scrisa ca:

$$S_{pal} = \int d^4x \sqrt{-g} f(\mathcal{R}) + S_M(g_{\mu\nu}, \psi)$$

din care se poate observa ca actiunea materiei nu depinde de conexiune, aceasta fiind o caracteristica importanta a formalismului Palatini al teoriei $f(R)$. Ecuatiile care se obtin in urma variatiei actiunii S_{pal} in raport cu conexiunea independenta, respectiv cu tensorul metric, sunt:

$$f'(\mathcal{R}) \mathcal{R}_{\mu\nu} - \frac{1}{2} \mathcal{R} g_{\mu\nu} = k T_{\mu\nu}$$

$$\bar{\nabla}_\lambda (\sqrt{-g} f'(\mathcal{R}) g^{\mu\nu}) = 0$$

Dupa analiza modelelor cosmologice clasice care se obtin pornind de la teoria relativitatii generale (pentru detalii vezi <http://arxiv.org/abs/1403.3852>) urmeaza o sectiune dedicata modelelor cosmologice derivate din teoriile $f(R)$. Sunt analizate practic doua modele cosmologice pe care le vom descrie succint in cele ce urmeaza. Dar inainte de asta vom da cateva notiuni generale despre modelele cosmologice care pot fi construite cu ajutorul teoriilor $f(R)$.

Se considera ca la scala cosmologica Universul este omogen si izotrop. Astfel ca cele mai importante ipoteze cosmologice (legate doar de simetriile prezente in Univers) raman valide indiferent de ce teorie se foloseste pentru a construi un anumit model cosmologic. Astfel ca odata aleasa o teorie putem introduce ansatz-ul FRW, care presupune ca geometria spatiu-timpului este descrisa de metrica Friedman-Robertson-Walker

$$ds^2 = -dt^2 + a(t)^2 \left[\frac{dr^2}{1 - kr^2} + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2) \right]$$

Majoritatea modelelor cosmologice presupun ca tensotul energie-impuls este de forma unui fluid (cosmologic) perfect fiind definit de urmatoarea relatie:

$$T^{\mu\nu} = (\rho + p)u^\mu u^\nu + g^{\mu\nu}p$$

Introducand aceste doua ipoteze in noile ecuatii Einstein se obtin in final ecuatiile modelului cosmologic sau asa numite ecuatii generalizate Friedman:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 + \frac{k}{a^2} - \frac{1}{3f'} \left\{ \frac{1}{2}(f - Rf') - 3\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)\dot{R}f'' \right\} = \frac{1}{3}k\rho$$

$$2\frac{\ddot{a}}{a} + \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 + \frac{k}{a^2} + \frac{1}{f'} \left\{ 3\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)\dot{R}f'' + \ddot{R}f'' + \dot{R}^2 f''' - \frac{1}{2}(f - Rf') \right\} = -kp$$

Se pot introduce mai departe o presiune si o densitate asociate curburii spatiu-timpului cu ajutorul carora se poate define o presiune si o densitate totala date de relatiile

$$p_{tot} = p_{curv} + p, \quad \rho_{tot} = \rho_{curv} + \rho$$

astfel ca ecuatiile de mai sus pot fi puse sub forma ecuatiilor Friedman standard

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 + \frac{k}{a^2} = \frac{1}{3}k\rho_{tot}$$

$$2\frac{\ddot{a}}{a} + \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 + \frac{k}{a^2} = -kp_{tot}$$

Din ultima ecuatie se poate deduce ca daca $\rho_{tot} + 3p_{tot} < 0$ atunci factorul de scala $a(t)$ va avea o evolutie accelerata. Reamintim ca factorul de scala contine implicit si evolutia in timp a universului.

Un model cosmologic care ar putea in principiu sa descrie si expansiunea accelerata a universului (observata in prezent) este cel care presupune ca functia $f(R)$ este de forma

$$f(R) = R - \frac{\mu^4}{R}$$

Ecuatiile Friedman corespunzatoare aceste alegeri a functiei $f(R)$ sunt:

$$3H^2 - \frac{\mu^4}{12R^3} (4H\ddot{H} + 15H^2\dot{H} + 2\dot{H}^2 + 6H^4) = \frac{\rho}{M_P^2}$$

$$3H^2 + 2\dot{H} - \frac{\mu^4}{36R^2} \left(4H\ddot{H} + 9H^2 + 2\frac{\ddot{R}}{R} - 6\frac{\dot{R}^2}{R^2} + 4H\frac{\dot{R}}{R} \right) = -\frac{p}{M_P^2}$$

Facand urmatoarea transformare conforma:

$$F = \Omega^2 = 1 + \frac{\mu^4}{R^2} = \exp\left(\sqrt{\frac{2}{3}}\frac{\phi}{M_P}\right)$$

unde potentialul corespunzator noului camp scalar ϕ introdus este dat de:

$$V(\phi) = \mu^2 M_P^2 \frac{\sqrt{F-1}}{F}$$

se ajunge in final la ecuatiile de miscare in asa numitul “Einstein frame” si anume:

$$3\tilde{H}^2 = \frac{1}{M_P^2}(\rho_\phi + \tilde{\rho})$$

$$\phi'' + 3\tilde{H}\phi' + \frac{dV}{d\phi} - \frac{1-3w}{\sqrt{6}M_P^2}\tilde{\rho} = 0$$

In acest moment se impugna cateva comentarii referitoare la solutiile ecuatiilor anterioare, obtinute in ipoteza $\rho = p = 0$, adica in vid. Astfel inceputul Universului corespunde cazului in care $R \rightarrow \infty$ si $\phi \rightarrow 0$. In functie de conditiile initiale date pentru ϕ si ϕ' (unde cu prim am notat diferentierea in raport cu timpul conform), se pot distinge trei cazuri calitative de solutii:

- (a) De Sitter etern: care se obtine atunci cand campul scalar ϕ ajunge in repaus, dupa ce in prealabil a atins valoarea maxima a potentialului $V(\phi)$. Aceasta stare se obtine pentru o valoare critica a conditiilor initiale, si anume $\phi'_i \equiv \phi'_c$ situatie in care Univresul evolueaza spre o stare asimptotica de Sitter, care se dovedeste a fi o stare foarte instabila deoarece oric eperturbatie oricat de mica a campului scalar in jurul pozitiei de echilibru va determina “rostogolirea” din punctual de maxim al potentialului.
- (b) Acceleratia de tip ‘power-law’: se realizeaza atunci cand este indeplinita conditia $\phi'_i > \phi'_c$, situatie in care potentialul poate fi aproximat ca $V(\phi) = \mu^2 M_P^2 / \sqrt{F}$. In acest caz este usor de aratat ca evolutia factorului de scala va fi de forma $a(t) \propto t^2$. Astfel ca Universul va avea o evolutie tarzie inflationista de tip ‘power-law’.
- (c) Singularitatea din viitor: se obtine atunci cand $\phi'_i < \phi'_c$ caz in care campul scalar se “rostogoleste” pana ajunge in $\phi = 0$.

Un alt model cosmologic intens studiat in literatura este modelul cu ajutorul caruia se poate obtine inflatia cosmica primordiala. Acest model se obtine facand urmatoarea alegere a functiei $f(R)$:

$$f(R) = R + \alpha R^2$$

obtianadu-se in final urmatoarele ecuatii Friedman:

$$\ddot{H} + \frac{\dot{H}^2}{2H} + \frac{1}{12\alpha}H = -3H\dot{H}$$

$$\ddot{R} + 3H\dot{R} + \frac{1}{6\alpha}R = 0$$

Pentru epoca inflationara prima ecuatie Friedman de mai sus se poate rescrie ca

$$\dot{H} \approx -\frac{1}{26\alpha}$$

deoarece primii doi termeni ai ecuatiei poti fi neglijati in timpul inflatiei. Rezolvand aceasta ecuatie se obtine urmatoarea solutie pentru factorul de scala:

$$a \approx a_i \exp \left\{ H_i(t - t_i) - \frac{1}{72\alpha}(t - t_i)^2 \right\}$$

unde H_i si a_i reprezinta valorile initiale la inceputul perioadei de inflatie.

Aceste rezultate fac obiectul unei lucrari aparuta ca e-print [Ciprian A. Sporea, *Notes on $f(R)$ theories of gravity*, [arXiv:1403.3852](https://arxiv.org/abs/1403.3852)]. Totodata in cadrul activitatii legate de acest obiectiv/tematica dezvoltam o serie de programe si pachete de programe realizate in platforma de calcul simbolic Maple+GRTensorII. Programele implementeaza principalele ecuatii si marimi cosmologice aferente diferitelor modele cosmologice cu finalitate in studiul evolutiei Universului in diferite configuratii prin utilizarea facilitatilor numerice si grafice ale platformei Maple. Toate aceste programe vor fi grupate intr-o librerie de profil care va fi facuta publica odata cu publicarea lor in reviste de profil si insotita de un manual de utilizare. Partial o parte din aceste programe, avand si un caracter

educative (prin folosirea lor in procesul de predare al relativitatii generale si cosmologiei in Facultatea de Fizica de la UVT), vor fi publicate intr-un articol care va aparea in Romanian Reports in Physics.

In vederea abordarii obiectivului continut in task-ul 1.2 am studiat problema sistemelor accelerate in spatial-timp de Sitter, cercetari care au fost finalizate intr-o lucrare aparuta ca e-print (arXiv:1407.2502) si trimisa la publicat si care contine principalele referinte bibliografice pentru consideratiile ce urmeaza.

