

Contractor: INSTITUTUL DE STIINTE SPATIALE-FILIALA INFLPR

Cof fiscal: 28 52 11 06

## RAPORTUL DE FINALIZARE AL PROIECTULUI

- date privind finalizarea proiectului -

**DENUMIRE PROIECT:** Studii și tehnologii avansate în fizica energiilor înalte și astrofizică

### OBIECTIV:

Obiectivul general al proiectului:

**Dezvoltarea de modele pentru jeturile de plasmă relativiste și interacții dintre nucleele relativiste, realizarea de studii experimentale și tehnologii pentru astrofizică și energii înalte**

Obiectivele specifice ale proiectului au fost următoarele:

**OS1: Studii ale modelelor de interacție elementară ale particulelor și nucleele relativiste la energii înalte ;**

**OS2: Studii ale jeturilor de plasmă relativiste produse de găurile negre;**

**OS3: Studii ale sistemelor de detecție a radiației cosmice la sol și în spațiu;**

**OS4: Studiul reacțiilor nucleare la energii mai mari de câțiva GeV, relevante pentru astrofizică;**

**OS5: Studiul tehnologiilor de producere a energiei electrice în spațiu și ale sistemelor de propulsie ionice.**

### DATE DE IDENTIFICARE CONTRACTOR

- Nr. contract 4N/2016 cod proiect: PN 16 47 02 01

- Perioada de implementare a proiectului:

- data începerii .....MART..... ....2016.....  
(luna) (an)

- data finalizării: ....DEC..... ....2017.....  
(luna) (an)

-valoare totală a proiectului 5.450.000 lei

### CONȚINUT TEMATIC:

Din punct de vedere al subiectelor de cercetare abordate, proiectul **PN 16 47 02 01** s-a desfășurat pe zece direcții de cercetare distincte:

(1) **Studiul jeturilor de plasmă relativistă** generate de găurile negre aflate în centrul galaxiilor cu nucleu activ (GNA). În particular, a fost dezvoltat un model de injectare a unui jet

relativist într-un mediu ambient aflat în repaus alcătuit din plasmă nemagnetizată. Codul numeric corespunzător a fost rulat în paralel pe sute de procesoare. De asemenea, au fost considerate și cazurile jeturilor relativiste cu câmpuri elicoidale în care s-a pus în evidență formarea a noi tipuri de șocuri, în timp ce instabilitățile cinetice bine-cunoscute, precum instabilitățile Weibel, Kelvin-Helmholtz și Mushroom, sunt suprimate.

