

# Evaluarea potențialului românesc de cercetare în domeniul fizicii și elaborarea strategiei de cooperare internațională

STABILIREA OBIECTIVELOR STRATEGICE PRIVIND  
CERCETAREA DE FIZICĂ DIN ROMÂNIA PE TERMEN  
SCURT (2012-2014) ȘI MEDIU (2015-2020)

Responsabil proiect: Florin D. BUZATU

11 Iulie 2011



### Comitetul de coordonare al proiectului:

1. Alexandru ALDEA  
INCD pentru Fizica Materialelor, Măgurele
2. Onuc COZAR  
Universitatea Babeş-Bolyai, Facultatea de Fizică, Cluj-Napoca
3. Alexandru JIPA  
Universitatea Bucureşti, Facultatea de Fizică, Măgurele
4. Ion MIHĂILESCU  
INCD pentru Fizica Laserilor, Plasmei și Radiației, Măgurele
5. Gheorghe POPA  
Universitatea Alexandru Ioan Cuza, Facultatea de Fizică, Iași
6. Valentin VLAD  
Academia Română
7. Nicoale Victor ZAMFIR  
INCD pentru Fizică și Inginerie Nucleară Horia Hulubei, Măgurele

### Responsabil proiect și etapă:

Florin-Dorian BUZATU, Institutul de Fizică Atomică, Măgurele

### Responsabili Grupuri Tematice:

1. **Fizică Nucleară** – Nicolae Victor ZAMFIR,  
INCD pentru Fizică și Inginerie Nucleară Horia Hulubei, Măgurele
2. **Fizica Particulelor și Câmpurilor** – Sanda DIȚĂ  
INCD pentru Fizică și Inginerie Nucleară Horia Hulubei, Măgurele
3. **Fizică Atomică, Moleculară și Chimică** – Ladislau NAGY  
Universitatea Babeş-Bolyai, Facultatea de Fizică, Cluj-Napoca
4. **Fizica Materiei Condensate și Știința Materialelor** – Florin VASILIU  
INCD pentru Fizica Materialelor, Măgurele
5. **Nanoștiință și Nanotehnologii** – Ioan BALTOG  
INCD pentru Fizica Materialelor, Măgurele
6. **Optică și Fonică** – Traian DASCĂLU  
INCD pentru Fizica Laserilor, Plasmei și Radiației, Măgurele
7. **Fizica Plasmei** – Gheorghe POPA  
Universitatea Alexandru Ioan Cuza, Facultatea de Fizică, Iași
8. **Fizica Pământului** – Crișan DEMETRESCU  
Academia Română, Institutul de Geodinamică, București
9. **Biofizică** – Aurel POPESCU  
Universitatea București, Facultatea de Fizică, Măgurele
10. **Fizică Aplicată** – Ion MIHĂILESCU  
INCD pentru Fizica Laserilor, Plasmei și Radiației, Măgurele
11. **Metode Computaționale și Tehnologii Informaționale pentru Fizică** – Mihnea DULEA, INCD pentru Fizică și Inginerie Nucleară Horia Hulubei, Măgurele

## Cuprins

I. INTRODUCERE .....	6
II. METODOLOGIE.....	7
III. ELEMENTE DE STRATEGIE PE DOMENII TEMATICE ALE CERCETĂRII DE FIZICĂ DIN ROMÂNIA .....	10
III.1 FIZICA NUCLEARĂ.....	11
III.1.1 Teme și subiecte .....	11
III.1.2 Impact .....	18
III.1.3 Analiză SWOT .....	18
III.1.4 Obiective pe termen scurt și mediu.....	19
III.1.5 Recomandări .....	19
III.2 FIZICA PARTICULELOR ȘI A CÂMPURILOR .....	21
III.2.1 Teme și subiecte .....	21
III.2.2 Impact .....	27
III.2.3 Analiză SWOT .....	28
III.2.4 Obiective pe termen scurt și mediu.....	29
III.2.5 Recomandări .....	29
III.3 FIZICĂ ATOMICĂ, MOLECULARĂ ȘI CHIMICĂ.....	30
III.3.1 Teme și subiecte .....	30
III.3.2 Impact .....	37
III.3.3 Analiză SWOT .....	37
III.3.4 Obiective pe termen scurt și mediu.....	38
III.3.5 Recomandări .....	40
III.4 FIZICA MATERIEI CONDENSATE ȘI ȘTIINȚA MATERIALELOR .....	42
III.4.1 Teme și subiecte .....	42
III.4.2 Impact .....	50
III.4.3 Analiză SWOT .....	51
III.4.4 Obiective pe termen scurt și mediu.....	51
III.4.5 Recomandări .....	58
III.5 NANOȘTIINȚĂ ȘI NANOTEHNOLOGIE.....	59
III.5.1 Teme și subiecte .....	59
III.5.2 Impact .....	63
III.5.3 Analiză SWOT .....	63
III.5.4 Obiective pe termen scurt și mediu.....	64

III.5.5 Recomandări .....	65
III.6 OPTICĂ ȘI FOTONICĂ.....	73
III.6.1 Teme si subiecte .....	73
III.6.2 Impact .....	81
III.6.3 Analiza SWOT .....	81
III.6.4 Obiective pe termen scurt și mediu.....	82
III.6.5 Recomandări .....	83
III.7 FIZICA PLASMEI .....	84
III.7.1 Teme și subiecte .....	85
III.7.2 Impact .....	93
III.7.3 Analiză SWOT .....	93
III.7.4.Obiective pe termen scurt și mediu.....	94
III.7.5 Recomandări .....	95
III.8 FIZICA PĂMÂNTULUI .....	96
III.8.1 Teme și subiecte .....	96
III.8.2 Impact .....	101
III.8.3 Analiză SWOT .....	101
III.8.4 Obiective pe termen scurt și mediu.....	102
III.8.5 Recomandări .....	103
III.9 BIOFIZICĂ.....	104
III.9.1 Teme și subiecte .....	104
III.9.2 Impact .....	108
III.9.3 Analiză SWOT .....	109
III.9. 4 Obiective pe termen scurt și mediu.....	110
III.9.5 Recomandări .....	111
III.10 FIZICĂ APLICATĂ.....	112
III.10.1 Teme și subiecte .....	113
III.10.2 Impact .....	122
III.10.3 Analiză SWOT.....	123
III.10.4 Obiective pe termen scurt și mediu.....	124
III.10.5 Recomandări .....	124
III.11 METODE COMPUTAȚIONALE ȘI TEHNOLOGII INFORMAȚIONALE PENTRU FIZICĂ .....	131
III.11.1 Teme și subiecte .....	132
III.11.2 Impact .....	136

III.11.3 Analiză SWOT .....	136
III.11.4 Obiective pe termen scurt și mediu.....	137
III.11.5 Recomandări .....	138
IV. CERCETAREA DE FIZICĂ DIN ROMÂNIA: ANALIZĂ SWOT, OBIECTIVE ȘI RECOMANDĂRI .....	139
IV.1 Analiza SWOT a cercetării de fizică din România.....	139
IV.2 Obiectivele strategice ale cercetării de fizică din România .....	140
IV.3 Recomandări privind implementarea strategiei.....	142
V. CONCLUZII.....	147

ANEXE:

- Anexa 1: Lista experților participanți
- Anexa 2: Organizarea și planificarea activităților
- Anexa 3: Lista temelor și subiectelor propuse în strategie
- Anexa 4: Referințe bibliografice și cuvinte cheie privind impactul pentru subiectele propuse
- Anexa 5: Estimarea resurselor necesare pe termen scurt și mediu pentru temele propuse
- Anexa 6: Rolul educației în cercetarea de fizică: probleme actuale și de perspectivă
- Anexa 7: Recomandări privind valorificarea rezultatelor cercetării de fizică în mediul economic
- Anexa 8: Știința ca sistem deschis: comunicarea fizicii ca întreprindere necesară
  