Teoria Rindler a sistemelor accelerate in spatii-timp Minkowski este cadrul geometric in care s-a descoperit efectul Unruh intensiv studiat in ultimele decade. Pe de alta parte, metrica Rindler poate fi legata formal de o anumita harta a spatiului-timp de Sitter a carei metrica este transformata conforma a celei Rindler. Ne putem intreba daca aceasta metrica descrie sau nu sisteme accelerate pe de Sitter. In acest studiu dorim sa aratam ca sistemele accelerate in aceasta geometrie au alt caracter si pot fi construite cu mijloace din teoria grupurilor. In spatii-timp Minkowski bidimensionale transformarea Rindler este definita pana la o translatie spatiala. Daca dorim o generalizare a acestei transformari va trebui sa fixam acest grad de libertate impunand conditia ca transformarea sa fie continua in raport cu acceleratia sistemului a , in punctul $a = 0$. Aceasta inseamna ca daca notam cu $\{T, X\}$ coordonatele sistemului static si cu $\{t, x\}$ pe cele ale sistemului accelerat, transformarea Rindler care are forma dorita este

$$T = \frac{e^{ax}}{a} \sinh(at)$$

$$X = \frac{e^{ax}}{a} \cosh(at) - \frac{1}{a}$$

astfel incat in limita $a \rightarrow 0$ sa avem $T \rightarrow t$ si $X \rightarrow x$. In aceasta harta metrica Rindler ia forma binecunoscuta,

$$ds^2 = dT^2 - dX^2 = e^{2ax}(dT^2 - dx^2)$$

care se comporta continuu in $a = 0$. Trebuie sa precizam ca translatia introdusa pentru a asigura continuitatea determina identitatea $i\partial_t + ai(T\partial_x + X\partial_T)$ care poate fi rescrisa in observabile cuantice ca $H_{acc} = H + aK$ unde H este operatorul energie iar K este cel al transformarilor Lorentz. Tinta noastra principala este sa generalizam transformarea Rindler pe spatii-timp de Sitter cerand ca (I) sa fie continua in $a = 0$ si (II) sa regaseasca traditional transformarea Rindler in limita plata. Prezentam deocamdata studiul in cazul bidimensional. In acest scop vom folosi metoda propusa de Nachtmann pentru construirea reprezentarilor covariante pe spatii-timp de Sitter. Ideea este de a aplica metoda de ridicare Wigner a analizei orbitale dar, de data asta, in spatiul configuratiilor in loc de impulsuri. In acest mod se pot introduce coordonate in toate hartile de pe de Sitter. Pornim cu spatiul de Sitter d -dimensional definit ca un hiperboloid de raza $1/\omega$ in spatiul plat $(d + 1)$ -dimensional de coordonate z^A (cu indici $A, B, \dots = 0, 1, 2, \dots, d$) si metrica

$$\hat{\eta} = \text{diag}(1, -1, -1, \dots, -1)$$

Orice harta locala $\{x\} = \{t, \vec{x}\}$ de coordonate x^μ ($\mu, \nu, \dots = 0, 1, 2, \dots, d - 1$) poate fi introdusa pe de Sitter dand setul de functii $z^A(x)$ care rezolva ecuatia hiperboloidului,

$$\hat{\eta}_{AB} z^A(x) z^B(x) = -\frac{1}{\omega^2}$$

Grupul $\hat{G} = SO(1, d)$ este in acelasi timp grupul ortogonal al metricii $\hat{\eta}$ si grupul de izometrie pe de Sitter. Folosim parametrizarea,

$$g(\xi) = \exp\left(-\frac{i}{2} \xi^{AB} \sigma_{AB}\right) \in SO(1, d)$$

cu parametrii reali anti-simetrice, $\xi^{AB} = -\xi^{BA}$, si generatori care au elementele de matrice

$$(\sigma_{AB})^C_D = i(\delta^C_A \eta_{AB} - \delta^C_B \eta_{AD})$$

Principalii generatori ai algebrei $so(1, d)$ cu inteles fizic sunt energia $\hat{h} = \omega \sigma_{0d}$, momentul cinetic (unghiular) $\hat{j}_{kl} = \sigma_{kl}$ ($i, j, k, \dots = 1, 2, \dots, d-1$), generatorul Lorentz $\hat{k}_i = \sigma_{0i}$, su unul de tip Runge-Lenz $\hat{r}_i = \sigma_{id}$. Cu ajutorul lor putem construi transformarile $g_h(\alpha) \equiv e^{i\frac{\alpha}{\omega}\hat{h}}$, $g_p(\vec{x}) \equiv e^{-ix^i\hat{p}_i}$ si $g_r(\theta) \equiv e^{i\theta\hat{r}_{d-1}}$ cu care vom construi operatorul de ridicare a hartii accelerate.

Aceste transformari pot fi folosite pentru a introduce diferite tipuri de coordonate pornind cu punctul fix $z_o = (0, 0, \dots, 0, \omega^{-1})^T$ asupra caruia aplicam transformari de ridicare $b(x): z_o \rightarrow z(x) = b(x)z_o$ care definesc functiile $z^A(x)$ ale coordonatelor locale. Acest formalism ne permite sa definim 1-formele $(d+1)$ -dimensionale $\hat{\omega}(x) = b^{-1}(x)db(x)z_o$ ale caror component

$$\hat{\omega}^{\hat{a}}(x) = \hat{e}^{\hat{a}}_{\mu}(x)dx^{\mu}, \quad \hat{\omega}^d(x) = 0$$

fixeaza campurile gauge si dau metrica in harta respective

$$ds^2 = \hat{\eta}_{AB}\hat{\omega}^A\hat{\omega}^B = \eta_{\hat{\alpha}\hat{\beta}}\hat{e}^{\hat{\alpha}}_{\mu}\hat{e}^{\hat{\beta}}_{\nu}dx^{\mu}dx^{\nu} = g_{\mu\nu}dx^{\mu}dx^{\nu}$$

unde $\eta = diag(1, -1, \dots, -1)$ noteaza metrica Minkowski d -dimensionala.

Cu aceste elemente putem introduce definitia pe care o propunem pentru sistemele accelerate pe de Sitter in cazul bidimensional. Postulam ca sistemul accelerat are coordonate introduse de operatorul de ridicare

$$b_{abc}(t, x) = g_r(\theta)g_h(\Omega t)g_r(-\theta)g_p(u)$$

unde g_h , g_p si g_r sunt restrictiile la doua dimensiuni ale transformarilor mentionate mai sus. Aceste depind de urmatoorii parametrii

$$\begin{aligned}\Omega &= \sqrt{\omega^2 + a^2} \\ \theta &= \arctan \frac{a}{\omega} \\ u &= \frac{1}{a}(e^{ax} - 1)\end{aligned}$$

care determina geometria sistemului accelerat. Aceste transformari dau nastere urmatoarelor 1-forme

$$\begin{aligned}\hat{\omega}^0 &= dt e^{ax} \\ \hat{\omega}^1 &= dx e^{ax} - \frac{\omega}{2a}(e^{2ax} - 1)dt \\ \hat{\omega}^2 &= 0\end{aligned}$$

care determina tensorul metric al sistemului accelerat.

$$g(t, x) = \begin{pmatrix} e^{2ax} - \frac{\omega^2}{4a^2}(e^{2ax} - 1)^2 & \frac{\omega}{2a}e^{ax}(e^{2ax} - 1) \\ \frac{\omega}{2a}e^{ax}(e^{2ax} - 1) & -e^{2ax} \end{pmatrix}$$

Acesta este rezultatul in doua dimensiuni care satisface conditiile postulate (I) si (II).

Folosind aceeasi metoda am determinat geometria sistemelor accelerate in spatii-timp de Sitter de dimensiune oarecare aratand ca intotdeauna energia sistemului accelerat este formata din energia sistemului in repaus si energia de accelerare aK specifica acestei conjuncturi.

Aceste rezultate fac obiectul unei lucrari aparuta ca e-print [Ion I. Cotaescu, *Acceleration in de Sitter spacetimes*, arXiv:1407.2502] si trimisa la publicat.

In cadrul obiectivelor cu denumirea: "Investigations on the flow equations with computational methods" si respectiv "Identifying possible effects of different cosmological models on the astrophysical measurements in space" am investigat imprastierea elastica a fermionilor pe un obiect

cosmic descris de metrica Schwarzschild ca posibil effect astrofizic detectabil prin mijloace oferite de tehnologia spatiala.

Imprastierea particulelor cuantice pe gauri negre a fost studiata folosind in special campuri cuantice scalare si electromagnetice [4-12], [20-22] deoarece se stie faptul ca ecuatiile campurilor massive nu pot fi rezolvate exact in geometria Schwarzschild. Din aceste motive imprastierea pe gauri negre a fermionilor Dirac cu masa a fost studiata doar in cazuri particulare [1], folosind o combinatie de metode analitice si numerice. In referinta [3] au fost folosite astfel de metode analitice si numerice pentru a obtine solutii ale ecuatiei Dirac in geometria Schwarzschild, solutii care au fost apoi folosite la investigarea fenomenelor de imprastiere inapoi ("glory scattering") si inainte, imprastierea in spirala, precum si a gradului de polarizare indus fermionilor dupa interactiunea cu gaura neagra. Interactiunea unei particule cuantice cu o gaura neagra este un fenomen dificil de studiat si din cauza faptului ca trebuie sa combinam marimi specifice lumii cuantice (masa, energia fermionului) cu marimii relevante la scala macroscopica (masa gaurii negre).

Astfel ne-am propus sa studiem problema imprastierii fermionilor masivi pe gauri negre folosind proprietatile analitice ale unor solutii aproximative ale ecuatiei Dirac in metrica Schwarzschild obtinute in lucrarea [13]. Aceste solutii au fost obtinute in harta care foloseste coordonatele Schwarzschild si in care se introduce gage-ul Cartezian, care are proprietatea importanta de a pastra simetria central globala a ecuatiilor de camp [14,15]. In aceste circumstante separarea variabilelor sferice se face similar problemelor centrale din relativitatea speciala [16]. Dupa separarea variabilelor unghiulare se obtine o pereche de ecuatii radiale simple, care depend doar de componentele campului in gauge-ul ales. Aceste ecuatii pot fi rezolvate analitic aproximativ in geometria Schwarzschild, dupa introducerea prealabila a coordonatei Novikov [17]. Vom folosi aceste solutii aproximative ale ecuatiilor radiale pentru studiul imprastierii elastice a fermionilor pe gauri negre folosind analiza in unde partiale. Canalul elastic va fi selectat cu ajutorul unei conditii pe frontiera bine aleasa, care va avea si rolul de a inlatura absorbtia fluxului incident in gaura neagra. Pe scurt metoda consta in identificarea diferentelor de faza dupa impunerea conditiei pe frontiera, similar cu cazul imprastierii Dirac-Coulomb din spatiul Minkowski. Astfel vom obtine in final expresii analitice pentru diferentele de faza, sectiunea diferentiala si totala de imprastiere, respectiv a gradului de polarizare indus.