- (2) **Studiul radiației cosmice ultra-relativiste** prin experimentul la sol AUGER. Simulările jerbelor produse radiațiile ultra-relativiste cer un timp foarte mare de calcul. De aceea calculele de simulare și stocarea datelor se fac în sisteme distribuite de calcul GRID în organizația virtuală VO AUGER. În cadrul acestei direcții, în ISS s-a dezvoltat infrastructura de calcul și stocare și s-a realizat conectarea la sistemul GRID internațional.
- (3) **Modele atmosferice pentru detecția optică** a radiației UV, emise de jerbele radiațiile cosmice, cu sisteme de observare pe satelit. În particular, calibrarea detectorilor de fluorescență și efectele atmosferei terestre asupra propagării radiației UV emise reprezintă subiecte de foarte mare însemnătate pentru determinarea cu precizie a energiei jerbelor. De aceea, în cadrul acestei direcții s-a realizat o analiză a calibrării detectorilor orbitali de fluorescență UV provenită de la jerbele atmosferice extinse prin iluminare directă și indirectă. În acest sens, a fost utilizat un pachet de software numit GBSatCal (Ground-Based Satellite Calibration), dezvoltat anterior în cadrul ISS, care permite simularea efectelor atmosferice asupra propagării fasciculului provenit de la sursa de calibrare, funcție de mai mulți parametri operaționali ai acesteia.
- (4) **Reacții de disociere electromagnetică** produse la interacția fasciculelor de nuclee cu energii de câțiva GeV per nucleon, produși de Nuclotronul de la IUCN, cu nucleele din emulsia nucleară. Au fost studiate experimental clusterizările nucleelor din starea finală în trei sau patru nucleoni în interacțiile de disociere electromagnetică.
- (5) **Moduri colective cu fascicule radioactive** în vederea aplicării în fizica nucleară și astrofizică. S-au realizat simulări Monte Carlo folosind codul de simulare FLUKA pentru înțelegerea modurilor colective cu fascicule radioactive.
- (6) **Model de interacții nucleare bazat pe teoria haosului**, ca un model concurent în studiul interacțiilor nucleelor la energii foarte înalte relevante pentru fizica studiată la ultimele acceleratoare, cum ar fi LHC-CERN și RHIC-Brookhaven
- (7) **Interacțiile particulelor și nucleelor relativiste** – la energii atinse la colidererele LHC-CERN și RHIC-Brookhaven - pentru determinarea unor tranziții de fază în materia supusă unor condiții extreme de temperatură și presiune, cât și caracterizarea unor fenomene specifice cromodinamicii cuantice și anume crearea de jeturi partonice.
- (8) **Sisteme de detecție în fizica energiilor înalte și astrofizică**, bazate pe senzori de Si și GaAs segmentați în pad-uri. Studiul senzorilor de Si și GaAs, în vederea folosirii lor pentru detecția particulelor încărcate, în experimente în spațiu sau la acceleratoare, se încadrează în studiile de ultimă generație ale sistemelor de detecție care își mențin caracteristicile pentru un timp mare în câmpuri radioactive intense. În particular, au fost studiați senzori de Si și GaAs cu pad-uri intercalați cu absorbânți de wolfram pentru detecția jerbelor electromagnetice, care au fost produse în întreg ansamblu la trecerea electronilor și/sau miuonilor, cu energii de ordinul GeV, produși de acceleratorii DESYII-Hamburg și PS-CERN, Geneva.
- (9) **Celule solare** multi-joncțiune de tip ZnS/CdS/CdTe în vederea folosirii lor în aplicații spațiale. În particular, a fost studiată influența radiațiilor asupra caracteristicilor acestor celule solare.
- (10) **Propulsia ionică** cu aplicații în științele spațiale. În particular, au fost studiate procesele interacției materiei cu undele electromagnetice necesare propulsiei ionice.

**FORMA DE FINALIZARE A PROIECTULUI** (se va marca o singură căsuță)

- 1. Studii
- 2. Standarde, normative, prescripții, metodologii
- 3. Produse program
- 4. Tehnologii
- 5. Realizarea de produse, echipamente, instalații, standuri, etc.
- 6. Alte forme (*nominalizați*)

