

Contractor : *INSTITUTUL DE STIINTE SPATIALE-FILIALA INFLPR**Cod fiscal : 28521106*

**Raport anual de activitate
privind desfășurarea programului nucleu
Cercetari avansate de laseri - plasma - radiatie - spatiu**

Acronim: **LAPLAS IV**Contractul nr.: **4N/2016**

Obiectivul 2 ISS: Cercetări fundamentale, aplicative și specializare inteligentă în domeniul științelor și tehnologiilor spațiale

**Proiect 3: Studii și tehnologii avansate în fizica energiilor înalte și astrofizica
anul 2016**

Durata programului: **2 ani**Data începerii: **2016**Data finalizării: **2017**

1. Scopul programului: Dezvoltarea de modele pentru jeturile de plasma relativiste și interacții dintre nucleele relativiste, realizarea de studii experimentale și tehnologii pentru astrofizica și energii înalte.

2. Modul de derulare al programului:

Fazele realizate în cadrul Proiectului PN 16 47 02 01 „Studii și tehnologii avansate în fizica energiilor înalte și astrofizică” sunt date mai jos, cu un mic abstract pentru fiecare.

Faza nr. 1: *“Studiul experimental și simulări Monte Carlo pentru senzorii subțiri din GaAs și Si cu potențial de utilizare în științele spațiale”* (responsabil Dr. T. Preda)

În cursul desfășurării acestei faze au fost dezvoltate programe software orientate pe obiecte pentru prelucrarea unui volum mare de date experimentale, colectate de la prototipuri de calorimetre electromagnetice cu absorbanți de wolfram, de 3.5 mm grosime, și cu senzori cu pad-uri din GaAs sau Si ca elemente senzitive (pad-urile având dimensiuni de ordinul câtorva milimetri). Aceste prototipuri au fost expuse în fascicule colimate de electroni cu energia de 2 GeV, de la acceleratorul DESY II, Hamburg, Germania și, de asemenea, în fascicule de electroni, muoni și hadroni de 5 GeV, de la acceleratorul PS – Proton Synchrotron, CERN, Geneva. Construcția prototipurilor – senzorii cu pad-uri, plăcile de wolfram cu înaltă planietate, structura metalică ce permite o aliniere de înaltă precizie a plăcilor de wolfram și a senzorilor, ASIC-urile pentru electronica front-end bazate pe tehnologia IBM CMOS 130 nm, ASIC-urile pentru ADC-urile multicanal, concentratorii de date etc. – a fost realizată în cadrul colaborării internaționale FCAL care drept scop dezvoltarea de calorimetre forward, pentru măsurarea cu înaltă precizie a luminozității la viitoarele collideere liniare electron-positron ILC-Japonia și/sau CLIC-CERN. Infrastructura adițională pentru măsurătorile de la acceleratori, cum ar fi: telescoapele de înaltă precizie cu detectori cu pixeli sau stripuri pentru reconstrucția traiectoriilor particulelor din fasciculul incident, detectorii Cerenkov, sistemele de triggerare și achiziție etc. – a fost finanțată prin programul European AIDA (Advanced European Infrastructures for Detectors and Accelerators).

Au fost dezvoltați algoritmi de analiză a semnalelor electrice într-un stil original, considerând întregul eveniment, care conține date pentru fiecare senzor, fiecare chip de electronică și fiecare canal de electronică. Software-ul dezvoltat a permis: (a) “omogenizarea” datelor printr-un proces iterativ; (b) extragerea zgomotului comun (CMN) per fiecare chip, utilizând în calcule 8 canale de electronică, în loc de 4 cât utilizează alte grupe, ceea ce a permis reducerea zgomotului cu aproximativ 60%. A fost realizată o metodă originală de separare a electronilor de muoni, permițând o calibrare energetică foarte bună și o analiză a fluctuațiilor pierderilor de energie de tip Landau în straturile subțiri ale senzorilor și, de asemenea, determinarea cu precizie a evoluției pe longitudinală a jerbei electromagnetice.

Au fost dezvoltate programe în C++ de simulare Monte Carlo a întregului set-up experimental pe baza claselor din toolkit-ul GEANT4 pentru trasarea particulelor în detector și interacția acestora cu substanța. Rezultatele obținute privind fluctuațiile pierderilor de energie prin ionizare ale muonilor în senzorii subțiri de siliciu și arseniură de galiu sunt în bună concordanță cu rezultatele noastre experimentale.