Separarea variabilelor sferice pentru ecuatiile radiale aproximative, obtinute dupa introducerea variabilei Novikov, se face ca in cazul problemelor centrale din spatial Minkowski, astfel ca campul Dirac poate fi scris ca o combinatie lineara de solutii particulare cu energia data E . Solutiile de frecventa pozitiva

$$U_{E,k,m_j}(x) = U_{E,k,m_j}(t, r, \theta, \phi) = \frac{v(r)}{rW(r)^{3/2}} \left[f_{E,k}^+(r) \Phi_{m_j,k}^+(\theta, \phi) + f_{E,k}^-(r) \Phi_{m_j,k}^-(\theta, \phi) \right] e^{-iEt}$$

sunt exprimate cu ajutorul functiilor radiale $f_{E,k}^\pm$ si cu ajutorul spinorilor sferici din relativitatea speciala $\Phi_{m_j,k}^\pm$. Ecuatiile radiale poti fi rezolvate analitic, dupa introducerea unor noi functii radiale $\hat{f}^\pm$ legate de vechile functii cu ajutorul unei matrici de diagonalizate T . In cazul spectrului continuu ($\varepsilon > \mu$) solutiile vor fi o combinatie de functii special Whittaker [13]

$$\begin{aligned} \hat{f}^+(x) &= C_1^+ \frac{1}{x} M_{r_+,s}(2ivx^2) + C_2^+ \frac{1}{x} W_{r_+,s}(2ivx^2) \\ \hat{f}^-(x) &= C_1^- \frac{1}{x} M_{r_-,s}(2ivx^2) + C_2^- \frac{1}{x} W_{r_-,s}(2ivx^2) \end{aligned}$$

unde am notat

$$s = \sqrt{k^2 + \mu^2 \delta^2 - \varepsilon^2}, \quad r_{\pm} = \mp \frac{1}{2} - iq, \quad q = v + \frac{\mu^2(1 - \delta)}{v}$$

iar constantele de normalizare trebuie sa satisfaca conditiile

$$\frac{C_1^-}{C_1^+} = \frac{s - iq}{k - i\lambda}, \quad \frac{C_2^-}{C_2^+} = \frac{-1}{k - i\lambda}, \quad \lambda = \frac{\varepsilon\mu}{v}(1 - \delta)$$

Se observa ca aceste functii sunt similare cu cele de la problema imprastierii Dirac-Coulomb relativiste. Functiile $M_{r_{\pm},s}(2ivx^2)$ sunt regulate in $x=0$, in timp ce functiile $W_{r_{\pm},s}(2ivx^2)$ diverg ca x^{1-2s} daca $s > 1/2$. Folosind aceste solutii vom putea gasi amplitudinile de imprastiere ale fermionilor Dirac pe gauri negre.

Pentru aflarea diferentelor de faza vom folosi, dupa cum am amintit mai sus, metoda analizei in unde partiale. In cazul nostru cheia aplicarii metodei consta in a face mai inti observatia ca pentru valori reale ale parametrului s are loc relatia $|C_1^-| = |C_1^+|$. Aceasta relatie ne sugereaza si impunerea conditiei pe frontiera $C_2^+ = C_2^- = 0$ care va selecta spinorii regulati in origine, eliminand in acelasi timp termenii care ar putea avea o comportare asimptotica necorespunzatoare. Cu alte cuvinte, aceasta conditie selecteaza canalul elastic de imprastiere.

Folosind cele descrise anterior putem rescrie solutiile radiale ca

$$\begin{aligned} \hat{f}^+(x) &= C e^{i\xi} (2vx^2)^s e^{-ivx^2} {}_1F_1(1 + s + iq, 2s + 1, 2ivx^2) \\ \hat{f}^-(x) &= C e^{-i\xi} (2vx^2)^s e^{-ivx^2} {}_1F_1(s + iq, 2s + 1, 2ivx^2) \end{aligned}$$

Analizand aceste solutii se poate observa faptul ca ele sunt complex conjugate una alteia $[\hat{f}^+(x)]^* = \hat{f}^-(x)$, care constituie punctual de start al analizei in unde partiale. Vechile functii radiale pot fi scrise acum sub urmatoarea forma

$$\begin{aligned} f^+ &= i\sqrt{\varepsilon + \mu}(\hat{f}^- - \hat{f}^+) = \sqrt{\varepsilon + \mu} 2\Im(\hat{f}^+) \\ f^- &= \sqrt{\varepsilon + \mu}(\hat{f}^- + \hat{f}^+) = \sqrt{\varepsilon + \mu} 2\Re(\hat{f}^+) \end{aligned}$$

Facand limita $x \rightarrow \infty$ se obtine urmatoarea forma asimptotica

$$f^+(x) \rightarrow C e^{-i\pi q/2} \frac{\Gamma(2s + 1)}{\Gamma(1 + s + iq)} e^{i[\xi + vx^2 - \frac{\pi s}{2} + q \ln(2vx^2)]}$$

din care, dupa efectuarea unor calcule simple, se pot obtine diferentele de faza

$$e^{2i\delta_k} = \left(\frac{k - i\lambda}{s - iq} \right) \frac{\Gamma(1 + s - iq)}{\Gamma(1 + s + iq)} e^{i\pi(l-s)}$$

Am obtinut astfel formalismul de baza al analizei relativiste in unde partiale pe care il vom aplica in continuare la studiul imprastierii fermionilor Dirac pe gauri negre. Mentionam faptul ca in limita newtoniana rezultatele noastre sunt in concordanta cu rezultatele obtinute in cazul imprastierii pe potentiale centrale de forma $1/r$.

Amplitudinea de imprastiere poate fi exprimata in functie de diferentele de faza folosind polinoamele Legendre, astfel:

$$\begin{aligned} f(\theta) &= \sum_{l=0}^{\infty} (2l + 1) f_l P_l(\cos \theta) \\ g(\theta) &= \sum_{l=1}^{\infty} (2l + 1) g_l P_l^1(\cos \theta) \end{aligned}$$

unde am introdus amplitudinile partiale [3, 18]

$$\begin{aligned} f_l &= \frac{1}{2ip} \frac{1}{2l + 1} [(l + 1)(e^{2i\delta_{-l-1}} - 1) + l(e^{2i\delta_l} - 1)] \\ g_l &= \frac{1}{2ip} \frac{1}{2l + 1} [(e^{2i\delta_{-l-1}}) - e^{2i\delta_l}] \end{aligned}$$

cu ajutorul carora putem calcula sectiunea diferentiala de imprastire:

$$I(\theta) = \frac{d\sigma}{d\Omega} = |f(\theta)|^2 + |g(\theta)|^2$$

O alta marime relevanta pentru studiul consecintelor fizice ale rezultatelor noastre este gradul de polarizare indus, dat de formula:

$$P(\theta) = -i \frac{f(\theta)^* g(\theta) - f(\theta) g(\theta)^*}{|f(\theta)|^2 + |g(\theta)|^2}$$

In continuare vom analiza pe scurt principalele consecinte fizice ale rezultatelor noastre ale caror forma analitica arata foarte complicat si din acest motiv vom analiza rezultatele folosind reprezentarile grafice ale acestora. Analiza completa si graficele aferente pot fi gasite in lucrarea atasata prezentului raport (arXiv:1409.7201) [22]. Marimile relevante analizate sunt sectiunea diferentiala de imprastiere in functie de unghiul de imprastiere θ , sectiunea totala de imprastiere, dependenta de energie a sectiunii diferentiale pentru un unghi θ fixat, variatia gradului de polarizare P cu unghiul θ , respectiv cu masa gaurii negre. Toate aceste marimi depind de patru parametrii, dupa cum urmeaza: masa (m) si impulsul (p) fermionului incident, masa gaurii negre (M), respectiv parametrul de trunchiere L (care apare in sumele polinoamelor Lagrange). Deoarece suntem in zona asimptotica putem folosi viteza fermionului $v = p/E$ ca si parametru tinand cont de faptul ca aici energia fermionului este data de relatia $E = \sqrt{m^2 + p^2}$. Dorim sa subliniem de asemenea faptul ca rezultatele noastre analitice raman valide pentru orice valori ale unghiului de imprastiere, lucru care ne permite sa studiem pentru prima data imprastierea inainte in jurul valorii $\theta \sim 0$.

Din graficele noastre prima concluzie care reiese este ca amplitutinea de imprastiere prezinta un maxim in directia inainte ($\theta = 0$) si pe masura ce crestem unghiul de imprastiere (acesta ramanand totusi mic) incep sa apara oscilatii in sectiunea diferentiala de imprastiere. Aceste oscilatii mai sunt cunoscute in literatura si sub numele de imprastiere in spirala [23]. Se observa de asemenea ca sectiunea diferentiala de imprastiere creste daca sumele polinoamelor Legendre le efectuam cu un L din ce in ce mai mare. Aici se impugna cateva comentarii. Din punct de vedere classic imprastiera inainte reprezinta fenomenul de difractie al fermionilor pe orizontul gaurii negre. Acesta situatie este posibila doar daca lungimea de unda a particulei incidente este comparabila cu marimea orizontului gaurii negre. O alta consecinta care reiese din analiza grafica este faptul ca imprastierea inainte este mai mare in cazul vitezelor nerelativiste comparative cu cazul relativist. Acest lucru se datoreaza faptului ca lungimea de unda a unei particule cuantice ($\lambda = h/p$) este foarte mare pentru valori mici ale impulsului. Cu alte cuvinte fermionii cu impuls mic se difracta pe orizontul gaurii negre.

Vom analiza in continuare cazul imprastierii fermionilor in directia inapoi $\theta \sim \pi$. Se evidentiaza aici doua fenomene interesante. Primul consta in prezenta unui maxim in sectiunea diferentiala de imprastiere pe directia inapoi, cunoscuta sub numele de "glory scattering". Al doilea pune in evidenta prezenta oscilatiilor in sectiunea de imprastiere in jurul lui π , fenomen cunoscut sub numele de imprastiere orbitala (in spirala).

Un alt aspect interesant al rezultatelor noastre consta in faptul ca oscilatiile prezente in directiile inainte si inapoi sunt importante atata timp cat ne restrangem la valori mici ale parametrului L . Dupa o valoare critica (in jurul valorii $L=32$) imprastierea va avea loc predominant in directiile inainte si inapoi. Probabilitatea de imprastiere creste odata cu cresterea momentului cinetic al particulelor incidente.