#### **PERFORMANȚE REALIZATE:**

1. Dezvoltarea unui cod numeric global (Nishikawa et al. (2016a) ) care utilizează metoda particula-in-celula (PIC) pentru a simula injectarea unui jet relativist de forma cilindrica intr-un mediu ambiant aflat in repaus alcătuit din plasma nemagnetizată.
2. Studiul jeturile relativiste care conțin câmpuri magnetice elicoidale. Rezultatele obținute au fost publicate in Nishikawa et al. (2016) si prezentate in cadrul conferinței Frontiers in Black Hole Astrophysics, International Astronomical Union Symposium, Ljubljana, Slovenia, 2016.
3. Analiza rezultatele, folosind o metoda pur cinetica (i.e., PIC), a indicat formarea, la nivel microscopic, a unor noi tipuri de șocuri in jeturile de plasma relativiste datorita prezentei câmpurilor magnetice elicoidale, in timp ce instabilitățile cinetice bine-cunoscute, precum instabilitățile Weibel, Kelvin-Helmholtz si Mushroom, sunt suprimate.
4. Realizarea infrastructurii ISS GRID dedicata organizației virtuale VO-Augur și software-ul necesar pentru monitorizarea activității infrastructurii.
5. Analiză a calibrării detectorilor orbitali de fluorescență UV provenită de la jerbele atmosferice extinse prin iluminare directă și indirectă. În acest sens, a fost utilizat un pachet de software numit GBSatCal (Ground-Based Satellite Calibration)
6. Studiul experimental pentru punerea în evidență a) a *clusterizării în nuclee de  $^3\text{He}$*  prin fragmentarea nucleelor de  $^6\text{Be}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^8\text{B}$ ,  $^9\text{C}$ ,  $^{10}\text{C}$ ,  $^{11}\text{C}$ ,  $^{12}\text{N}$  în emulsia nucleară b) a *clusterizării în particule  $\alpha$*  prin fragmentarea nucleelor de  $^{12}\text{C}$  (3),  $^{16}\text{O}$  (4),  $^7\text{Li}$  (+d),  $^{14}\text{N}$  în emulsia nucleară și c) a *clusterizarea în nuclee de tritiu* a nucleelor de  $^{11}\text{B}$ ,  $^{15}\text{N}$ ,  $^7\text{Li}$  în emulsia nucleară, la energii de ordinul a câtorva GeV pe nucleon.
7. Studiul comportării codului de simulare FLUKA privind modurilor colective din nuclee stabile și exotice.
8. Studiu comparativ CMBE (ultima versiune publicata si cea modificata in cadrul celor doua faze din 2017) – HIJING – experimentul PHOBOS – experimentul BRAHMS, cu privire la ciocnirile nucleare produse la energia maxima atinsa la acceleratorul RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider) de la BNL (Brookhaven National Laboratory).
9. Investigarea curgerii eliptice produse în ciocniri Pb-Pb la energii disponibile la LHC-CERN, si anume 2.76 TeV si 5.02 TeV. Au fost realizate simulari cu codul AMPT, varianta standard si varianta SM-string melting, compararea rezultatelor celor doua versiuni permițând determinarea unor posibile modificări ale comportării curgerii eliptice datorita formarii plasmei de cuarci si gluoni in aceste ciocniri.
10. Studiul dependenței coeficientului curgerii eliptice,  $v_2$ , in funcție de impulsul transversal pentru mai multe tipuri de particule identificate, produse in ciocniri (pioni incarcați, kaoni încărcăți, protoni, antiprotoni, lambda si anti- $\Lambda$ ,  $\Xi$  si anti- $\Xi$ ). S-a observat o ordonare a coeficientului  $v_2$  cu masa de repaus a particulelor. Pentru o anumita valoare a impulsului transversal,  $v_2$  descrește cu creșterea masei hadronilor.
11. Analiza dependenței de centralitate a curgerii eliptice pentru pioni, kaoni, protoni si antiprotoni pune în evidență că  $v_2$  are cele mai mari valori in cazul ciocnirilor periferice

- Pb-Pb ( $9 < b < 15$  fm) pentru toate tipurile de particule studiate, iar valorile cele mai mici sunt in cazul ciocnirilor centrale ( $0 < b < 5$  fm). In cazul dependentei de energie, coeficientul  $v_2$  creste cu energia, atat in cazul ciocnirilor Pb-Pb semi-centrale ( $5 < b < 9$  fm), cat si in cazul ciocnirilor Pb-Pb periferice ( $9 < b < 15$  fm), pentru toate tipurile de particule studiate.
12. Studiul coeficientului  $v_2$  scalat la numarul de cuarci,  $v_2/n_q$  în funcție de energia cinetica transversala per cuarc,  $KE_T/n_q$ , unde  $KE_T$  este definita ca:  $KE_T = m_T - m_0$  ( $m_T$  este masa transversala, iar  $m_0$  este masa de repaus), pentru particulele identificate produse in ciocniri Pb-Pb la cele doua energii disponibile la LHC.
  13. Dezvoltarea de algoritmi de calcul și implementarea lor în software C++, utilizând clasele software din ROOT și CLHEP, pentru prelucrarea datelor experimentale achiziționate la prototipurile experimentale cu senzori de GaAs și Si, utilizate cu telescoape pentru reconstrucția fasciculului de electroni incidenti.
  14. Dezvoltarea de coduri software în C++, folosind pachetul Geant4, pentru simularea aranjamentelor experimentale cu Gas și Si, care au fost expuse în fasciculele de electroni de la acceleratorul de la DESY II și fasciculele combinate electroni, muoni și hadroni de la acceleratorul PS-CERN.
  15. Studiu al celulelor solare multi-strat pe baza de ZnS/CdS/CdTe au arătat că a) spectrele de absorbție ale straturilor multi-joncțiune sunt in buna concordanta cu cele raportate in literature de specialitate, b) valorile gap-lui energetic confirma o buna calitate a acestor structuri și c) Spectrul eficienței cuantice a structurii fotovoltaice MJ acopera un interval larg de lungimi de unda din spectrul solar la nivel terestru. Rezultatele obținute susțin folosirea compușilor de tipul A2B6 ca surse de energie pentru aplicații spațiale.
  16. Studiu pentru a) investigarea teoretica a absorbției microundelor de catre metale, b) determinarea experimentală a absorbției microundelor de către metale cu conductivitate electrica diferita și c) analiza microparticulelor metalice obtinute prin vaporizarea metalelor in camp de microunde