Faza nr. 2: „*Studii si tehnici avansate pentru radiatiile cosmice de energii ultra-inalte masurate la sol*” (responsabil fază Dr. G. Isar)

La mai bine de un secol de la descoperirea radiațiilor cosmice domeniul multidisciplinar al fizicii astroparticulelor și al energiilor înalte este unul de mare interes la nivel internațional. Radiatiile cosmice sunt măsurate fie direct din spațiul cosmic cu detectori amplasați la bordul sateliților, sau indirect în atmosfera Pământului, la sol, subsol, ghiata, apa etc. Măsurătorile indirecte sunt facilitate de jerbele atmosferice dezvoltate în atmosfera în urma interacției particulei primare de radiație cosmică cu constituenții atmosferici.

Observatorul Pierre Auger este cel mai mare experiment de radiație cosmică din lume, extins pe o suprafață de 3000 km pătrați în pampasul Argentinian. Este vorba despre un experiment super-hibrid care utilizează tehnici complementare de detecție precum: detectori Cerenkov, telescoape optice și stații radio.

Din noiembrie 2015, Observatorul Pierre Auger a intrat într-o nouă etapă de upgrade care va permite continuarea măsurătorilor cu detectori îmbunătățiți și statistică marită pentru încă 10 ani. România participă în colaborarea internațională Pierre Auger în calitate de țară membră cu drepturi depline din 2014, fiind reprezentată de patru instituții naționale, printre care și Institutul de Științe Spatiale – ISS. Obiectivele acestui proiect vin în suportul ISS la efortul de upgrade al detectorilor experimentului Auger, având ca rezultate preconizate: 1) simularea și analiza evenimentelor de radiație cosmică la energii ultra înalte, 2) sporirea suportului de calcul a infrastructurii GRID ISS în cadrul Auger GRID VO, 3) realizarea unui lanț de testare a noilor kit-uri de elektronikă a detectorilor Cerenkov de suprafață a Observatorului Pierre Auger.

Faza nr.3 Partea I-a: „*Disocierea electromagnetică în emulsia nucleară la energii mai mici de 5 GeV*” (responsabil Dr. E. Fîru)

Emulsia nucleară este unul din cei mai longevivi detectori folosiți în domeniul fizicii nucleare relativiste. Emulsia nucleară este un detector solid în care se stochează informația lăsată de particule la trecerea lor prin mediul detectorului. Interacțiile în emulsia nucleară au fost studiate cu metode vizuale, după dezvoltarea lor. În această fază a proiectului au fost analizate interacțiile fasciculelor cu nuclee de ${}^3\text{He}$, având energia de 5 GeV, cu nucleele din emulsia nucleară. Iradierile au avut loc la Nuclotronul de la Institutul Unificat de Cercetări Nucleare – Dubna, Rusia în cadrul colaborării dintre ISS și IUCN. Pentru a atinge obiectivele propuse în această fază, mai întâi au fost investigate criteriile de selecție pentru interacțiile de disociere electromagnetică - ED (ED – Electromagnetic Dissociation) și tipurile de clusterizare în emulsia nucleară, apoi a fost studiată topologia de sarcină a nucleului de ${}^3\text{He}$. A fost determinat experimental drumul liber mediu și secțiunea eficace de interacție a nucleelor de ${}^3\text{He}$ cu nucleele emulsiei nucleare. În urma acestui studiu s-a observat că valoarea experimentală obținută pentru drumul liber mediu și secțiunea eficace de interacție este apropiată de valoare teoretică și că drumul liber mediu pentru interacțiile nucleare descrește cu sarcina incidentă, în acord cu datele obținute în alte experimente.

Faza nr.3 Partea a II-a: „*Disocierea electromagnetică în emulsia nucleară la energii mai mici de 5 GeV*” (responsabil Dr. Alina-Tania Neagu)

În această a doua parte a fazei proiectului au fost analizate aspecte ce țin de unghiul polar pentru particulele cu sarcină 1 în interacțiile de disociere electromagnetică a nucleului de ${}^3\text{He}$ în emulsia nucleară. Acest unghi este cuprins între direcția particulelor cu sarcină 1, emise în disocierea electromagnetică a nucleului de ${}^3\text{He}$ în emulsia nucleară, și direcția impulsului transvers al particulelor relativiste emise în această interacție. Rezultatele obținute au fost comparate cu cele simulate și pun în evidență efecte deosebite de interesante, care necesită continuarea unui studiu aprofundat, pe baza unei statistici de evenimente mărită. Explicația acestor efecte poate de asemenea să necesite utilizarea altor coduri de simulare care țin cont de alte modele care să conducă la o reproducere a datelor experimentale sau la punerea în evidență a unor procese pe care aceste coduri nu le iau în considerare.