Privitor la dependenta sectiunii de imprastiere de energie se poate observa din grafice [22] ca aceasta este mai oscianta pe directia inapoi comparativ cu directia inainte. Pe masura ce energia

creste oscilatiile tind sa devina din ce in ce mai mici, lucru valabil si pentru intreaga sectiune de imprastiere care scade cu energia si pare a tinde la o valoare constanta.

Gradul de polarizare prezinta si el un comportament oscilator ca functie de unghiul θ . Prezenta acestor oscilatii este indusa de oscilatiile prezente in imprastiera inainte si inapoi, respectiv imprastiera in spirala. Daca fixam masa fermionului incident si variem masa gaurii negre se poate vedea din grafice ca, caracterul oscilator al polarizarii se pastreaza, fapt care implica variatia polarizarii cu masa gaurii negre.

In aceasta lucrare am studiat imprastierea fermionilor Dirac masivi pe gauri negre. In abordarea noastra am folosit analiza in unde partiale aplicata unor solutii aproximative ale ecuatiei Dirac in geometria Schwarzschild. Dupa obtinerea expresiei analitice pentru diferentele de faza, induse fermionilor in urma interactiunii cu gaura neagra, am calculate sectiunile diferentiale si totala de imprastiere, precum si gradul de polarizare indus. Forma complicata a rezultatelor analitice a impus un studiu graphic al acestora in vederea analizei consecintelor fizice.

Aceste rezultate fac obiectul unei lucrari aparuta ca e-print [Ion I. Cotaescu, Cosmin Crucean, Ciprian A. Sporea, *Elastic scattering of Dirac fermions on Schwarzschild black holes*, arXiv:1409.7201] si trimisa la publicat in Phys. Rev. D.

Bibliografie selectiva:

- [1] J. A. H. Futterman, F. A. Handler, and R. A. Matzner, *Scattering from Black Holes* (Cambridge University Press, Cambridge, England, 1988).
- [2] J. Jing, Phys. Rev. D 70, 065004 (2004); Phys. Rev. D 71, 124006 (2005).
- [3] S. Dolan, C. Doran and A. Lasenby, Phys. Rev. D 74, 064005 (2006).
- [4] R. A. Matzner, J. Math. Phys. (N.Y.) 9, 163 (1968).
- [5] R. Fabbri, Phys. Rev. D 12, 933 (1975).
- [6] N. G. Sanchez, Phys. Rev. D 16, 937 (1977).
- [7] T. R. Zhang and C. DeWitt-Morette, Phys. Rev. Lett. 52, 2313 (1984).
- [8] P. Anninos, C. DeWitt-Morette, R. A. Matzner, P. Yioutas, and T. R. Zhang, Phys. Rev. D 46, 4477 (1992).
- [9] N. Andersson, Phys. Rev. D 52, 1808 (1995).
- [10] N. Andersson and B. P. Jensen, gr-qc/0011025.
- [11] C. J. L. Doran and A. N. Lasenby, Phys. Rev. D 66, 024006 (2002).
- [12] S. Chandrasekhar, *The Mathematical Theory of Black Holes* (Oxford University Press, New York, 1983).
- [13] I. I. Cot_aescu, Mod. Phys. Lett. A 22, 2493 (2007)
- [14] I. I. Cot_aescu, Mod. Phys. Lett. A 13, 2923 (1998)
- [15] I. I. Cot_aescu, J. Phys. A: Math. Gen. 33, 1977 (2000).
- [16] B. Thaller, *The Dirac Equation* (Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 1992).
- [17] I. D. Novikov, doctoral disertation, Sternberg Astronomical Institute (1963).
- [18] V. B. Berestetski, E. M. Lifshitz and L. P. Pitaevski, *Quantum Electrodynamics* (Pergamon Press, Oxford 1982).
- [19] J. Chen, H. Liao, and Y. Wang, Eur. Phys. J. C 73, 2395 (2013).
- [20] D. Batic, N. G. Kelkar and M. Nowakowski, Eur. Phys. J. C 71, 1831 (2011).
- [21] D. Batic, N. G. Kelkar and M. Nowakowski, Phys. Rev. D 86, 104060 (2012).
- [22] I.I. Cotaescu, C. Crucean, C.A. Sporea, "Elastic scattering of Dirac fermions on Schwarzschild black holes", arXiv:1409.7201.
- [23] K. W. Ford, G. A. Wheeler, Ann.Phys. 7, 259 (1959).

Activitati realizare de partenerul (P1)

Pe parcursul etapei I de desfasurare a proiectului COMISIS (noiembrie 2013 – noiembrie 2014) membri echipei de cercetare de la UCV au fost implicati in numeroase activitati legate de obiectivele propuse in proiectul COMISIS. Aceste activitati au fost atat de cercetare, cat si cu caracter educational, de promovare a stiintelor spatiale in randul tinerilor.

Vom prezenta mai intai cateva dintre rezultatele cu caracter pur stiintific obtinute in activitatea de cercetare si valorificate prin publicarea de articole in reviste recunoscute sau prin prezentari in cadrul unor conferinte internationale de prestigiu. Tematica principala pe care cercetatorii de la UCV au abordat-o in perioada aceasta a fost in principal cuprinsa in Pachetul de lucru WP3, *Semi-analytical methods in studying the stability of constrained space flight dynamics*. In cadrul acestei directie de cercetare, principalele obiective propuse in aplicatie sunt urmatoarele:

- Extinderea teoriei semi-analitice a satelitilor a lui Draper pentru studiul stabilitatii orbitei unei navete spatiale.

- Dezvoltarea unor aplicatii specifice ale teoriei stabilitatii in studiul miscarii in atmosfera turbulenta.

Dintre cele patru sarcini de lucru (tasks) care au fost asumate pentru pachetului de lucru WP3, Partenerul1 (UCV) a avut implicari importante la trei dintre ele:

1) O prima sarcina de lucru asumata (*Task 3.1*) este de a dezvolta un algoritm care sa permita studiul stabilitatii satelitilor supusi, in miscare lor pe orbita, actiunii unor forte perturbatoare diferite. Asa cum a fost propus in aplicatie, aceasta tema de cercetare este abordata de colectivul de la UCV in colaborarea cu compania CS Romania, in calitate de subcontractor si presupune utilizarea unei biblioteci (open-source software) de dinamica spatiala, OREKIT, biblioteca dezvoltata de compania mama a partenerilor mentionati, *CS Systemes d'Information*. In aceasta prima etapa a proiectului activitatea a fost una de documentare si de stabilire a unor abordari sinergice intre cei doi parteneri, Universitatea din Craiova si CS Romania.

2) O a doua sarcina de lucru care a fost urmarita pe parcursul activitatii de cercetare din aceasta etapa a constat in studiul cu metode semi-analitice a dinamicii in medii turbulente (*Task 3.2*). Ecuatiile de evolutie care descriu astfel de sisteme sunt puternic neliniare si ca urmare sunt dificil de rezolvat analitic. Ele descriu comportamente de tip haotic, existand insa cazuri in care dinamica este caracterizata prin orbite regulate (periodice). Problema principala pe care studiul unor astfel de sisteme o ridica este aceea a identificarii parametrilor din sistem care genereaza orbite regulate, precum si modalitatea in care se poate realiza controlul haosului.

3) O a treia directie de cercetare in care colectivul de la UCV a fost implicat s-a referit la „*Metoda simetriilor si solutii de similaritate pentru ecuatiile de evolutie neliniare intalnite in dinamica atmosferica*” (*Task 3.4*). Cercetatorii implicati in proiect si-au propus un transfer metodologic catre dinamica in atmosfera turbulenta a unor tehnici de control al haosului utilizate in fizica plasmei. Teoria grupurilor de simetrie Lie si procedeul reducerii de similaritate sunt principalele instrumente care permit acest transfer.

Vom detalia in continuare unele dintre contributiile efective pe aceste trei directii, contributi cuprinse in lucrari stiintifice publicate sau comunicate de membri echipei de cercetare de la UCV in perioada analizata.

- R. Cimpoiasu, R. Constantinescu - *Nonlinear self-adjointness and invariant solutions of a 2D Rossby wave equation*, Cent. Eur. J. Phys. 12(2), 81-89, (2014): lucrarea analizeaza miscarea unui fluid nevacos, barotropic, cu vorticitate nedivergenta, foarte apropiat de proprietatile uzuale ale atmosferei prin care trec navele cosmice la lansarea de pe Pamant. Ecuatia care descrie aceasta miscare este o ecuatie cu derivate parțiale de tip Rossby, puternic neliniara si fara o structura variationala. Autorii au investigat ecuatia utilizand metoda grupului de simetrii Lie si proprietatile ei de a fi autoadjuncta. Au fost identificate clase noi de solutii ale ecuatiei, unele obtinute prin metoda reducerii de similaritate, altele pe baza legilor de conservare identificate. Din perspectiva proiectului COMISIS, lucrarea aduce contributi la problematica asumata prin sarcina de lucru 3.2.