- Anexele I - XI: Materiale extinse privind strategiile domeniilor tematice III.1-11

## I. INTRODUCERE

Prezentul raport reprezintă o premieră în cercetarea științifică din România: elaborarea unei strategii pe termen scurt (2012-2014) și mediu (2015-2020) în cercetarea de fizică, bazată pe o evaluare a rezultatelor obținute în ultimii 10 ani (2001-2010). Este o strategie realizată de cercetători și cadre universitare din domeniul fizicii într-un larg parteneriat la scară națională: 17 instituții de cercetare și învățământ superior din 6 centre cu tradiție și vizibilitate remarcabilă în domeniu (București-Măgurele, Iași, Cluj-Napoca, Timișoara, Craiova, Râmnicu Vâlcea), cu participarea directă a aproximativ 80 de experți independenți, specialiști români din țară și străinătate cu experiență și realizări relevante.

Raportul are un pronunțat caracter științific (și mai puțin de prezentare): scopul a fost în primul rând identificarea principalelor teme și subiecte de cercetare în fizica din România care merită a fi abordate în perioada următoare, ținând cont mai ales de realizări și perspective la nivel național și internațional dar și de potențial uman, infrastructură de cercetare și impact socio-economic. Acest lucru s-a realizat pe subdomenii tematice evidențiate, în urma evaluării efectuate în etapele anterioare ale proiectului, ca având un potențial ridicat de dezvoltare. Au fost formate 11 grupuri tematice care au acoperit practic întreaga gamă de activități relevante cercetării de fizică din România și domenii conexe. Metodologia de lucru este prezentată în secțiunea II a raportului. În final, au fost selectate 210 subiecte în cadrul a 53 de teme de cercetare, alegerea acestora fiind rezultatul a două procese simultane: i) analiza înregistrărilor în bazele de date ESFRO și Web of Science; ii) consultarea celor 70 de experți din grupurile tematice cu un număr mare de cercetători și cadre universitare din domeniu. Selecția acestor teme și subiecte este de asemenea justificată: la fiecare direcție de cercetare sunt menționate realizări pe plan internațional și intern, motivație, scop, iar ca anexă se prezintă o selecție de publicații ale grupurilor cu contribuții relevante precum și cuvinte cheie privind impactul concret pe care îl poate aduce abordarea subiectului respectiv. Grupurile tematice au completat selecția temelor și subiectelor prin: analize SWOT la nivel de domeniu, propuneri privind obiectivele pe termen scurt și mediu; recomandări; estimări ale resurselor umane și financiare necesare realizării obiectivelor propuse (prezentate de asemenea în anexă). Fiecare grup tematic a elaborat câte un material extins privind strategia subdomeniului respectiv, anexe la prezentul raport; secțiunea III a raportului conține numai rezumatele acestora.

Strategia cercetării de fizică din România înseamnă mai mult decât „alipirea” strategiilor pe subdomenii tematice; presupune coerență, optimizare și sinergie atât la nivelul întregului domeniu cât și cu alte sectoare de activitate. Secțiunea IV a raportului prezintă o analiză SWOT, obiective pe termen scurt și mediu precum și recomandări privind implementarea strategiei, toate la nivelul întregii cercetări de fizică din țară. Recomandările vizează inclusiv: relația cu mediul educațional, în vederea pregătirii resursei umane necesare unei cercetări de fizică performante; o mai bună valorificare a rezultatelor cercetării în mediul economic; comunicarea adecvată a rezultatelor cercetării, creșterea gradului de informare a populației și atragerea tinerilor spre știință și tehnologie. Aceste trei probleme sunt prezentate mai pe larg în anexe. Raportul se încheie cu concluzii asupra rezultatelor obținute.

În vederea îmbunătățirii și adoptării prezentei strategii de către comunitatea științifică de profil din țară, raportul urmează a fi prezentat și supus dezbaterii publice în cadrul unei conferințe cu largă participare care se va organiza pe data de 30 august 2011 la Biblioteca Academiei Române.

## II. METODOLOGIE

Punctul de plecare în elaborarea oricărei strategii de cercetare-dezvoltare trebuie să fie evaluarea capacității sistemului de a produce rezultate noi, cu impact științific, tehnologic și socio-economic cât mai mare. *Stabilirea obiectivelor strategice privind cercetarea de fizică din România pe termen scurt (2012-2014) și mediu (2015-2020)*, obiectivul prezentei etape, s-a făcut pornind de la rezultatele obținute în etapele anterioare ale proiectului ESFRO, în special cea referitoare la „Potențialul direcțiilor de cercetare în fizica din România” (etapa a II-a). Bazată practic numai pe o analiză scientometrică, evaluarea a scos în evidență potențialul principalelor arii tematice de fizică și domenii conexe din cercetarea românească. Considerând publicațiile ISI (articles, proceedings papers, revies) din perioada 2001-2010 indicate de Web of Science (WoS) pentru România și folosind trei criterii scientometrice (număr de publicații citate, număr de citări și factor de impact cumulat), au fost identificate principalele 25 de arii tematice SCIE (Science Citation Index Expanded) în care publică fizicienii români înregistrați în baza de date ESFRO (1.584 fizicieni, alți 735 de autori fiind de alte profesii). Există alte 17 arii tematice SCIE în care fizicienii români (înregistrați ESFRO) au, în fiecare dintre acestea, peste 30 de publicații ISI în perioada menționată (2001-2010). Aceste 42 de arii tematice sunt prezentate în Tabelul II.1, unde sunt precizate, pentru fiecare dintre ele, numărul lucrărilor publicate de fizicieni, numărul publicațiilor realizate de toți autorii înregistrați ESFRO și respectiv numărul total al publicațiilor din România. În funcție de ponderea numărului de publicații ale fizicienilor la numărul total de publicații din România, ariile tematice respective au fost încadrate în patru categorii în ce privește contribuția fizicienilor: dominantă (pondere peste 50%), semnificativă (pondere 25-50%), relevantă (pondere 12,5-25%) și mică (pondere sub 12,5%). În Tabelele II.1, ariile tematice sunt prezentate în ordinea descrescătoare a ponderii lucrărilor publicate de fizicieni. Ierarhizarea celor 25 de arii tematice principale în funcție de punctajul total obținut în urma aplicării celor trei criterii scientometrice menționate este prezentată în Tabelul II.5 din Raportul de etapă II.

Ținând cont de aceste rezultate, Comitetul de Coordonare al proiectului a stabilit gruparea direcțiilor de cercetare din România în 11 domenii tematice, care acoperă practic toate cele 42 de arii tematice SCIE evidențiate scientometric. A fost stabilită de asemenea formarea a câte unui grup de experți pe fiecare din aceste 11 domenii tematice, cu misiunea de a elabora strategia pe termen scurt (2012-2014) și mediu (2015-2020) în domeniul respectiv. În plus, a fost format un grup dedicat educației în fizică care să elaboreze recomandări privind soluționarea problemelor educaționale cu care se confruntă cercetarea de fizică din România în vederea asigurării potențialului uman necesar implementării strategiei. Comitetul de Coordonare al proiectului a selectat apoi, folosind înregistrările scientometrice din baza de date ESFRO și propunerile venite din rândul partenerilor la proiect, câte un coordonator al fiecărui grup tematic. Selecția coordonatorilor de grupuri tematice s-a făcut pe baza a două criterii: experiență științifică deosebită în domeniu și abilități manageriale. Evident, la cele două cerințe s-a adăugat și acceptul/dorința de implicare a expertului în această activitate de elaborare a strategiei. Lista celor 11 grupuri de lucru și a coordonatorilor respectivi precum și afilierea acestora este prezentată în Tabelul II.2.