Faza nr. 5: „*Studii privind modurile colective ale nucleelor departe de linia de stabilitate*” (responsabil fază Dr. M. Cherciu)

Modurile colective ale nucleelor departe de linia de stabilitate joacă un rol-cheie în înțelegerea proprietăților fundamentale pentru sistemul de mai multe corpuri (many-body), proceselor de nucleosinteză ale elementelor din Univers și proprietăților de simetrie ale materiei nucleare. În cadrul facilității internaționale FAIR-GSI, Germania, studiul nucleelor departe de valea de stabilitate se va face cu ajutorul ansamblului experimental R3B (Reactions with Relativistic Radioactive Beams). Un aspect important în descrierea/înțelegerea proceselor nucleare îl joacă codurile Monte Carlo, cu care s-a ocupat prezenta fază. În acest sens, am evaluat modul de comportare al codului

FLUKA privind simularea modurilor colective pentru nucleele stabile, respectiv exotice. Codul de simulare FLUKA este un cod Monte-Carlo pentru transportul și interacția particulelor cu materia, acoperind o plajă largă de aplicații: de la proiectarea scuturilor de protecție radioactivă din jurul acceleratoarelor, calorimetrie, activare, dozimetrie, modelarea detectoarelor de particule, raze cosmice, radioterapie, etc. FLUKA este scris în FORTRAN și combină eficient: bazele de date (secțiuni eficace de interacție) experimentale cu modele teoretice și/sau cu parametrizări obținute prin fitări ale datelor experimentale. Obținerea rezultatelor de interes presupune modificarea subrutinelor, specifice codului de simulare FLUKA, întocmai ca experimentul însuși, scrierea în fișiere specifice cadrului ROOT și analiza eveniment cu eveniment a datelor de fizică. Rezultatele studiilor evidențiază faptul că, dacă pentru nucleele stabile (^{124}Sn , ^{18}O) comportarea codului de simulare FLUKA este acceptabilă, pentru nucleele exotice (^{14}B , ^{132}Sn) acesta nu reușește să reproducă datele experimentale din literatură, sugerând astfel necesitatea îmbunătățirii bazei de date/modelelor teoretice.

Faza nr. 9: „*Studiul influenței radiațiilor ionizante asupra proprietăților fizice ale structurilor fotovoltaice de tipul A2B6 cu jonctiuni multiple*” (responsabil Dr. Marian Traian Ghenescu)

Celulele solare de tip multi-jonctiune (**MJ**) reprezintă structuri fotovoltaice cu două sau mai multe jonctiuni *pn*, configurațiile acestora ținând cont de grosimea fiecărui substrat și, de asemenea, de energia benzii interzise. Mediul extra-terestru sau spațial cosmic este format dintr-o mare varietate de particule încărcate cu un spectru energetic larg. Particulele dominante din spațiul cosmic sunt electronii și protonii sau o combinație a acestora în funcție de orbita aleasă. Expunerea la astfel de particule duce la degradarea considerabilă a performanțelor electrice ale dispozitivelor pe baza de materiale semiconductoare, în special a celor care nu sunt acoperite cu alte materiale de protecție. Așadar, înțelegerea răspunsului la radiații cosmice a dispozitivelor electronice este extrem de importantă în vederea stabilirii cu exactitate a ciclului de viață a unui dispozitiv implicat într-o misiune spațială. În vederea determinării dependenței energiei de stopare pentru protoni și particule alfa în structura fotovoltaică MJ, pentru un spectru larg de energii, am folosit simulări MC. Simulările MC au folosit softuri dedicate, rezultatele obținute au ținut cont de distribuția spațială și energetică a fluxului de particule. Doza acumulată de structura fotovoltaică pe baza de ZnS/CdS/CdTe pentru același tip de particule incidente este comparabilă cu cea acumulată de structurile fotovoltaice pe baza de Si sau GaAs. Rezultatele obținute și interpretarea acestora susțin folosirea compusilor de tipul A2B6 ca surse de energie pentru aplicații spațiale.