**ESTIMĂRI PRIVIND APLICABILITATEA/IMPACTUL REZULTATELOR PROIECTULUI ASUPRA DOMENIILOR** (se vor marca câte căsuțe sunt necesare)

- |  |                                       |                          |                                     |
|--|---------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| 1. <input type="checkbox"/>            | Retehnologizarea unităților economice | <input type="checkbox"/> | 8. Reciclarea materialelor          |
| 2. <input checked="" type="checkbox"/> | Modernizarea produselor               | <input type="checkbox"/> | 9. Optimizarea deciziei             |
| 3. <input checked="" type="checkbox"/> | Realizarea de produse noi             | <input type="checkbox"/> | 10. Protecția mediului              |
| 4. <input type="checkbox"/>            | Creșterea productivității             | <input type="checkbox"/> | 11. Protecția muncii                |
| 5. <input type="checkbox"/>            | Evitarea/reducerea importului         | <input type="checkbox"/> | 12. Protecția vieții și a sănătății |
| 6. <input type="checkbox"/>            | Reducerea consumurilor energetice     | <input type="checkbox"/> | 13. Creșterea calității vieții      |
| 7. <input type="checkbox"/>            | Reducerea consumurilor de materiale   | <input type="checkbox"/> | 14. Asigurarea calității            |
15. Consolidarea domeniilor de specializare inteligentă  
 16. Formarea resursei umane in domenii inovative  
 17. Cunoașterea științifică și tehnică

**ALTE TIPURI DE REZULTATE:**

Lucrări publicate  
internaționale

(numeric)

.....

Comunicări științifice

(numeric)

.....

Propuneri proiecte

(numeric)

.....

În țară .....	În țară .....	Propuse .....
În străinătate .....	În străinătate .....	Acceptate .....

**BREVETE PROPUSE:**

Nr. Crt.	Titular (Nume și prenume)	Titlu brevet

**BREVETE ACCEPTATE:**

Nr. Crt.	Titular (Nume și prenume)	Titlu brevet	Nr. Brevet

**LUCRĂRI PUBLICATE ÎN ȚARĂ:**

Nr. Crt.	Autor (Nume și prenume)	Editura	An apariție	Cod ISBN
1	I.Duțan	Romania Reports în Physics, Vol. 68, Nr.3 (2016) 1060-1068	2016	
	C. Ristea, et al	Acceptat pentru publicare în Romanian Reports in Physics		

**LUCRĂRI PUBLICATE ÎN STRĂINĂTATE:**

Nr. Crt.	Autor (Nume și prenume)	Editura	An apariție	Cod ISBN
1	Abdellaoui, G.,..., Dutan, I.,..., et al.	Trimis în 2017 la: Planetary and space science	Prob.2018	
2	E. Firu, V. Ghenescu., A.T.	Aprobat pentru	Prob.2018	