**Tabelul II.1** Numărul publicațiilor ISI (articles, proceedings papers, reviews) din perioada 2001-2010 ale autorilor afiliați la instituții din România pe arii tematice SCIE: fizicieni și autori înregistrați ESFRO (coloanele 3 și 4), toți autorii din România (coloana 5) și respectiv ponderea publicațiilor fizicienilor

Crt. No.	SCIE Subject Areas	#phys No. publ. physicists ESFRO	#all No. publ. all authors ESFRO	#RO No. publ. all RO	#phys/#RO
<b>MAIN PHYSICS RELATED SUBJECT AREAS</b>					
1	Physics, Nuclear	766	771	951	80.55%
2	Physics, Particles & Fields	502	504	625	80.32%
3	Physics, Condensed Matter	1292	1335	1673	77.23%
4	Physics, Applied	2592	2778	3572	72.56%
5	Materials Science, Coatings & Films	285	299	394	72.34%
6	Optics	1762	1914	2437	72.30%
7	Nuclear Science & Technology	430	445	605	71.07%
8	Spectroscopy	243	259	348	69.83%
9	Physics, Multidisciplinary	1152	1197	1735	66.40%
10	Physics, Atomic, Molecular & Chemical	354	373	551	64.25%
11	Physics, Fluids & Plasmas	161	168	266	60.53%
12	Instruments & Instrumentation	336	363	590	56.95%
13	Materials Science, Multidisciplinary	2545	2928	4487	56.72%
14	Physics, Mathematical	443	458	809	54.76%
15	Nanoscience & Nanotechnology	186	205	356	52.25%
16	Materials Science, Ceramics	145	184	306	47.39%
17	Astronomy & Astrophysics	144	146	307	46.91%
18	Chemistry, Physical	648	863	1588	40.81%
19	Crystallography	157	186	447	35.12%
20	Chemistry, Inorganic & Nuclear	167	183	561	29.77%
21	Engineering, Electrical & Electronic	269	283	1077	24.98%
22	Chemistry, Analytical	237	351	978	24.23%
23	Polymer Science	228	692	957	23.82%
24	Chemistry, Multidisciplinary	512	898	4593	11.15%
25	Engineering, Chemical	268	444	2831	9.47%
<b>OTHER PHYSICS RELATED SUBJECT AREAS</b>					
1	Radiology, Nuclear Medicine & Medical Imaging	90	92	157	57.32%
2	Biochemical Research Methods	84	92	233	36.05%
3	Geochemistry & Geophysics	48	53	159	30.19%
4	Meteorology & Atmospheric Sciences	38	40	136	27.94%
5	Biophysics	44	51	165	26.67%
6	Electrochemistry	41	53	218	18.81%
7	Mathematics, Interdisciplinary Applications	89	92	537	16.57%
8	Geosciences, Multidisciplinary	44	50	298	14.77%
9	Computer Science, Interdisciplinary Applications	40	41	297	13.47%
10	Biochemistry & Molecular Biology	44	62	368	11.96%
11	Pharmacology & Pharmacy	39	52	433	9.01%
12	Computer Science, Theory & Methods	48	52	539	8.91%
13	Chemistry, Organic	34	70	411	8.27%
14	Mechanics	52	61	655	7.94%
15	Metallurgy & Metallurgical Engineering	137	152	1749	7.83%
16	Environmental Sciences	76	112	1097	6.93%
17	Mathematics, Applied	103	114	1990	5.18%



**Tabelul II.2** Domeniile/Grupurile tematice și coordonatorii acestora

Nr. crt.	Domeniu/Grup tematic	Coordonator	Afilieri
1	Fizică Nucleară	Nicolae Victor ZAMFIR	IFIN-HH
2	Fizica Particulelor și a Câmpurilor	Sanda DIȚĂ	IFIN-HH
3	Fizică Atomică, Moleculară și Chimică	Ladislau NAGY	UBB-FF
4	Fizica Materiei Condensate și Știința Materialelor	Florin VASILIU	INFM
5	Nanoștiință și Nanotehnologie	Ioan BALTOG	INFM
6	Optică și Fonică	Traian DASCĂLU	INFLPR
7	Fizica Plasmei	Gheorghe POPA	UAIC-FF
8	Fizica Pământului	Crișan DEMETRESCU	AR-IG
9	Biofizică	Aurel POPESCU	UB-FF
10	Fizică Aplicată	Ion MIHĂILESCU	INFLPR
11	Metode Computaționale și Tehnologii Informaționale pentru Fizică	Mihnea DULEA	IFIN-HH

Fiecare coordonator și-a format o echipă formată din 2-8 membri, numărul total al experților participanți direct în cadrul celor 11 grupuri tematice fiind 70; lista acestora este prezentată în **Anexa 1**. În formarea echipelor, recomandarea a fost ca numărul membrilor să fie în jur de 5, componența asigurând experți în domeniu: i) sub 55 de ani; ii) din diasporă; iii) participant în etapele anterioare ale proiectului. Coordonatorul și membrii fiecărui grup tematic au avut mandatul să elaboreze un material privind strategia domeniului respectiv, pentru aceasta având la dispoziție (pe site-ul ESFRO, cu acces restricționat) rapoartele anterioare realizate în cadrul proiectului precum și toate înregistrările din baza de date ESFRO. Pe lângă aceste informații, a fost pusă la dispoziție o bază amplă de documentare cu materiale privind evaluări și strategii în domeniul cercetării-dezvoltării la nivel național, european și internațional, studii prospective și sinteze, etc.

Coordonatorii grupurilor tematice împreună cu Comitetul de Coordonare și responsabilul proiectului au stabilit structura materialului care urma să fie pregătit de către fiecare grup privind strategia domeniului respectiv; acest cuprins este prezentat în **Anexa 2**. A fost de asemenea elaborat un calendar al activităților cuprinzând acțiuni concrete și termene precise; acest desfășurător al activităților este prezentat tot în Anexa 2. Pe lângă materialul în formă extinsă privind strategia domeniului, a fost solicitat un rezumat al strategiei domeniului care să fie inclus în prezentul raport; modelul rezumatului este prezentat de asemenea în Anexa 2. Stadiul elaborării strategiei pe domenii tematice a fost analizat în întâlniri de lucru, aproximativ lunare, reunind coordonatorii grupurilor tematice, membrii Comitetului de Coordonare, responsabilul proiectului și membrii echipei executive. Pe lângă aceste întruniri „în plen”, au existat întâlniri pe grupuri de lucru. Toate materialele elaborate de grupuri, în diferite etape de realizare, au fost postate pe site (cu acces restricționat) astfel încât să poată fi consultate de către toți participanții la proiect. Au fost discutate în detaliu, în plen, toate aspectele privitoare la elaborarea materialelor. Au fost făcute recomandări privind tratarea diferitelor aspecte abordate în cadrul strategiilor pe domenii. Un accent deosebit a fost pus pe prezentarea impactului cercetării de fizică, atât pur științific cât și în diferite domenii de interes tehnologic și socio-economic; un tabel orientativ în acest sens, prezentat tot Anexa 2, a fost discutat și recomandat coordonatorilor de grupuri tematice.