- R. Cimpoiasu - *Generalized conditional symmetries and related solutions of the Grad-Shafranov equation*, Physics of Plasmas **21**(4), 042118, (2014): lucrarea se inscrie in obiectivele propuse prin sarcina de lucru 3.4. Este studiata o ecuatie importanta din fizica plasmelor, ecuatia Grad-Shafranov cu ipoteza suplimentara a existentei unei simetrii axiale. Se utilizeaza metoda simetriilor conditionale generalizate, identificandu-se noi clase de solutii, unele deosebit de stabile (unde solitonice). Sunt evidentiata suprafetele de nivel, precum si suprafetele care corespund unor fluxuri nule. Solutiile obtinute sunt deosebit de interesante pentru plasmelor aflate la echilibru, dar pot sa fie transferate la fenomene de transport mai generale si pentru studiul stabilitatii magnetohidrodinamice.
- R. Cimpoiasu - *Symmetry reductions and new wave solutions for the 2D Burgers-Korteweg-Devries*, Rom. Journ. Phys., vol.59, Nos. 7-8, (2014), 617-624: lucrarea studiaza o versiune generalizata a ecuatiei Burgers-KdV in 2 dimensiuni. Din perspectiva proiectului COMISIS, lucrarea se incadreaza la sarcina de lucru 3.4, prezentand modul in care metoda simetriilor poate genera clase de solutii invariante la transformari punctuale de coordonate, de tipul celor descrise prin grupul de transformari Lie.
- C.N.Babalic, R.Constantinescu, V.Gerdjikov - *On Tzitzeica equation and spectral properties of related Lax operators*, Balkan Journal of Geometry and Its Applications, Vol.19 No.2 (2014) 11-22: lucrarea abordeaza probleme legate de stabilitatea solutiilor unei ecuatie importante atat in geometrie cat si in teoria sistemelor dinamice. Mai exact, sunt identificate solutii de tip soliton pentru ecuatia Titeica. Solitonii au proprietatea de a se propaga pe distante mari pastrandu-si proprietatile legate de amplitudine si de extensie spatiala. In lucrare sunt mentionate conditiile in care se pot genera astfel de formatiuni stabile ca solutii ale ecuatiei studiate si se determina spectrul de valori proprii ale operatorului Lax asociat.
- R.Constantinescu, C.Ionescu, E.Panaintescu, I.Petrisor - *Techniques for chaos control in nonlinear electronic circuits*: lucrarea a fost prezentata in cadrul conferintei internationale TIM'14 (Timisoara 20-22 noiembrie 2014) si va aparea in seria de AIP Proceedings din USA. Ea abordeaza una dintre problemele importante propuse spre abordare in proiectul COMISIS si anume dezvoltarea unei tehnici de control asupra comportamentului haotic al unui sistem dinamic neliniar. Tehnica propusa in lucrare este ilustrata pe un sistem diferential specific pentru circuitul Chua din electronica, dar ea se poate aplica si pe alte sisteme cu comportament haotic. Esenta este aceea a introducerii unor „termeni de control”. In cazul studiat in lucrare termenii de control sunt patratici si permit ajustarea comportamentului haotic fie in sensul transformarii sale in comportament regulat, fie in sensul de a evolua similar cu un alt sistem de asemenea haotic.
- Lungu, M., Lungu, R. – *Design of Full-order Observers for Systems with Unknown Inputs by using the Eigenstructure Assignment*: lucrarea a fost publicata in 2014 de revista Asian Journal of Control (ISI Journal) si este concentrata pe proiectarea unui observer cu ordin intreg pentru reconstructia starii aparatelor de zbor in cazul in care dinamica acestora este liniara si afectata de intrari necunoscute. Estimatorul de stare rezultat a fost obtinut prin combinarea a 2 observere liniare si prin adaugarea a trei termeni de robustete pentru cresterea robustetii observerului si pentru eliminarea efectului negativ al necunoscutelor ce pot aparea in cadrul dinamicii sistemului. Estimatorul de stare poate fi util in cadrul etapelor urmatoare in care se doreste, printre altele, dezvoltarea unui algoritim care sa permita studiul stabilitatii satelitilor supusi, in miscare lor pe orbita, actiunii unor forte perturbatoare diferite (Task 3.1).
- Lungu, M., Lungu, R. – *State Estimation of the Controlled Generic Reentry Vehicles via Multiple Observer*: lucrarea va aparea in Proceedings-ul conferintei internationale 16th IEEE International Conference on Mechatronics – Mechatronika 2014 (3-5 Decembrie 2014, Brno, Cehia). Lucrarea este un prim pas in ducerea la indeplinire a Task-ului 3.1 (algoritim pentru studiul stabilitatii satelitilor supusi, in miscarea pe orbita, sub actiunea unor forte perturbatoare). In cadrul lucrarii este proiectat un observer multiplu pentru estimarea starii sistemelor neliniare cu intrari necunoscute (posibile forte perturbatoare). In cadrul procesului de proiectare, se utilizeaza teoria Lyapunov si teoria inegalitatilor matriceale. Observerul este implementat software pentru dinamica liniara a unor vehicule spatiale de tip X-38 dar poate fi utilizat si pentru zborul satelitilor influentati de forte perturbatoare. Starea sistemului si perturbatiile sunt estimate si se demonstreaza ca toate componentele vectorului eroare tind rapid catre zero. Metoda liniarizarii este utilizata pentru a transforma un sistem neliniar intr-unul liniar si obtinerea unui model-multiplu (o suma de modele liniare). Pentru estimarea starii modelelor multiple se utilizeaza observerele multiple; un astfel de observer este proiectat, implementat software si validat in cadrul acestei lucrari.
- C.R. Boldea, A.L. Boldea – *On the solvability and the associated integrable hierarchy of the Gross-*

Pitaevskii equation: lucrarea a fost prezentata in 2014 la 9-th Workshop “Quantum Field Theory and Hamiltonian Systems”, Sinaia, 24-28 Sept. 2014 si urmeaza a fi publicata in revista Rom.J.Phys. In aceasta lucrare a fost propusa o reprezentare in „curbura nula” a ecuatiei unidimensionale Gross-Pitaevski (GP1), care modeleaza fenomene de tip „soliton negru” in optica neliniara. Reprezentarea propusa este utila in demonstrarea integrabilitatii complete si a solvabilitatii acestei ecuatiei prin metoda „inverse scattering”. Constructia unei ierarhii de tip AKNS de ecuatii diferentiale hamiltoniene integrabile asociate, unde fiecare hamiltonian este o integrala prima pentru ecuatie GP1, este de asemenea propusa.

- C.R. Boldea, A.L. Boldea – *A study of the symmetries of the dispersive Klein-Gordon equation from cosmology*: lucrarea a fost prezentata in 2014 la conferinta TIM14 Physics Conference – Physics without frontiers 22-23 nov. 2014, Timisoara, Romania si urmeaza a fi publicata in AIP Proc. Lucrarea prezinta un studiu concret al simetriilor ecuatiei dispersive Klein-Gordon in 1+1 dimensiuni, ecuatie care modeleaza functii de unda asociate unui camp tahionic in cazul unui Univers k-inflationist. Un numar de simetrii neobisnuite non-locale „ascunse” au fost puse in evidenta.

Firma CS Romania S.A., in calitate de subcontractor, a efectuat in 2014 prima parte a activitatii de extindere a bibliotecii de softuri OREKIT, Sarcina 3.1: „Dezvoltarea unui algoritm pentru studiul stabilitatii satelitilor in prezenta unor forte perturbative mici”. Mai exact, a fost elaborat modelul teoretic pentru stabilitatea satelitilor la perturbatii mici utilizand biblioteca OREKIT. A fost analizata teoria “Draper Semi-analytical Satellite Theory (DSST)” initiata in anii ’70 de catre Paul Cefola si colaboratorii sai in Statele Unite in scopul utilizarii acestei pentru extinderea bibliotecii Orekit; de asemenea, a fost analizata si legatura dintre teoria DSST si biblioteca OREKIT. OREKIT este o biblioteca software elaborata de catre Communications & Systems (CS), Toulouse. Biblioteca implementeaza teoria DSST si permite dezvoltarea de propagatori numerici si semianalitici pentru traiectoriile satelitare. In cadrul bibliotecii OREKIT traiectoriile satelitare se exprima atat in coordonate carteziane cat si cu ajutorul elementelor kepleriene sau echinoptiale. Teoria DSST utilizeaza insa doar elementele echinoptiale. Calculul valorilor osculatorii (care caracterizeaza traiectoria “adevarata” la un moment dat) se realizeaza prin insumarea valorilor medii si valorilor de perioada scurta. La randul lor, valorile medii se calculeaza prin integrarea unor ecuatii diferentiale, iar valorile de perioada scurta se calculeaza cu serii Fourier.

Analiza modului de implementare a teoriei DSST in biblioteca OREKIT presupune **analiza variatiilor elementelor medii de ordinul I**: 1) Armonicele zonale si tesorale ale corpului central (Armonicele zonale, Armonicele tesorale); 2) Functia perturbatoare medie in cazul celui de-al treilea corp; 3) Contributia fortei de frecare; 4) Contributia presiunii radiatiei solare, precum si **analiza variatiilor de perioada scurta**: 1) Armonicele zonale de perioada scurta; 2) Armonicele tesorale de perioada scurta; 3) Variatiile de perioada scurta ale celui de-al treilea corp; 4) Frecarea atmosferica si presiunea radiatiei solare.

Biblioteca Orekit nu contine, in versiunea actuala, structuri de date, clase, pachete software etc. care sa permita introducerea in cadrul studiului a altor forte decat cele mentionate mai inainte. In acest studiu intentionam sa modelam si actiunea unor forte care se manifesta pe o perioada scurta de timp si care sa fie diferite de fortele asociate manevrelor. Este necesar sa introducem un nou pachet software in cadrul bibliotecii, care sa fie dedicat acestor tipuri de forte. Noul pachet va fi “**org.orekit.forces.AdditionalForces**”. Noile forte vor fi modelate prin intermediul interfetei **AdditionalForceModel** care mosteneste caracteristicile generale descrise de interfata ForceModel a bibliotecii Orekit. Dintre metodele noi ale interfetei **AdditionalForceModel** amintim “computePosition” care calculeaza pozitia unui corp ceresc (asteroid, cometa etc.) a carei traiectorie si pozitie pot fi, la un moment dat foarte aproape de satelit. Trajectoriile corpurilor sunt modelate prin intermediul interfetei **TrajectoryModel**.

Activitati realizare de partenerul (P2)

Activitatile stiintifice desfasurate de echipa partenerului P2 se incadreaza in WP2 cu obiectivele: “assign to each magnetic structure a corresponding effective filter, i.e. a map of the specific physical parameters to a behavior in the frequency domain” si respectiv “combine observational and

theoretical efforts in investigating the multi-scale properties of the solar corona and diagnostics using waves and oscillations in solar plasmas” indeplinind task-urile 2.1, 2.2 si 2.3.

Simulări de unde magnetohidrodinamice și dinamica tuburilor de flux magnetice folosind codul FLASH

Corona (revelat din observații în ultraviolet extrem (EUV) și raze X) este foarte complexă, în continuă evoluție. Deosebim regiuni active (temperaturi, intensități de câmp magnetic mari) și regiuni liniștite. Sursa dinamicității coronei este mișcarea convectivă de dedesubt, celulele convective ieșind la suprafață în fotosferă. Aceste mișcări 'sucesc' în continuu liniile câmpului magnetic și duc la acumularea de stres magnetic (provocând reconexiuni magnetice), sau lansarea undelor MHD în atmosferă. Undele MHD, într-o plasmă omogenă cu câmp magnetic uniform se împart în trei moduri (sau tipuri): lente, rapide și Alfvén. Neomogenitatea sau structurarea magnetică face ca aceste moduri să devină cuplate. Pentru studiul analitic și numeric al dinamicii structurilor magnetice (în continuare, a buclelor coronale), și a propagării undelor MHD în acestea, recurgem la modelări ale acestora. Pe departe cel mai des folosit model pentru bucle coronale, atât analitic cât și numeric, este tubul de flux magnetic. (Figura 1).