	Neagu, T. Preda I.S. Zgura et al.	publicare în Eur. Phys. J. C		
3.	E. Firu, V. Ghenescu., A.T. Neagu, T. Preda I.S. Zgura et al	Eur.Phys.J. C77 (2017) no.7, 475	2017	
3	I. Dușan, et al.	Astrophysical Journal, 820, 94, 2016	2016	
4	Maria Haiduc, Alina Tania Neagu, Elena Firu et al.	Phys.Part.Nucl. 48 (2017) no.6, 960-963	2017	
5	Maria Haiduc, Alina Tania Neagu, Elena Firu et al.	Phys.Part.Nucl. 48 (2017) no.6	2017	
6	Maria Haiduc, Alina Tania Neagu, Elena Firu et al.	Phys.Part.Nucl. 48 (2017) no.6, 910-913	2017	
7	Maria Haiduc, Alina Tania Neagu, Elena Firu et al.	Eur.Phys.J.Plus 132 (2017) no.5, 229	2017	
8	Maria Haiduc, Elena Firu et al.	Int.J.Mod.Phys. E26 (2017) no.4, 1750016	2017	
9	Maria Haiduc, Alina Tania Neagu, Elena Firu et al.	Can.J.Phys. 95 (2017) no.8, 715-719	2017	
10	Maria Haiduc, Alina Tania Neagu, Elena Firu et al.	Acta Phys.Polon. B47 (2016) 2347-2359	2017	
11	Maria Haiduc, Alina Tania Neagu, Elena Firu et al.	Eur.Phys.J. A52 (2016) no.9, 301	2016	
12	Maria Haiduc, Alina Tania Neagu, Elena Firu et al.	JETP Lett. 103 (2016) no.10, 618-623	2016	
13	Maria Haiduc, Alina Tania Neagu, Elena Firu et al.	Pisma Zh.Eksp.Teor.Fiz. 103 (2016) no.10	2016	
14	Maria Haiduc, Alina Tania Neagu, Elena Firu et al.	Can.J.Phys. 94 (2016) no.9, 884-893	2016	
15	Genescu V.	Nucl.Part.Phys.Proc. 273-275 (2016) 2545-2547	2016	
16	Ghenescu V.	Nucl.Instrum.Meth. A845 (2017) 515-519	2017	

#### COMUNICĂRI ȘTIINȚIFICE ÎN ȚARĂ:

Nr. Crt.	Titlu manifestare științifică	Autor (Nume și prenume)
1	A New Possibility to describe Relativistic Nuclear Reactions with Chaos Many-Body	E. Stan, D. Felea, I.V. Grossu, C. Beșliu, Al. Jipa, I.S. Zgură

	Engine Simulator (CMBE)", Annual Scientific Conference of the Faculty of Physics, University of Bucharest (Session no. 4 - Nuclear and Elementary Particles Physics), 23 June 2017 (prezentare	
2	Anisotropic flow in heavy ion collisions, Sesiunea anuala de comunicari stiintifice a Facultatii de fizica	Alexandra Neagu, C. Ristea

#### COMUNICĂRI ȘTIINȚIFICE ÎN STRĂINĂTATE:

Nr. Crt.	Titlu manifestare științifică	Autor (Nume și prenume)
1	Particle-in-cell Simulations of Global Relativistic Jets with Helical Magnetic Fields, New Frontiers in Black Hole Astrophysics, <i>Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium</i> , Volume 324, pp. 199-202	Dutan, I., et al
2	EPJ Web Conf. Volume 138, 2017 <i>XXIII International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics (Baldin ISHEPP XXIII)</i>	Maria Haiduc, Alina Tania Neagu, Elena F et al.
3	<i>14th Vienna Conference on Instrumentation (VCI 2016)</i>  <i>15-19 Feb 2016. Vienna, Austria</i>	Ghenescu V.

**PARTICIPARI IN PROIECTE INTERNATIONALE** pe baza rezultatelor obținute in proiectele nucleu

- Număr proiecte/ denumirea programului internațional/ competiția/ statutul in cadrul consorțiului proiectului.

#### ACHIZIȚII EFECTUATE

(Dotări)

Nr. Crt.	Denumire	Cantitate	U.M.	Destinația prevăzută

#### PRODUSE SAU TEHNOLOGII\*)

(în cazul în care rezultatele sunt din această categorie)

Denumire:

.....

Domeniu de aplicabilitate:

.....

Prezentare generală:

.....

Principalele caracteristici tehnice:

.....

Efecte socio-economice și de mediu:

.....

Potențiali producători / Furnizori de servicii:

.....

Potențiali utilizatori:

.....

DIRECTOR GENERAL

DIRECTOR DE PROGRAM

RESPONSABIL PROIECT

*(Numele și prenumele)*  
*(Semnătura)*

*(Numele și prenumele)*  
*(Semnătura)*

*(Numele și prenumele)*  
*(Semnătura)*

*\*) Se prezinta fotografii, schite, scheme s.a. dacă este cazul.*