La cele 11 domenii tematice au fost adăugate alte 3 teme de interes general: educația în fizică, valorificarea rezultatelor cercetării în mediul economic și comunicarea fizicii în societate, cu participarea directă a 11 experți; lista acestora este prezentată de asemenea în Anexa 2.

### III. ELEMENTE DE STRATEGIE PE DOMENII TEMATICE ALE CERCETĂRII DE FIZICĂ DIN ROMÂNIA

Cele 11 grupuri tematice au abordat problema elaborării unei strategii a domeniului respectiv urmând o structură de prezentare stabilită prin consens. Raportul elaborat de fiecare grup, al cărui cuprins este prezentat în Anexa 2, a urmărit în primul rând identificarea principalelor teme de cercetare în domeniu (recomandarea a fost de maxim 5 teme pe domeniu) și a principalelor subiecte în cadrul acestora (recomandarea a fost de asemenea de maxim 5 subiecte pe temă). Elementele avute în vedere în stabilirea acestor teme și subiecte includ: realizări recente și perspective (la nivel internațional); contribuție românească (recentă) dovedită prin referințe relevante; obiective propuse pentru viitor, pe termen scurt (2012-2014) și mediu (2015-2020); resurse umane și educaționale (existente și necesare, cu accent pe dinamică/perspectivă); infrastructura de cercetare la nivel național și european/internațional; cooperări interne și internaționale relevante; potențial aplicativ și impact economic. Fiecare grup a elaborat de asemenea o analiză SWOT a domeniului (puncte tari, puncte slabe, oportunități și riscuri) și a făcut recomandări privind implementarea strategiei și realizarea obiectivelor propuse.

Rezultatele activității desfășurate de grupurile tematice sunt cuprinse în materiale extinse (în jur de 100 de pagini fiecare) care constituie **Anexele I-XI** la prezentul Raport. În continuare se prezintă numai rezumatele acestor materiale extinse la care se adaugă, în anexe, următoarele informații: **Anexa 3** - *Lista temelor și subiectelor propuse în strategie*; **Anexa 4** - *Referințe bibliografice și cuvinte cheie privind impactul pentru subiectele propuse*; **Anexa 5** - *Estimarea resurselor (umane și financiare) necesare pe termen scurt și mediu pentru temele propuse*. Atât rezumatele prezentate în secțiunea următoare (inclusiv conținutul anexelor 3-5) cât și materialele extinse (anexele I-XI) au fost preluate integral de la coordonatorii grupurile tematice (cu eventuale modificări de redactare).

## III.1 FIZICA NUCLEARĂ

Fizica Nucleară (NP) este unul dintre domeniile de cercetare tradiționale și de mare importanță în România. Începuturile sale datează din primele zile de existență ale Institutului de Fizică Atomică, primul institut de cercetare din România, fondat în anul 1956 la Măgurele. Ea are deja un loc bine stabilit printre științele fundamentale, având o contribuție importantă la înțelegerea lumii înconjurătoare, de la cuarci și gluoni până la Universul atotcuprinzător.

Strategia cercetării de fizică nucleară din România, prezentată în acest document, ține cont atât de faptul că în țară operează instalații de cercetare competitive internațional cât și de faptul că România este membru fondator al Institutului Unificat de Cercetări Nucleare de la Dubna și al viitoarei Facilități pentru Cercetări asupra Antiprotonilor și Ionilor (FAIR), Darmstadt și, în același timp, membru al CERN – Organizația Europeană pentru Cercetări Nucleare de la Geneva și al echipei pan-europene ELI, care urmează să construiască la București-Măgurele pilonul de fizică nucleară al Infrastructurii Luminii Extreme – ELI-NP.

Scopul acestui document este: • trecerea în revistă a realizărilor cercetării de fizică nucleară din România, în contextul larg al eforturilor internaționale • identificarea problemelor deschise în care comunitatea de fizică nucleară din România poate contribui, ca urmare a realizărilor anterioare în contextul mai larg al eforturilor internaționale • identificarea celor mai eficiente modalități de integrare și creștere a competitivității fizicii nucleare, în particular în cadrul inițiativelor europene.

Fizica nucleară este un domeniu care continuă să aibă o contribuție clar identificabilă și vizibilă la imaginea științei românești, datorită tradiției și expertizei sale.

### III.1.1 Teme și subiecte

#### NP1: FIZICA NUCLEARĂ LA ENERGII JOASE

Scopul principal al fizicii nucleare la energie joasă este de a înțelege structura nucleelor atomice care este foarte complexă și poate varia drastic de-a lungul hărții nuclizilor. Majoritatea conceptelor actuale (numere magice, regiuni de forme/deformări, grade de libertate colective și uni-particulă etc.) se bazează pe studiul unor zone restrânse de nuclee, în sau în jurul văii de stabilitate. Peste jumătate din nucleele a căror existență a fost prevăzută nu au fost încă observate. De asemenea, pentru multe dintre nucleele observate, informația experimentală existentă în prezent este foarte limitată. Sunt necesare noi tehnici pentru a ajunge la nucleele din zone departe de stabilitate și a le studia: noi acceleratoare, noi detectori și o instrumentație nouă. Se va studia experimental și teoretic evoluția proprietăților colective ale nucleului atomic în funcție de spin, izospin și energie de excitație. Principalele întrebări referitoare la fizica structurii nucleare, la care se caută răspuns sunt: • limitele stabilității sistemului nuclear • descrierea completă a forței nucleon-nucleon • relația între modelele fenomenologice ale fizicii nucleare și QCD. Progresul în înțelegerea structurii nucleare și a evoluției sale depinde atât de progresele abordărilor teoretice și cât și ale celor experimentale, puternic interdependente.

Principalele subiecte tratate în cadrul acestei teme includ: starea actuală a cercetării experimentale, înțelegerea teoretică, precum și viitoarele provocări; fizica la marile complexe experimentale internaționale; fizica în cadrul infrastructurilor locale de cercetare și ELI-Nuclear Physics (ELI-NP).

Prezentarea detaliată a tuturor acestor subiecte este anexată. În continuare, într-o prezentare rezumativă, ne vom restrânge doar la elementele esențiale.

- ❖ **NP1.1: Fizica nucleară la marile complexe experimentale internaționale** – sisteme de acceleratoare de fascicule de ioni radioactivi. După decenii de experimente utilizând fascicule de ioni stabili, fizica nucleară este acum revoluționată de apariția unor noi infrastructuri experimentale cu acceleratoare de fascicule de ioni radioactivi (RIB), care sunt extrem de complexe și încorporează dezvoltări științifice și tehnologice de cel mai înalt nivel (state-of-art) atât în ceea ce privește producerea fasciculelor cât și infrastructura pentru experimente. La nivel european există trei asemenea infrastructuri, sprijinite de mari colaborări internaționale, ISOLDE la CERN, FAIR în Germania și SPIRAL2 în Franța, ultimele două în construcție. Pentru toate aceste mari complexe experimentale este prevăzut, în cadrul unor ample colaborări internaționale în care participă și cercetători din instituții românești, un amplu program de cercetare fundamentală în fizică nucleară și astrofizică. În ceea ce privește fizica nucleară la energii joase cercetătorii din România sunt implicați în direcții de cercetare care au o bună tradiție la nivel național și pentru care rezultatele obținute până în prezent sunt competitive pe plan internațional, precum studiul atât experimental cât și teoretic al evoluției structurii nucleare pentru sisteme foarte diferite de nucleele stabile în natură. Merită menționat că aceste cercetări vor fi posibile prin dezvoltarea de noi dispozitive și tehnici de spectroscopie nucleară, domeniu în care contribuția românească este foarte importantă.
  