2.1. Descrierea activităților (utilizând și informațiile din rapoartele de fază, macheta VIII)

În cadrul fazei 1 **“Studiul experimental și simulări Monte Carlo pentru senzorii subțiri din GaAs și Si cu potențial de utilizare în științele spațiale”** au fost desfășurate următoarele activități:

i) Au fost concepuți algoritmi de calcul pentru prelucrarea datelor experimentale achiziționate la prototipurile experimentale cu senzori de GaAs și Si și telescoape pentru trasare electronilor incidenți care au fost implementați în programe scrise în C++, folosind extensiv clasele din pachetul software ROOT și librăria de clase din fizica energiei înalte CLHEP.

ii) Au fost realizate codurile de simulare în C++ în Geant4 pentru aranjamentele experimentale cu Ga și Si ce au fost expuse în fasciculele de electroni la acceleratorul de la DESY II și fasciculele combinate electroni, muoni și hadroni de la acceleratorul PS-CERN.

În cadrul fazei 2: **„Studii și tehnici avansate pentru radiațiile cosmice de energii ultra-înalte măsurate la sol”** au fost desfășurate următoarele activități:

iii) Au fost realizate participări la evenimente de outreach (Isar, P.G. – ISS), în scopul creșterii gradului de comunicare și de constientizarea științei în educație și către publicul larg, precum.

IV) A fost realizată infrastructura ISS GRID dedicată Auger este monitorizată și actualizată la nivel de nevoi software

În cadrul fazei 3: **“Disocierea electromagnetică în emulsia nucleară la energii mai mici de 5 GeV”**

iv) A fost pusă în evidență clusterizarea în nuclee de ^3He prin analiza fragmentării nucleelor de ^6Be , ^7Be , ^8B , ^9C , ^{10}C , ^{11}C , ^{12}N . De asemenea, din studiul nucleelor de ^{12}C (3), ^{16}O (4), ^7Li (+d), ^{14}N la energii de ordinul a câtorva GeV pe nucleon

a fost pusă în evidență clusterizarea în particule α . Fragmentarea nucleelor de ^{11}B , ^{15}N , ^7Li a pus în evidență clusterizarea cu participarea tritiului

v) au fost analizate aspecte ce tin de: (a) criteriile de selectie pentru interactiile ED (ED – Electromagnetic Dissociation); (b) tipurile de clusterizare in emulsia nucleara

In cadrul fazei 5 „**Studii privind modurile colective ale nucleelor departe de linia de stabilitate**”

vi) S-a evidențiat modul de comportare al codului de simulare FLUKA asupra modurilor colective din nuclee stabile și exotice. Codul de simulare FLUKA folosește bază de date de secțiuni eficace foto-nuclear IAEA, ce conține 164 de izotopi, și alte baze de date provenite de la alte laboratoare în total 190 de nuclizi. Toate nucleele stabile cu $Z < 31$ sunt conținute cu excepția ^{50}V

In cadrul fazei 9: „**Studii și tehnologii avansate în fizica energiilor înalte și astrofizică**”

vii) In cadrul acestei etape a fost analizata o structura fotovoltaica multi-jonctiune de tip ZnS/CdS/CdTe in vederea folosirii ei in aplicatii spatiale.

vii) Spectrele de absorbtie ale straturilor de fereastră și de absorbtie, determinate de noi, sunt in buna concordanta cu cele raportate in literatură de specialitate. De asemenea, valorile gap-ului energetic confirma o buna calitate a acestor structuri. Spectrul eficientei cuantice a structurii fotovoltaice MJ acopera un interval larg de lungimi de unda din spectrul solar la nivel terestru.

viii) Doza acumulata de structura fotovoltaica pe baza de ZnS/CdS/CdTe pentru acelasi tip de particule incidente este comparabila cu cea acumutata de structurile fotovoltaice pe baza de Si sau GaAs. Rezultatele obtinute si interpretarea acestora sustin folosirea compusilor de tipul A2B6 ca surse de energie pentru aplicatii spatiale.

ix) In vederea determinarii dependentei energiei de stopare pentru protoni și particule alfa in structura fotovoltaica MJ, pentru un spectru larg de energii, am folosit simulari MC. Simularile MC au folosit softuri dedicate, rezultatele obtinute au tinut cont de distributia spatiala și energetica a fluxului de particule.