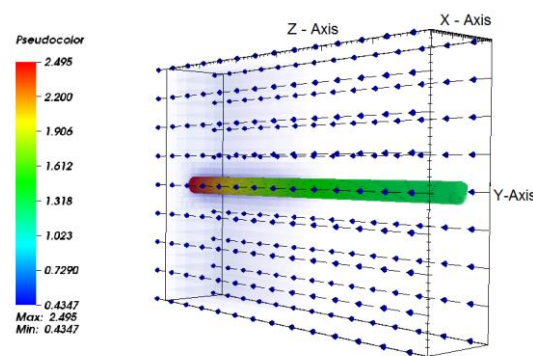


Figura 1. Tub de flux magnetic drept, cu stratificare gravitațională a densității (reprezentat prin culoare) și câmp magnetic omogen de-a lungul axei Z (vectori albaștri). Acest model reprezintă condiția inițială în exemplul de simulare FLASH prezentat. Vizualizare prin VisIt (visit.llnl.gov).

De regulă, în simulările numerice de unde MHD și nu numai, se inițializează cu un sistem în echilibru (cum ar fi în cazul din Figura 1, echilibru hidrostatic și câmp magnetic nerotațional, adică forța Lorentz zero) peste care se impun perturbații în diferite variabile (în viteză, presiune, densitate), după care se urmărește evoluția sistemului. Perturbăm tubul de flux astfel încât să rezulte unda MHD rapidă de tipul kink (deplasament al axei tubului în timpul oscilațiilor), așa cum se vede în Figura 2 și Figura 3. În imaginile secțiunii transversale a tubului în oscilație din Figura 3 se observă instabilități de tipul Kelvin-Helmholtz la marginea tubului.

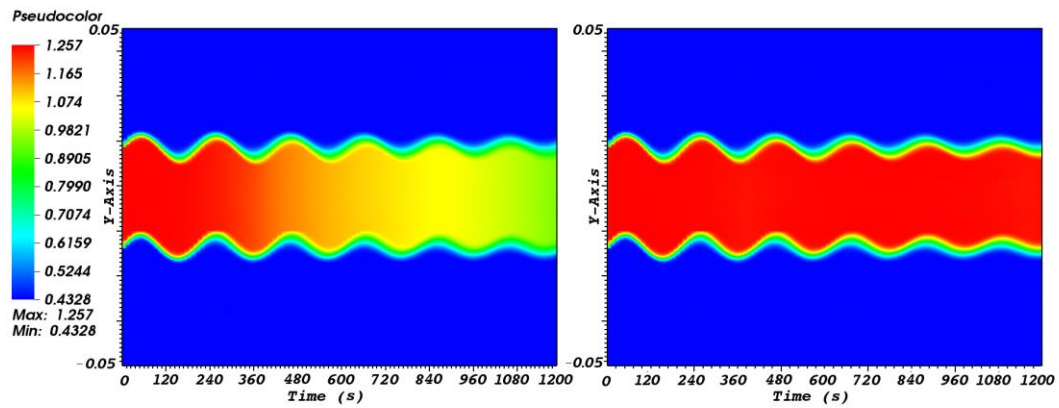


Figura 2. Evoluția în timp a poziției centrului tubului de flux. Tubul descrie o oscilație în jurul poziției de echilibru, reprezentând o undă staționară MHD rapidă.

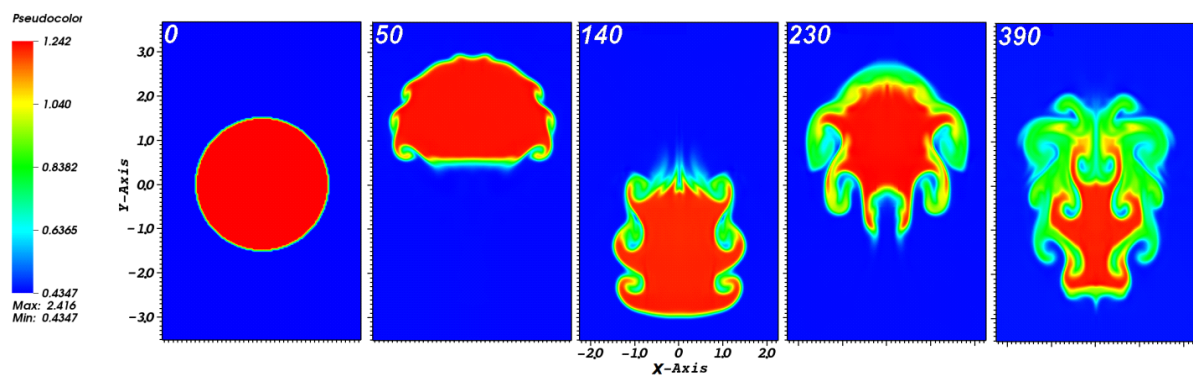


Figura 3. Aceeași simulare ca în Figura 2, văzută prin secțiunea transversală a centrului tubului de flux. Timp în secunde pe fiecare imagine în colțul stânga sus, i.e. între 50 s și 230 s avem o perioadă a oscilației.

Codul folosit pentru realizarea exemplului prezentat mai sus este codul FLASH, dezvoltat în centrul cu același nume al Universității din Chicago, SUA. Este un cod modular, multi-scop (permite selectarea gradului de complexitate al simulării prin includerea unei fizici mai complexe, la nevoie) în vederea simulării unei game largi de fenomene hidro și magnetohidrodinamice.

Modelarea propagării modurilor sausage lente în tuburi magnetice de flux groase

S-a studiat posibilitatea de a modela propagarea modurilor MHD sausage lente într-un tub de flux magnetic gros în expansiune în contextul atmosferei solare din regiunile linistite (VAL C)

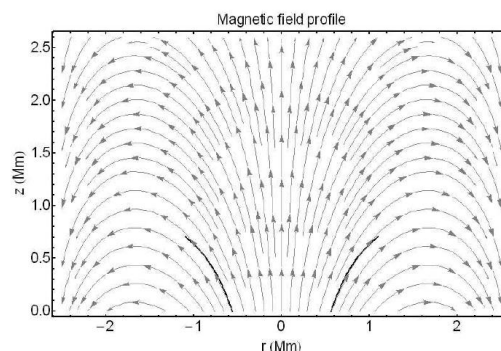


Figura 1. Reprezentarea liniilor de de camp magnetic si a tubului de flux in expansiune

Utilizand ecuatiile de baza ale magnetohidrodinamicii si modelul atmosferic VAL III C am studiat frecventele de taiere in lungul si de directie transversala tuburilor de flux magnetic groase si in expansiune.

Propagarea acestor unde s-a dovedit a fi descrisa de o ecuatie de tip Klein-Gordon.

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial t^2} - c_0^2 \frac{\partial^2 Q}{\partial z^2} + Q\omega_c^2 = c_0^2 \frac{\partial \Xi}{\partial z} e^{-c(z)},$$

unde

$$\omega_c^2 = \frac{1}{4c_0^2} \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \Gamma \right)^2 + c_0^2 \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \Gamma}{2c_0^2} \right) - \Lambda.$$

este frecventa de taiere. Datorită variației radiale a frecvenței de taier tuburile de flux acționează ca filtre de frecvență joasă.

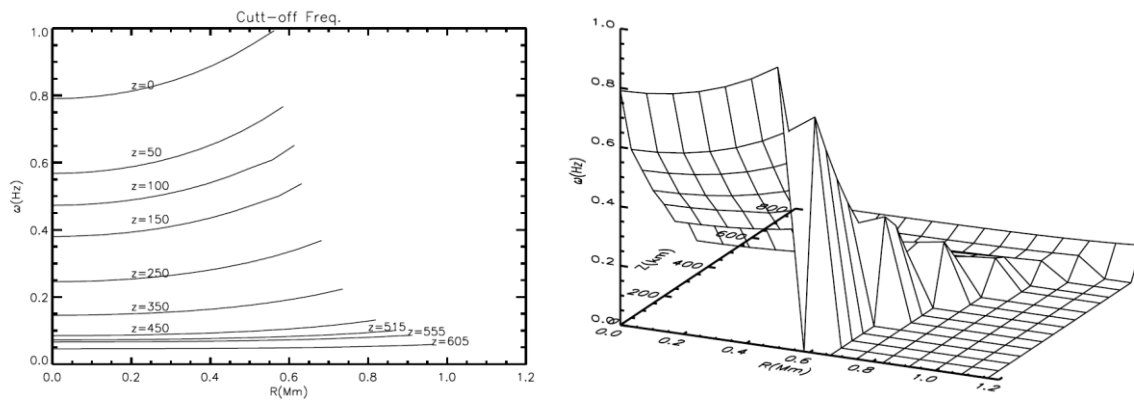


Figura 2. Variatia frecvenței de taiere în funcție de înălțimea și dimensiunea tubului de flux.

Valorile frecvenței cut-off scad cu înălțimea, ceea ce înseamnă că undele se pot propaga mai ușor dacă driverul perturbației este situat deasupra punctului de ancorare în interiorul buclei coronale și în cazul în care undele se propaga pe direcții mai apropiate de axa tubului decât pe direcții mai apropiate de limita tubului. Datorită dependenței radiale a frecvenței de cut-off, concluzionăm că regiunea din vecinătatea axei tubului permite o gamă mai largă de frecvențe de unde ce se propaga în sus decât regiunea din apropierea frontierei.

Radiatie în camp magnetic deterministic si stochastic

S-a investigat efectul perturbațiilor stohastice asupra unei configurații plasmatice date. S-a urmărit în mod particular semnatura perturbației în emisia electromagnetică în domeniul optic și pe o scală temporală de câteva ore. Aplicația propriu-zisă vizează volume de plasma aflate în discul de acretie al obiectelor supermasive. Perturbarea aplicată configurației plasmatice este dată de o variație în densitatea volumică din plasma și poate fi reprezentată analitic printr-un semnal de un anumit indice fractalic (Mocanu et al., MNRAS 2014). S-a obținut o ecuație diferențială stohastică și s-a căutat obținerea, prin rezolvarea numerică a acestei ecuații diferențiale, a unei legături între indicele fractalic al perturbației și a pantei spectrale obținute prin analiză Fourier a curbei de lumina rezultantă (Figura 1).