- ❖ **NP1.2: Fizica nucleară la infrastructurile locale de cercetare.** Programe de cercetare complementare în fizica nucleară sunt dezvoltate la infrastructuri de anvergură mai mică, existente în multe țări europene. Complementaritatea cercetării la aceste infrastructuri locale cu cercetarea la mari complexe experimentale nu trebuie interpretată în nici un fel în defavoarea infrastructurilor locale, cel puțin în ceea ce privește România. Calitatea cercetării la infrastructurile locale românești este comparabilă cu cea de la marile infrastructuri internaționale, lucru ușor de înțeles dacă luăm în calcul faptul că de cele mai multe ori grupurile implicate în activități folosind infrastructura locală participă și la cercetările desfășurate la marile complexe internaționale. Privită în ansamblu tematica majoră de cercetare în domeniul fizicii nucleare la energii joase la infrastructurile locale acoperă tipuri de experimente care nu se pot efectua la mari infrastructuri experimentale sau pentru care este mult mai eficient din punct de vedere al costurilor și efortului experimental să fie efectuate la infrastructuri de anvergură mai mică. Rolul important al infrastructurilor locale este deci asigurat de 'nișele' pe care ele le pot acoperi în cadrul programelor internaționale de cercetare și nu în ultimul rând prin rolul lor esențial în educarea tinerelor generații de cercetători. Existența unei puternice infrastructuri locale de cercetare cu dotare la nivel European este și trebuie să continue să constituie o componentă importantă a aportului științific românesc în acest domeniu. În prezent, Acceleratorul Tandem van de Graaf de 9MV de la București, prin rezultatele științifice obținute și calitatea dotărilor experimentale se înscrie în Aria Europeană de infrastructuri, iar o parte importantă din numărul total de

experimente în acest laborator o constituie experimentele de fizică nucleară la energii joase care au participare internațională semnificativă.

- ❖ **NP1.3: Fizica nucleară la ELI-NP.** Acesta este fără îndoială cel mai mare și mai complex proiect de cercetare abordat vreodată în știința românească. ELI-NP este unul dintre cei patru piloni ai ELI, gândit ca o facilitate de cercetare unică, pentru investigarea impactului radiației electromagnetice foarte intense (Lumina Extremă) asupra materiei, cu focalizare specifică asupra fenomenelor nucleare și aplicațiilor practice ale acestora. ELI-NP este propus a se construi la Măgurele, lângă București și va avea două tipuri de 'lumină extremă': unul 'vizibil', generat de un sistem laser cu pulsuri ultrascurte, și un altul în domeniul 'gamma', generat prin retro-împrăștiere Compton a fotonilor optici pe electroni relativști. Extinderea studiilor privind accelerarea indusă de laser a ionilor și electronilor în regimul de putere laser de 10 PW și caracterizarea radiațiilor primare și secundare emise la interacția laser-materie folosind instrumentație specifică fizicii nucleare experimentale moderne, se numără printre scopurile principale ale infrastructurii experimentale ELI-NP. Densitatea ionilor accelerați cu laserul poate ajunge la valorile de densitate ale materiei în stare solidă, adică de  $10^{15}$  ori mai mare decât densitatea ionilor accelerați folosind schemele clasice, ceea ce deschide noi posibilități, complementare celor de la alte infrastructuri de cercetare existente sau planificate să fie construite, de producere și studiere a izotopilor radioactivi foarte depărtați de stabilitate. Totodată, dispunând de un fascicul gamma cu ordine de mărime mai performant decât cele existente în prezent, la ELI-NP va fi posibilă investigarea fenomenelor specifice sistemelor nucleare la energii joase cu acuratețe deosebită. Posibila neconștință a parității în interacția nucleon-nucleon, rezonanțele dipolare gigant sau pigmy, stările magnetice colective (scissor modes) sunt doar câteva dintre subiectele de cercetare propuse până acum la ELI-NP.

## NP2: ASTROFIZICA NUCLEARĂ

Astrofizica Nucleară, sau fizica nucleară pentru astrofizică, este un subdomeniu al fizicii nucleare dedicat furnizării de date care să permită, în sinergie cu astrofizica, înțelegerea fenomenelor fundamentale de producere de energie în stele și a sintezei elementelor chimice în Univers. Astrofizica Nucleară are ca particularități energiile foarte joase și reacțiile implicând nuclee instabile, greu de măsurat sau de produs în laborator și necesită din ce în ce mai mult o largă colaborare internațională și conlucrarea mai multor specialități. Participarea României este susținută de o expertiză de lungă durată în cercetarea de top.

Există două grupuri mari de subiecte discutate în cadrul acestei teme:

- ❖ **NP2.1: Măsurători directe de astrofizică nucleară și utilizarea metodelor indirecte.** Acestea reprezintă preocupările „fizicii nucleare pentru astrofizică” în forma ei clasică: determinarea secțiunilor de reacție și de aici a ratelor de reacție pentru procese nucleare care apar în stele sau în mediile stelare. Abordată mai puțin în prezent ca subiect distinct și consistent în România, acesta este un domeniu cu potențial științific ridicat în fizica nucleară la energii mici. Recomandăm extinderea preocupărilor în domeniu datorită atât interesului științific crescut pe plan internațional și a orientărilor noi în colaborările europene, al potențialului personalului românesc prezent care are calificarea necesară în structura nucleară și reacții la

energii joase, cat si a investitiilor relativ minore fata de importanta subiectului. Extrem de importantă este posibilitatea folosirii de multiple metode, experimentale și teoretice, de unde importanța accesului la mai multe facilități, locale sau internaționale, europene în special. În vreme ce subiectele concrete nu pot fi prevăzute pe termen lung, este de prevăzut că se poate avansa în domeniul reacțiilor de ardere a H în novae și XRB, ca și în captura de neutroni pe nuclee ușoare și medii. Cercetările vor fi efectuate la acceleratorul TANDEM și în colaborările europene.

Daca situatia de personal și financiară vor permite, recomandăm instalarea unui accelerator liniar de energii mici (până la 2-3 MV) și curenți mari, amplasat într-un subteran de mică adâncime din zona București. Costul investiției poate fi de numai 3-5 milioane euro.

- ❖ **NP2.2: Astrofizică nucleară la ELI-NP**, acest subiect fiind legat de avantajele oferite de condițiile fără precedent care vor deveni posibile în cadrul pylonului de fizică nucleară al ELI. ELI-NP va deschide noi filiere de cercetare în domeniul nucleelor exotice și va oferi, pentru timpi foarte scurți, condiții similare celor din plasmăle dense și fierbinți din stele.

### NP3: FIZICA ASTROPARTICULELOR

Puternic legată de tema precedentă, fizica astroparticulelor este un nou domeniu interdisciplinar de cercetare, la intersecția mai multor domenii tradiționale ale științei: fizica nucleară și fizica particulelor, astronomie, astrofizică și cosmologie. Obiectivul său principal este studiul particulelor care provin din Univers. Fizica astroparticulelor încearcă să răspundă unor întrebări cu adevărat fundamentale: de unde provin razele cosmice, care este imaginea cerului la energii extreme, care este rolul neutrinilor în evoluția cosmică, ce ne pot spune neutrinii despre interiorul stelelor și despre alte obiecte astrofizice active, ce sunt materia și energia întunecată, care este natura gravitației, dacă protonii au o durată de viață finită. Acest domeniu se bazează pe metode și instrumente originale dezvoltate în cadrul fizicii nucleare și a particulelor, pentru a studia formarea Universului de la componentele sale cele mai mici, până la cele mai mari.