2.2. Proiecte contractate:

Cod obiectiv	Nr. proiecte contractate	Nr. proiecte finalizate	Valoare (mii lei)		Nr. personal CD	
			Total	2016	Total	Studii superioare
02	3	0	7,350,000	7,350,000	85	78
Total:	3	0	7,350,000	7,350,000	85	78

2.3 Situatia centralizata a cheltuielilor privind programul nucleu : Cheltuieli –lei-

I. Cheltuieli directe	Estimate	Efectuate
1. Cheltuieli de personal, din care	1184299	1140745,99
1.1. Cheltuieli cu salariile	1034165	1034165
1.2. Alte cheltuieli de personal, din care:	6650	9283,34
a) deplasări în țară		
b) deplasări în străinătate	6650	9283,34
2. Cheltuieli materiale și servicii, din care:	143484	97299,65
2.1. Materii prime și materiale	97984	97299,65
2.2. Mucrări și servicii executate de terți	45500	
II. Cheltuieli Indirecte: Regia	1214417,06	1370604,45
III. Dotări independente și studii pentru obiective de investiții proprii, din care:		
1. Echipamente pentru cercetare-dezvoltare		
2. Mobilier și aparatură birotică		
3. Calculatoare și echipamente periferice	251283,94	138647,56
TOTAL (I+II+III)	2650000	2650000

3. Analiza stadiului de atingere a obiectivelor programului (cu precizarea atingerii tintelor propuse)

Toate tintele propuse in cadrul fazelor din Etapa 1 au fost atinse.

- i) Au fost realizate programe software orientate pe obiecte in C++ pentru prelucrarea unui volum mare de date achiziționate la prototipurile de calorimetre electromagnetice cu absorbant de wolfram și senzori de siliciu sau arsenit de galiu.
- ii) Au fost realizate programe de simulare Monte Carlo, bazate pe toolkit-ul GEANT4 pentru prototipurile de calorimetre electromagnetice, iar rezultatele au fost comparate cu cele experimentale
- iii) Rezultatele simulărilor MC au fost prezentate la FCAL Workshop, Tel Aviv University, 16-20 septembrie 2016
- iv) Simularea și analiza evenimentelor de radiație cosmică (cu particule primare precum proton și/sau fier) de energii ultra înalte (simularea unui eveniment cu energia primară de peste 10^{19} eV și cu aproximativ $5 \cdot 10^9$ particule secundare are un fișier output de mărimea a câteva zeci TB);
- v) A fost realizată simularea ale modurilor colective, folosind metode Monte-Carlo, pentru nuclee departe de valea de stabilitate; (b) Dezvoltare de algoritmi de selecție, eveniment cu eveniment, pentru caracterizarea modurilor colective; (c) Compararea datelor simulate (folosind codul de simulare FLUKA) cu date experimentale din literatura sau cu cele din experimentul R3B;
- vi) A fost realizat un studiu al clusterilor de p, d, t, ^3He și ^4He în interacții periferice în emulsia nucleară pentru reacțiile de disociere electromagnetică
- vii) Au fost clasificate tipuri de clusterizări în emulsia nucleară pentru reacțiile de disociere electromagnetică
- viii) A fost determinată energia benzii interzise prin masuratori optice,
- ix) Au fost realizate simulări MC pentru determinarea energie depozitate în straturile active ale structurilor fotovoltaice de tip multi-joncțiune
- x) A fost determinată doza acumulată de diverse structuri fotovoltaice

4. Prezentarea rezultatelor

4.1. Rezultate concretizate în studii, proiecte prototipuri (produse), tehnologii, alte rezultate (inclusiv fila de catalog a produsului, tehnologiei sau serviciului – după [modelul anexat](#)):

Denumirea proiectului	Tipul rezultatului	Efecte scontate
	(studiu proiect, prototip, tehnolog, etc., alte rezultate)	

4.2. Valorificarea în producție a rezultatelor obținute:

Denumirea proiectului	Tipul rezultatului	Utilizatori	Efecte socio-economice la utilizator

4.3. Participarea la colaborări internaționale:

Nr. crt.	Denumirea programului internațional	Țară și/sau CE unități colaboratoare	Denumire proiect	Valoarea proiectului (lei)	
				Valoare totală proiect	Valoare țară

--	--	--	--	--	--

o **Articole** (numai cele publicate în reviste cu referenți de specialitate):