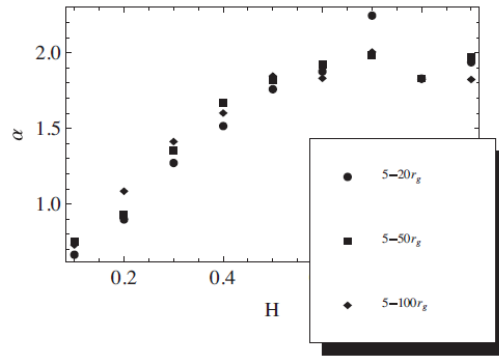


Figura 1. Panta spectrala a curbei de lumina rezultanta reprezentata in functie de indicele Hurst al perturbatiei incidente; pentru diferite marimi liniare ale discului de acretie, in unitati de raze gravitationale.

S-a analizat si cazul in care descrierea configuratiei se face in limitele teoriei gravitationale a relativitatii generale, descriere valabila pentru domeniile spatiale din discul de acretie aflate foarte aproape de singularitatea gravitationala. S-a ignorat prezenta explicita a campului magnetic, dar in descrierea analitica s-a considerat ca functia care descrie viscozitatea in plasma este un semnal nemarkovian (cu memorie) (Leung et al. EPJC 2014).

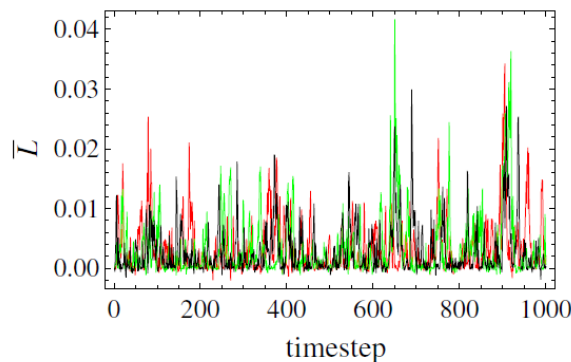


Figura 2. Curba de lumina a unui disc de acretie in descrierea teoriei gravitatiei a relativitatii generale.

Sistemul de ecuatii diferentiale obtinut descrie oscilatia verticala a volumului de plasma, viteza verticala si curba de lumina a sistemului, pentru diferite amplitudini si constante de cuplaj de memorie ale semnalului de intrare (exemplu in Figura 2).

Necesitatea analizei legaturii dintre caracteristicile statistice ale semnalului de intrare perturbator si a curbei de lumina inregistrare devine evidenta prin analiza datelor observationale. O analiza a pantei spectrale si a relatiei deviatie medie-flux (Figura 3) in cazul emisiei in optic pentru obiectul BL Lac S5 0716+714 (Danila et al. 2015 RAA), in contextual unor cercetari ample discutate in literatura, arata ca mecanismele de emisie sunt netriviiale din punct de vedere statistic. S-a demonstrat ca datele observationale analizate contrazic modelele care prezic o relatie liniara deviatie medie-flux.

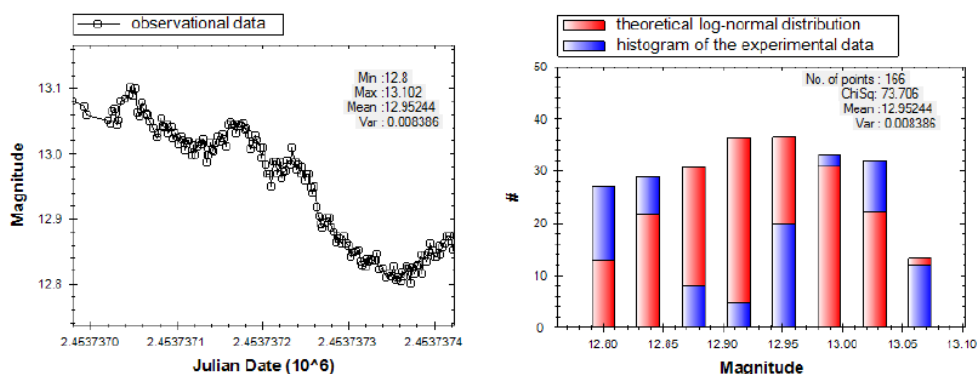


Figura 3. Stanga: curba de lumina (in unitati de magnitudine vs. timp) pentru obiectul BL Lac S5 0716+714, in domeniul optic; variabilitatea se manifesta rapid, in cateva ore. Dreapta: Histograma datelor observationale (cu albastru) cu o distributie log-normala suprapusa (rosu).

Abordarea numerica ofera rezultate calitative si cantitative pentru configuratii plasmatiche bine precizate. Se urmareste obtinerea unor rezultate comparative pentru clase de configuratii. Acest scop poate fi atins dezvoltand metodele analitice de rezolvare a ecuatiilor diferentiale intalnite in modelarea analitica a dinamicii volumelor plasmatiche in configuratii astrofizice. Un prim pas s-a realizat prin analiza proprietatilor solutiilor ecuatiilor diferentiale generate de operatori Markov (Mocanu si Rasa 2014 MJOM).

6.3. Descrierea activitatilor administrative-manageriale si de promovare

Aceste activitati ale colectivului de cercetare din cadrul proiectului COMISIS se subsumeaza pachetelor de lucru WP4 si WP5.

(a) Disemiare, comunicare, instruire si educatie (WP4)

Vom mentiona acum cateva activitati organizate de membri echipelor de cercetare de la toti cei trei parteneri (CO, P1 si P2) pe parcursul perioadei analizate, activitati care au avut rolul ca, pe de o parte, sa contribuie la cresterea vizibilitatii si recunoasterii internationale a stiintei romanesti, iar, pe de alta parte, sa atraga tinerii elevi si studenti catre studiul stiintelor in general, al celor spatiale in particular.

- Trei conferinte publice sustinute de I. Cotaescu, D. Vulcanov si M. Lungu in cadrul Zilelor Portilor Deschise de la UVT, aprilie 2014.
www.physics.uvt.ro/portideschise/
- Seminar special sustinut de Prof. P.G.O. Freund (Universitatea din Chicago) cu tema "On the strnght of interactions" in cadrul celei de a VIII-a editii a "Seminariului Schrodinger" la Timisoara, 26 Aprilie 2014
www.physics.uvt.ro/~vulcan/SCHRODINGER/Schrodinger_seminar
- Organizarea unui workshop international cu tema "*Widening Participation of CEI Countries in the EU Research Programs. Training-Research in Physics*", Bucuresti, 25-27 May 2014. Intalnirea a fost in principal adresata cercetatorilor din tarile Europei centrale si de est, propunandu-si ca obiectiv principal stimularea acestora pentru a participa in programela Horizon 2020, ESA si altele. Au fost invitati specialisti de mare tinuta, precum Lars Brink, fost presedinte al Comitetului Nobel pentru Fizica sau Ignatios Antoniadis, director al Diviziei de Fizica Teoretica de la CERN Geneva. Au fost de asemenea prezenti reprezentanti ai Biroului UNESCO de la Venetia, ai Societatii Europene de Fizica si de la Central European Innitiative din Trieste.

- Organizarea celui de al 9-lea Workshop „Quantum Field Theory and Hamiltonian Dynamics”, Sinaia 24-28 septembrie 2014. Manifestarea, devenita una dintre intalnirile de tinuta din domeniul Cosmologiei si Gravitatiei, a reunit peste 70 de participanti din Europa, America de sud si din Asia. Au fost prezenti studenti doctoranzi din Romania, Bulgaria, Serbia si alte tari din Europa de Sud-Est care au audiat peste 50 de lucrari, majoritatea din domeniul cosmologiei, teoriei corzilor sau dinamicii neliniare.
- Doi dintre membrii grupului de la UCV au raspuns invitatiei transmisa prin intermediul ROSA de a participa la activitate *Astroparty2014*, organizata in localitatea Baykal din Bulgaria, in zilele de 9-10 mai 2014. Manifestarea si-a propus realizarea unor conexiuni trans-frontaliere in planul activitatilor educative. Au fost organizate sesiuni de comunicari, activitati practice de observatii astronomice, evenimente culturale.
- O activitate de un deosebit impact asupra publicului larg iubitor al stiintelor spatiale s-a derulat la Craiova, in perioada 10-11 octombrie 2014, sub genericul „Craiova intre stele”. Un numar impresionant de participanti, de la elevi din ciclul primar pana la pensionari, au avut ocazia sa se intalneasca cu cosmonautul roman Dumitru Prunariu. A fost o excelenta propaganda pentru stiintele spatiale si o promovare mass-media intensa a proiectului COMISIS si a Agentiei Spatiale Romane.
- Workshop COMISIS organizat in cadrul conferintei internationale TIM-14 Physics without frontiers, 20-22 Noiembrie 2014, Timisoara, Romania. Conferinta este o manifestare stiintifica de impact regional. Lucrarile prezentate de membrii colectivului COMISIS au fost grupate pentru a fi prezentate intr-un Workshoop special in cadrul conferintei la sectiunea Theoretical and Computational Physics.
- A fost realizat un site web al proiectului COMISIS continand principalele informatii legate de proiect. Pe masura evolutiei lucrarilor site-ul va fi updatat corespunzator.
Adresa site: <http://cactus.physics.uvt.ro>
- In cadrul activitatilor de promovare mai sus mentionate au fost realizate afise, postere si pliante corespunzatoare.