Romania are un mare potențial în acest domeniu și o îndelungată tradiție (de la sfârșitul anilor 1950) în studiul razelor cosmice. Încă din anul 2007 a fost creată o rețea ROASTROPART (ROmanian ASTROPARTicles) pentru colaborări experimentale și studii teoretice în domeniul fizicii astroparticulelor între IFIN-HH, ISS, Facultatea de Fizică, Universitatea București – toate trei la București-Măgurele și UPB (Universitatea „Politehnica” București). Bazându-se pe experiența acumulată în domeniul fizicii astroparticulelor și pe complementaritatea direcțiilor deja abordate, Romania este partener în proiectul european de coordonare ASPERA, este observator în ApPEC (Astroparticle Physics European Coordination) și participă la marile experimente din domeniu, Pierre Auger Observatory și KM3NeT.

Subiectele fizicii astroparticulelor în cadrul acestei strategii includ:

- ❖ **NP3.1: Studiul razelor cosmice de mare energie**

- investigarea spectrului energetic al razelor cosmice în domeniul ( $10^{16}$  -  $10^{18}$  eV) și a masei particulei cosmice primare, (în experimentele KASCADE-Grande și LOPES), pentru a clarifica tranziția de la razele cosmice galactice către radiația cosmică extra-galactică și pentru testarea modelelor de interacție hadronică la energii foarte înalte.

- intensificarea cercetărilor asupra razelor cosmice cu energii ultraînalte până la  $10^{20}$ eV (la observatorul Pierre Auger), în scopul investigării surselor particulelor cosmice extragalactice și a modului lor de propagare prin câmpuri magnetice cosmice.

❖ **NP3.2: Astronomia cu neutrini, proprietățile neutrinelor și studiul fizicii cu telescoape pentru neutrini**

- identificarea de surse punctuale de neutrini în Galaxie, și căutarea de particule exotice super-masive (monopoli magnetici, nucleariți) în radiația cosmică penetrantă (în experimentul ANTARES și în proiectul KM3NeT).

❖ **NP3.3: Cosmologia observațională**

- studiul anizotropiei radiației cosmice de fond (în experimentul Planck)

❖ **NP3.4: Instrumentație**

- dezvoltarea de noi tehnici de detecție a razelor cosmice folosind undele radio produse de radiația cosmică, în atmosfera, (în experimentele LOPES și Auger), și detectarea neutrinelor de foarte mare energie folosind undele radio produse de aceștia în straturile de sare din saline.

- dezvoltarea de noi tehnologii cu fotodiode SiPM și o electronică rapidă de achiziție în detectia radiației cosmice, care permite realizarea detectorilor compacti pentru investigarea cu precizie sporită a miuonilor atmosferici de mare energie.

❖ **NP3.5: Rețele de raze cosmice pentru educație**

- construirea în scop educativ de rețele de detectori de radiație cosmică montați în licee, având contribuția elevilor și a profesorilor acestora, proiect de colaborare pan-europeană EuroCosmics.

## **NP4: FIZICA NUCLEARĂ LA ENERGII ÎNALTE**

Parte a domeniului larg al fizicii nucleare, fizica nucleară la energii înalte, dedicată studiului fazelor materiei formate din constituenți care interacționează puternic constituie un segment important al fizicii nucleare, cu o importantă contribuție, la nivel național și internațional (CERN, FAIR), cu realizări teoretice, experimentale, IT și tehnologice instrumentație. Problemele studiate în cadrul acestui spectaculos domeniu al fizicii contemporane sunt printre cele mai fundamentale și dificile ale științei: proprietățile fundamentale ale materiei în interacție prin intermediul forței tari, ca funcție de temperatură și densitate; mecanismele microscopice responsabile pentru proprietățile materiei interacționând tare la densități mari; mecanismul prin care hadronii dobândesc masă; modificarea proprietăților particulelor funcție de caracteristicile de temperatură și densitate a mediului în care se află; structura nucleelor atunci când sunt observate la scările cele mai mici, adică cu rezoluția cea mai înaltă.

Ne aflăm în prezent la pragul unei noi revoluții semnificative în acest domeniu, datorită disponibilității actuale și de viitor de fascicule de energie foarte înaltă la LHC (la CERN) și de fascicule de foarte înaltă intensitate la FAIR (la GSI), două dintre cele mai importante centre de cercetare ale lumii, unde prezența și contribuția României, inclusiv ale fizicii hadronice, sunt remarcabile. Acesta este spiritul în care sunt proiectate și implementate strategiile necesare asigurării capacității comunității de fizică nucleară din România de a juca un rol principal la nivel internațional.

Subiectele de fizică hadronică incluse în această strategie sunt următoarele:

❖ **NP4.1: Diagrama de fază în cadrul cromodinamicii cuantice (QCD)**

❖ **NP4.21: Materia interacționând tare în regim nucleonic**

Studiul proceselor puternic disipative și a proceselor de fragmentare în ciocnirea ionilor grei folosind facilități de fascicule radioactive în vederea obținerii de informații asupra termenului de simetrie din ecuația de stare, a evidențierii tranziției lichid-gaz și stabilirii ecuației de stare la densități barionice  $0.3\rho_0 \leq \rho \leq \rho_0$ .

❖ **NP4.3: Materia hadronică**

Evidențierea fenomenelor colective și a modificării proprietăților particulelor în materia nucleară la densități de până la  $\sim 2-3 \rho_0$  și temperaturi de 60-80 MeV prin studiul corelațiilor, probabilităților de producere și a spectrelor de impuls a hadronilor identificați. Studiul ecuației de stare a materiei hadronice în condițiile de densitate și temperatura mai sus amintite.

❖ **NP4.4: Explorarea diagramei de fază QCD la potențiale barionico-chimice mari**

Studiul detaliat al fenomenelor colective, a producerii și absorbției hadronilor care au printre constituenți și cuarci charm, studiul fluctuațiilor dinamice și a rapoartelor relative de probabilități de producere a diferitelor hadroni funcție de energia incidentă în domeniul de energie accesibil la FAIR-Darmstadt folosind aranjamentul experimental CBM, în vederea evidențierii unor tranziții de fază și a naturii acestora.

❖ **NP4.5: Frontiera energiilor înalte**

Evidențierea fenomenelor de tip colectiv în starea deconfinată a materiei, studiul detaliat al proprietăților acesteia folosind tomografia jeturilor, studiul stării inițiale rezultate din interacția p+p, A+A și p+A la energiile LHC folosind aranjamentul experimental ALICE. Evidențierea materiei gluonice saturate.

❖ **NP4.6: Cercetare & Dezvoltare – o nouă generație de detectori, electronică front-end, DAQ**

Noile generații de experimente se vor baza pe sisteme de detecție și identificare, electronica front-end asociată și arhitecturi pentru procesarea datelor experimentale care să facă față unor rate de evenimente cu ordine de mărime peste cele caracteristice actualelor experimente. Aceasta impune o intensă activitate de cercetare pentru dezvoltarea lor. Analiza acestor date experimentale și interpretarea acestora pe baza modelelor teoretice vor necesita arhitecturi de calcul distribuit care vor depăși actualele structuri de tip GRID și care necesită la rândul lor activități aferente de cercetare-dezvoltare.