Nr. crt.	Denumirea publicației	Titlul articolului
1	In strainatate	
2	Eur.Phys.J. A52 (2016) no.9, 301	A study of pion fluctuation and correlation in heavy-ion collisions
3	JETP Lett. 103 (2016) no.10, 618-623	Energy dependence of event-by-event kaon fluctuation in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=19.6$ — a simulated study
4	Pisma Zh.Eksp.Teor.Fiz. 103 (2016) no.10	Energy dependence of event-by-event kaon fluctuation in Au+Au at $\sqrt{s_{NN}}=19.6-200$ GeV — a simulated study
5	Can.J.Phys. 94 (2016) no.9, 884-893	Centrality dependence of total disintegration of target nuclei in high energy nucleus–nucleus interactions
6	Nucl.Part.Phys.Proc. 273-275 (2016) 2545-2547	R&D with very forward detectors at linear colliders
7	Astrophysical Journal, 820, 94	Evolution of Global Relativistic Jets: Collimations and Expansion with kKHI and the Weibel Instability
1	In tara Reports în Physics, Vol. 68, Nr.3 (2016) 1060-1068	Hydrodynamic flow and phase transitions în relativistic nuclear collisions reflected by Hubble type fireball evolution – C. Ristea et al

o **Cărți publicate:**

Nr. ctr.	Titlul cărții	Editura	Autor principal
	- în țară: - în străinătate:		

o **Manifestări științifice:**

Nr. crt.	Manifestări științifice	Număr de manifestări	Număr de comunicări
	a) congrese internaționale:	0	0
	b) simpozioane:	0	1
	c) seminarii, conferințe;	0	2
	d) workshop:	4	4

o **Propuneri de brevete rezultate din tematica de cercetare:**

Nr. crt.	Specificație	Brevete înregistrate (nr.)	Brevete acordate (nr.)	Brevete vândute (nr.)
	- în țară: - în străinătate:			
	Total:			

- **Aprecieri asupra derulării și propuneri :**

Cercetările efectuate și-au atins țintele propuse pe direcțiile de cercetare privind:

In cadrul fazei 1 **“Studiul experimental și simulări Monte Carlo pentru senzorii subțiri din GaAs și Si cu potențial de utilizare în științele spațiale”**

- Studiul experimental al detectorilor cu senzori de Si și GaAs ca elemente sensitive în calorimetrele electromagnetice cu absorbant de wolfram
- Modelari Monte Carlo ale detectorilor subțiri de Si și GaAs și a calorimetrelor electromagnetice

In cadrul fazei 2: **„Studii și tehnici avansate pentru radiațiile cosmice de energii ultra-înalte măsurate la sol”**

- Simularea și analiza evenimentelor de radiație cosmică (cu particule primare precum proton și/sau fier) de energii ultra înalte (simularea unui eveniment cu energia primară de peste 10^{19} eV și cu aproximativ $5 \cdot 10^9$ particule secundare are un fisier output de mărimea a câteva zeci TB);
- Sporirea suportului de calcul a infrastructurii GRID ISS în cadrul Organizației Virtuale Auger GRID;
-

In cadrul fazei 3: **“Disocierea electromagnetică în emulsia nucleară la energii mai mici de 5 GeV ”**

- Studiul reacțiilor nucleare de disociere electromagnetică și a procesele de clusterizare cu emulsiile nucleare

In cadrul fazei 5: **“Studii privind modurile colective ale nucleelor departe de linia de stabilitate”**

- Modelări Monte Carlo cu codul FLUKA pentru studiul interacțiilor cu nucleele exotice

In cadrul fazei 9: **„Studii și tehnologii avansate în fizica energiilor înalte și astrofizică”**

- Studiul influenței radiațiilor ionizante asupra proprietăților fizice ale structurilor fotovoltaice de tipul A2B6 cu joncțiuni multiple

Cercetările continuă cu studiul:

- Procese de energie foarte înaltă în astrofizică pentru studiul jeturilor de plasmă relativistă, emise de găuri negre
- Modele atmosferice pentru calibrarea detectorilor UV în detecția orbitală a radiației optice generate de surse terestre și atmosferice
- O nouă posibilitate de descriere a interacțiilor nucleare relativiste cu ajutorul simulatorului CMBE (Chaos Many-Body Engine)
- Noi direcții în fizica interacțiilor nucleare la energii înalte - aplicarea de tehnici avansate de analiză și simulare pentru modelarea proceselor de interacție în fizica energiilor înalte
- Studii teoretice și experimentale despre interacția microundelor cu metalele
-

DIRECTOR GENERAL,

DIRECTOR DE PROGRAM,

DIRECTOR ECONOMIC,