(b) Activitati administrativ-manageriale (WP5)

Activitatile manageriale si administrative ale proiectului COMISIS se desfasoara in conformitate cu obiectivele si task-urile descrise in pachetul de lucru WP5 pentru a se asigura buna desfasurare a activitatilor de cercetare, comunicarea intre echipe, desfasurarea diferitelor activitati in conformitate cu planul de desfasurare, supravegherea activitatii financiare, etc. Pentru acestea au fost efectuate urmatoarele activitati:

- Organizarea echipelor de lucru in cadrul fiecarui colectiv la toti cei trei parteneri;
- Nominalizarea Comitetului Executiv-CE (“Steering Comitte”). CE este constituit din directorul de proiect, responsabilul partenerului P2 si un membru marcant din colectivul partenerului P1;
- Intocmirea regulamentului de functionare a CE prin consens intre membrii colectivelor. Acesta reglementeaza relatiile intre parteneri, membrii colectivelor, modul de avizare al rezultatelor, modul de organizare a intalnirilor periodice ale CE, etc.;
- Alcatuirea si organizarea unui program de intalniri (live sau on-line) intre membrii CE pentru discutarea si rezolvarea diverselor probleme;
- Stabilirea atributiilor fiecarui membru din diferitele collective (de catre directorul de proiect, responsabili si CE);
- Semnarea contractelor de colaborare a membrilor colectivului si stabilirea tarifelor orare pentru activitatea lor;
- Organizarea de seminarii stiintifice periodice in cadrul celor trei collective. De exemplu, la UVT (CO) se organizeaza un seminar saptamanal coordonat de Prof. I. Cotaescu;
- Consultari periodice intre directorul de proiect, responsabili si managerul financiar la

proiectului pe problem privind derularea cheltuielilor in cadrul proiectului.

7. Contextul si contributia la programele ESA

Deși nu ne-am propus în cadrul proiectului, în mod explicit, să dezvoltăm contribuții directe la programele ESA, totuși tematica abordată în proiectul COMISIS deschide perspective asupra posibilității contribuției la unele din programele științifice ale ESA (acestea sunt de altfel menționate și în propunerea inițială de proiect). Toate cele trei direcții de cercetare din WP1, WP2 și WP3 pot face la finalizarea lor obiectul unor propuneri de programe ESA sau de contribuție la unele programe deja existente.

8. Concluzii

Având în vedere rezultatele obținute în cadrul cercetărilor descrise mai sus, publicațiile rezultate, precum și activitățile administrative manageriale și de promovire desfășurate considerăm că activitățile desfășurate în cadrul fazei 1/2014 și-au atins în întregime scopul și obiectivele propuse și se deschid perspective pozitive asupra desfășurării acestora în fazele următoare.

ANEXA Indicatori de rezultat.

ANEXA RST

Indicatori de monitorizare/rezultat

Nr. crt.	Denumirea indicatorului	
1	sume atrase prin participarea la programele ESA (EURO)	-
2	nr. de nișe CDI identificate	-
3	nr. de programe opționale ESA la care se participă ¹	-
4	nr. de misiuni spațiale ESA la care participă entitățile implicate în realizarea proiectului ²	-
5	nr. de experimente și sarcini utile îmbarcabile la bordul misiunilor ESA	-
6	nr. de centre de profil nou înființate	-
7	nr. de institute naționale de CDI / entități de CDI / universități participante la realizarea proiectului	3 universitati
8	nr. entități din industrie participante la realizarea proiectului	1

9	nr. de companii naționale aflate în lanțul de furnizori pentru marii integratori de produse spațiale ³	-
10	ponderea participării diverselor entități în cadrul proiectului (industrie, institute naționale de CDI, entități de CDI, universități) (%) (se raportează bugetul total alocat entității pe etapă la bugetul total al proiectului)	CO: 36.84% P1: 34.84% P2: 28.32%
11	nr. de cursuri de instruire/perfecționare organizate	-
12	nr. activități de diseminare organizate (workshopuri/seminarii/conferințe etc.)	7
13	nr. cereri brevete depuse național/internațional	-
14	nr. brevete înregistrate național/internațional	-
15	nr. articole publicate sau acceptate spre publicare ⁴	12
16	nr. cărți publicate sau acceptate spre publicare ⁵	-

¹⁾ se vor preciza denumirile programelor optionale ale ESA la care se participă

²⁾ se vor preciza denumirile misiunilor spațiale ESA la care se participă

³⁾ se va preciza denumirea integratorului(ilor) de produse spațiale

⁴⁾ se anexează lista articole

⁵⁾ se anexează lista cărți

Lista lucrărilor publicate, acceptate, publicate în BDI sau prezentate la conferințe și workshop-uri în cadrul proiectului COMISIS

Coordonator:

1. Ciprian A. Sporea, "Notes on $f(R)$ theories of gravity", [arXiv:1403.3852](https://arxiv.org/abs/1403.3852)
2. Ion I. Cotaescu, "Acceleration in de Sitter spacetimes", [arXiv:1407.2502](https://arxiv.org/abs/1407.2502)
3. Ion I. Cotaescu, Cosmin Crucean, Ciprian A. Sporea, "Elastic scattering of Dirac fermions on Schwarzschild black holes", [arXiv:1409.7201](https://arxiv.org/abs/1409.7201)
4. Ciprian A. Sporea, Dumitru N. Vulcanov, "Using MAPLE+GRTensorII in teaching basics of general relativity and cosmology", Romania Reports in Physics (lucrare acceptată spre publicare).

5. Ion I. Cotaescu, C. Crucean, C. A. Sporea, "*Elastic scattering of Dirac fermions on Schwarzschild black holes*", talk presented at „The Joint Meeting on Quantum Field Theory and Nonlinear Dynamics”, 24-28 September 2014, Sinaia, Romania.
6. Ion Cotaescu, "*Covariant representations of the de Sitter isometry group*", talk presented at „The Joint Meeting on Quantum Field Theory and Nonlinear Dynamics”, 24-28 September 2014, Sinaia, Romania.
7. Ion I. Cotaescu, C. Crucean, C. A. Sporea, "*Scattering of Dirac fermions in Schwarzschild geometry*", talk presented at TIM-14 Physics Conference – Physics without frontiers, 20–22 November 2014, Timisoara, Romania.

Partener P1:

1. R. Cimpoiasu, *Generalized conditional symmetries and related solutions of the Grad-Shafranov equation*, Physics of Plasmas (1994-present), vol. 21, no. 4, 2014.
2. R. Cimpoiasu, *Symmetry reductions and new wave solutions for the 2D Burgers-Korteweg-Devries*, Rom. Journ. Phys., vol.59, no. 7-8, pp. 617-624, 2014.
3. R. Cimpoiasu, *On symmetry groups of a 2D nonlinear diffusion equation with source*, Pramana – J. Phys., Vol. x, No. X, pg. X, (2014). *In curs de publicare*.
4. R. Cimpoiasu, R. Constantinescu, *Nonlinear self-adjointness and invariant solutions of a 2D Rossby wave equation*, Cent. Eur. J. Phys., vol. 12, no. 2, pp. 81-89, 2014.
5. C.N.Babalic, R.Constantinescu, V.Gerdjikov, *On Tzitzeica equation and spectral properties of related Lax operators*, Balkan Journal of Geometry and Its Applications”, vol.19, no.2, pp. 11-22, 2014.
6. C.N. Babalic, R.Constantinescu, V.S.Gerdjikov, *On the soliton solutions of a family of Tzitzeica equations*, J. of Geometry and Symmetry in Physics, vol. 36, pp. 1-24, 2014.
7. R.Constantinescu, *Generalized conditional symmetries, related solutions and conservation laws of the Klein-Gordon-Fock equation with central symmetry*, 9-th Workshop “Quantum Field Theory and Hamiltonian Systems”, Sinaia, 24-28 Sept. 2014. *In curs de aparitie in Rom. J. Phys.*
8. R. Constantinescu, C.Ionescu, E.Panaintescu, I.Petrisor, *Techniques for chaos control in nonlinear electronic circuits*. TIM’14 Physics Conference – Physics without frontiers 22-23 nov. 2014, Timisoara, Romania. *In curs de aparitie in AIP Proc.*
9. M. Lungu, R. Lungu, *Design of Full-order Observers for Systems with Unknown Inputs by using the Eigenstructure Assignment*. Asian Journal of Control, vol. 16, no. 5, pp. 1470-1481, 2014, DOI: 10.1002/asjc.889, ISSN: 1561-8625 (ISI Journal). Factor de impact relativ revista: 1.411, Scor relativ de influenta revista: 0.433.
10. M. Lungu, R. Lungu, *State Estimation of the Controlled Generic Reentry Vehicles via Multiple Observer*. 16th IEEE International Conference on Mechatronics – Mechatronika 2014 (3-5 Decembrie 2014, Brno, Cehia.
11. C.R. Boldea, A.L. Boldea, *On the solvability and the associated integrable hierarchy of the Gross-Pitaevskii equation*. 9-th Workshop “Quantum Field Theory and Hamiltonian Systems”, Sinaia, 24-28 Sept. 2014. *In curs de aparitie in Rom.J.Phys.*
12. C.R. Boldea, A.L. Boldea, *A study of the symmetries of the dispersive Klein-Gordon equation from cosmology*. TIM’14 Physics Conference – Physics without frontiers 22-23 nov. 2014, Timisoara, Romania. *In curs de aparitie in AIP Proc.*

Partener P2:

1. B. Danila, A. Marcu, G. Mocanu, “New statistical results on the optical IDV data of BL Lac S5 0716+714”, , Research in Astronomy and Astrophysics, 2015, vol 15, no. 3

2. ", Mocanu G., Pardi A., Magyar N., Marcu A., "Appearance of an accretion disk perturbed by fractional Brownian Motion density, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2014, Vol 439, No. 4, p.3790-3797
3. Harko T., Leung C.S., Mocanu G., "Generalized Langevin equation with colored noise description of the stochastic oscillations of accretion disks", , European Physical Journal C 2014, (74) 2900
4. Gabriela Mocanu, Ioan Rasa, „C0-semigroups associated with Markov operators”, Mediterranean Journal of Mathematics, acceptat DOI 10.1007/s00009-014-0497-8

Conferinta ZAC-2014

1. "Statistical results on observed optical Intra-Day Variability of BL Lac S5 0716+714", Danila Bogdan, Mocanu Gabriela, Marcu Alexandru
2. "Numerical simulations of transverse coronal loop oscillations in cooling plasma", Magyar Norbert, Marcu Alexandru, Mocanu Gabriela
3. "GPU-enabled simulations of stellar clustering with cold dark matter and scalar field dark matter", Serban Ontanu-Craciun

Conferinta TIM 14

1. " Statistical analysis of the optical Intraday Variability of BL Lac S5 0716+714", Gabriela Mocanu, Alexandru Marcu, Bogdan Danila

Nota : Acest raport a fost intocmit de membrii colectivelor de cercetare de la cei 3 parteneri coordonate de responsabilii de proiect si avizat de Comitetul Executiv (Steering Committee) in data de 28.11.2014

Director proiect COMISIS

Prof.univ.dr. Dumitru VULCANOV