## NP5: APLICAȚII ALE FIZICII NUCLEARE

Fizica nucleară conduce la o mare varietate de aplicații în științele vieții, mediu, industrie ș.a. România are în acest domeniu o expertiză recunoscută, ilustrată de priorități la nivel național și internațional. Selecția de subiecte prezentată în continuare conține acele aplicații având un important potențial socio-economic și conducând la o vizibilitate internațională remarcabilă:

- ❖ **NP5.1: Date nucleare pentru aplicații.** Pornind de la vizibilitatea internațională actuală a cercetătorilor din România în acest domeniu, stabilită prin prezența cu lucrări științifice în cele mai importante jurnale internaționale din domeniu, estimăm o dezvoltare a lui în următoarele decenii. Proiectele majore în domeniu, atât ENSDF (Evaluated Nuclear Structure Data), NSDD (Nuclear Structure and Decay Data) cât și proiectul DDEP (Decay Data Evaluation Project) conțin participare românească de substanță. Este de remarcat totodată expertiza românească referitoare la date nucleare implicate atât de tehnologiile



reactoarelor de fisiune cât și de fuziune ale viitorului, incluzând dezvoltarea codurilor de calcul recunoscute de întreaga comunitate științifică din domeniu.

- ❖ **NP5.2: Energetica nucleară** - reprezentând și urmând să mai reprezinte și în viitorul pe termen mediu (50 de ani) cea mai importantă sursă de energie pentru satisfacerea obiectivelor asumate de comunitatea europeană: reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, îmbunătățirea independenței energetice a UE, asigurarea securității și a diversității surselor de energie, adevăruri recunoscute și acceptate și în documente programatice (de ex. SET Plan) ale U.E. Importanța energiei nucleare în portofoliul energetic al viitorului e condiționată de dezvoltări tehnologice așteptate ale tehnologiei nucleare (reactoare de generația IV, ADS), ce să conducă la: securitate inerentă crescută, reducerea riscului de proliferare a materialului fisionabil, soluții mai eficiente pentru problemele ridicate de stocarea pe termen lung a deșeurilor radioactive.
- ❖ **NP5.3: Decomisionarea instalațiilor nucleare, tratarea și stocarea deșeurilor radioactive.** Valorificarea oportunităților tehnico-științifice, manageriale și financiare ale dezafectării reactorului IFIN-HH. Este de remarcat că din anul 2011, în cadrul proiectului Research Reactor Decommissioning Demonstration Project (R<sup>2</sup>D<sup>2</sup>P) al IAEA, specialiștii români au fost recunoscuți ca furnizori de expertiză în domeniu.
- ❖ **NP5.4: Științele vieții** – domeniu tradițional de aplicații ale fizicii nucleare, cuprinzând Medicina Nucleară, Farmacologia și investigarea efectelor radiațiilor ionizante asupra sistemelor vii.
- ❖ **NP5.5: Imagistica nucleară de tip PET și CT și metode noi de producere de radioizotopi pentru aplicații medicale.** În viitorul apropiat, datorită impactului social și pentru recuperarea decalajului cu țările dezvoltate, acest domeniu va deveni unul prioritar pentru cercetarea de fizică nucleară, fundamentală și aplicată.
- ❖ **NP 5.6: Metrologia radiațiilor ionizante.** Dezvoltarea de standarde în domeniul metrologiei radionuclizilor și menținerea compatibilității internaționale în domeniu este un obiectiv de mare importanță pentru fizica nucleară aplicată. Calibrarea echipamentelor dozimetrice destinate radioprotecției, presupune competențe acreditate de organisme internaționale.
- ❖ **NP5.7: Aplicații în domeniul mediului.** Una din importante realizări românești, dezvoltarea sistemului expert suport RODOS (Real time on-line decision support) pentru factorii de decizie în caz de accident nuclear sau urgență radiologică, va fi continuată, în vederea realizării unui sistem unic la nivel european.
- ❖ **NP5.8: Metode nucleare în știința materialelor.** Acest domeniu include analiză cu fascicule ionice, analiză elementală și structurală cu microfascicule, radiologie și iradiere cu raze X și microfascicule, iradiere și dozimetrie cu neutroni rapizi, spectroscopie și experimente cu pozitroni.
- ❖ **NP5.9: Arheometrie și conservarea patrimoniului cultural.** Domeniu spectaculos, incluzând tomografia în arheologie și analiza cu fascicule ionice și fluorescență de raze X.

### III.1.2 Impact

E demonstrat istoricește că o cercetare bine dezvoltată în domeniul fizicii nucleare are un impact extrem de complex și pozitiv asupra societății. Un beneficiu major se înregistrează la nivelul național al cunoașterii științifice, care trebuie menținut la cele mai înalte standarde într-un domeniu cum este fizica nucleară, domeniu aflat în relație directă cu probleme strategice cum ar fi mediul, sănătatea sau energia. Posibilitatea de a asigura un flux constant de resurse umane cu înaltă pregătire în orice domeniu legat de activități nucleare este o consecință imediată a existenței în țară a unui program de cercetare în domeniul fizicii nucleare - atât fundamentală cât și aplicativă - puternic și diversificat. Dezvoltări de mare complexitate necesare inițial pentru asigurarea cercetării fundamentale experimentale de fizică nucleară vor fi ulterior aplicate cu succes și în alte domenii. Un exemplu îl constituie detectorii de radiație, unde dezvoltări având drept scop parametri superiori de rezoluție, eficiență, granularitate etc., sunt acum aplicați în monitorizarea mediului înconjurător, în aplicații în domeniul sănătății sau industrie. Creșterea prestigiului științific național ca urmare a unui înalt nivel al cercetărilor de fizică nucleară are de asemenea o importanță majoră și oferă posibilitatea de a dispune de oameni de știință activ implicați în mari proiecte științifice, cu beneficiul unei legături permanente cu cele mai recente descoperiri științifice și tehnologice în domeniu. În același timp sunt avute în atenție aplicații importante ale științei și tehnologiei nucleare în diferite domenii (științele vieții, știința materialelor, mediu, sănătate etc.): radioterapie țintită, defectoscopie, imagistică medicală, managementul deșeurilor, monitorizarea mediului, sisteme de suport decizional pentru managementul urgențelor nucleare etc.

### III.1.3 Analiză SWOT

PUNCTE TARI	PUNCTE SLABE
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entități de cercetare și de învățământ, cu realizări recunoscute și vizibilitate remarcabilă la nivel internațional</li> <li>• Participare activă la marile colaborări internaționale ale domeniului</li> <li>• Activități de cercetare, aplicații și dezvoltare tehnologică în domenii de relevanță științifică și interes societal major</li> <li>• Infrastructură de cercetare actuală, reabilitată în ultimii ani, la nivel european</li> <li>• Noi laboratoare, în curs de finalizare</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transfer tehnologic ineficient</li> <li>• Scăderea accentuată a atractivității muncii în cercetarea științifică, reflectată în numărul tot mai mic și în calitatea tot mai redusă a resursei umane disponibile</li> <li>• Accesul limitat la literatura de specialitate, prin reducerea finanțării.</li> </ul>
OPORTUNITĂȚI	RISURI
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Participarea cu drepturi depline la marile colaborări internaționale din domeniu</li> <li>• Inițierea și realizarea proiectului european ELI-NP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Finanțarea discontinuă și imprevizibilă</li> <li>• Instabilitatea criteriilor de evaluare a cercetării științifice</li> <li>• Lipsa unei finanțări constante a accesului la literatura de specialitate.</li> </ul>

### III.1.4 Obiective pe termen scurt și mediu

#### Obiective pe termen scurt (2012-2014):

- finalizarea proiectelor de investiții în infrastructura de cercetare, aflate în curs;
- depunerea la CE a proiectului european ELI-Nuclear Physics, obținerea aprobării de finanțare și demararea investiției.

#### Obiective pe termen mediu (2015-2020):

- continuarea tradiției și creșterea rolului fizicii nucleare în cercetarea fundamentală, aplicativă și de dezvoltare tehnologică;
- creșterea ponderii cercetărilor aplicative și valorificarea rezultatelor prin transfer tehnologic și servicii de specialitate acreditate;
- finalizarea proiectului european ELI-Nuclear Physics
- consolidarea poziției instalațiilor de interes național și integrarea acestora într-o structură europeană de tip „Small-Scale European Facilities”;
- realizarea, într-un parteneriat institute de cercetare – unități de învățământ de fizică, a unui potențial uman de cercetare, viabil pe termen lung, prin realizarea unui mediu științific atractiv precum și motivare economică și culturală credibilă;
- implicarea eficientă în proiectele europene și atingerea unui nivel de participare la proiectele programelor-cadru UE, de 10% din volumul de activitate;
- continuarea colaborării cu partenerii tradiționali, în special cu cei strategici (în cadrul CERN, JINR, FAIR, ș.a.);
- intensificarea participării cercetătorilor din România la marile colaborări internaționale emergente, din domeniul fizicii nucleare și a fizicii astroparticulelor;
- promovarea resurselor de expertiză și a competențelor din domeniu;
- continuarea eforturilor de creștere a numărului proiectelor de anvergură și valoare mare, de îmbunătățire a managementului lor și de maximizare a rezultatelor științifice.

### III.1.5 Recomandări

- *Sprrijinirea infrastructurilor existente și viitoare în fizica nucleară din România: Acceleratoarele Tandem Van de Graaff 9 MV, 3 MV, 1MV și ciclotronul TR19, care urmează să fie recunoscute ca infrastructuri europene de cercetare.*
- *Se recomandă cu putere aprobarea și finanțarea noului proiect ELI- Nuclear Physics.*
- *Se recomandă finanțarea completă și constantă a cercetărilor legate de marile facilități europene, în special cele în care România este țară membru: FAIR, CERN și IUCN-Dubna.*
- *Se recomandă cu putere finanțarea continuă și predictibilă a cercetărilor de fizică nucleară pentru a evita orice efecte negative pe termen scurt sau lung, generate de fluctuații mari ale nivelului de finanțare, de la un an fiscal la altul.*
- *Întărirea participării la colaborările pan-Europene în fizica la energii joase, astrofizica nucleară, fizica astroparticulelor și fizica hadronică.*

- *Sprijin susținut pentru dezvoltările teoretice necesare abordării provocărilor de bază actuale sau care pot apărea din noile observații experimentale.*
- *Dezvoltarea în continuare a aplicațiilor fizicii nucleare în generarea de energie, medicină, noi materiale, conservarea patrimoniului cultural, mediu și securitate.*
- *Sprijin pentru programe educaționale ample în Știință și Tehnologie, ca bază de atracție a tinerelor generații spre cercetarea de fizică, în particular a celei de fizică nucleară.*
- *Asigurarea finanțării constante a accesului la literatura de specialitate.*

## III.2 FIZICA PARTICULELOR ȘI A CÂMPURILOR

Prin construcția la CERN a acceleratorului Large Hadron Collider (LHC), fizica particulelor elementare a făcut un salt important, spre noi descoperiri, care să ne conducă spre o mai bună cunoaștere a structurii materiei și a forțelor fundamentale existente în Univers. LHC-ul a deschis un nou teritoriu energetic, energia incidentă obținută la LHC în ciocnirile proton-proton fiind, în momentul de față, cu un factor 3,5 mai mare decât energia incidentă de la Tevatron, Fermilab (SUA).

Datorită acceleratorului LHC și a dispozitivelor experimentale care utilizează fasciculele de la LHC, CERN-ul a devenit lider mondial în domeniul fizicii particulelor. Deși obiectivul său principal îl constituie coordonarea activității din domeniul particulelor în cadrul continentului European, CERN-ul susține puternic implicarea în activitățile sale a unor echipe de cercetare din întreaga lume, astfel încât printr-un efort comun să se contribuie la rezolvarea problemelor fundamentale din domeniul fizicii particulelor utilizând infrastructura de excepție de la CERN, construită folosind o expertiză tehnică deosebită și un efort financiar urias.

Prin ratificarea în Parlament a acordului dintre Ministerul Educației, Cercetării, Tineretului și Sportului și CERN în februarie 2010, România a îndeplinit ultimul pas oficial pentru începerea procesului de a deveni stat membru al Centrului de Cercetări Nucleare de la Geneva. Acest fapt are și va continua să aibă consecințe majore asupra strategiei domeniului fizicii particulelor în România.

În procesul de aderare la CERN a statului român, un rol important l-au avut echipele de cercetători români care participă de aproximativ douăzeci de ani în experimentele de la CERN. Contribuția română în aceste experimente s-a dezvoltat în mod continuu și semnificativ, echipele de cercetători fiind din ce în ce mai mari prin cooptarea de tineri absolvenți. Din totalul de patru experimente mari, cuprinse în programul LHC, cercetătorii români participă la trei dintre ele și anume: ALICE, ATLAS și LHCb, contribuind la construcția și darea în exploatare a detectorilor celor trei mari experimente și, mai recent, participând la achiziția și interpretarea datelor obținute în fascicule.

Strategia în domeniul fizicii particulelor, pentru un stat membru CERN, trebuie să fie consistentă cu strategia adoptată de CERN, al cărui obiectiv prioritar este exploatarea la maxim a potențialului de noi descoperiri al LHC-ului. Pe de altă parte, cercetările experimentale de la CERN trebuie susținute de o bază teoretică adecvată. Din aceste considerente, strategia de cercetare din domeniul fizicii particulelor trebuie să cuprindă dezvoltarea de modele teoretice care să permită interpretarea rezultatelor experimentale recente, dar și modele teoretice care generalizează teoriile actuale.

În continuare, descriem succint temele principale abordate în experimentele și studiile de fizică teoretică din domeniul fizicii particulelor elementare.

### III.2.1 Teme și subiecte

#### PF1: STUDIUL GENERAL AL CIOCNIRILOR PROTON-PROTON LA LHC

În studiile experimentale, efectuate în domeniul particulelor, ponderea principală a contribuției române în programul LHC, revine participării cercetătorilor români în colaborările ATLAS și LHCb.

**Colaborarea ATLAS** - Activitatea depusa de un grup de cercetatori din IFIN in cadrul colaborarii NA50-CERN a stat la baza solicitarii de a participa in colaborarea ATLAS inca din perioada proiectelor C&D ale diferitelor sub-sisteme din ATLAS. Grupul roman din ATLAS a contribuit la constructia calorimetrului hadronic central cu placi scintilatoare Tilecal-ATLAS, implicand cu succes si industria din Romania, si in acelasi timp, a participat intens in activitatea de teste in fascicule a modulelor calorimetrului. De asemenea, a existat o contributie romaneasca importanta in dezvoltarea sistemelor de triggerare si achizitie de date, in special in domeniul Online Software. Activitatea grupului roman depusa in timpul testelor in fascicule precum si in cursul comisionarii detectorului a contribuit, impreuna cu efortul depus de ceilalti colaboratori, la rezultatele bune observate in functionarea detectorului ATLAS in perioada achizitiei de date, din momentul darii in functiune a acceleratorului LHC. In momentul de fata, grupul roman participa la operarea calorimetrului TILECAL si prin expertii sai in sistemul de control al calorimetrului, asigura functionarea cu performante bune al acestui subsistem. De asemenea, exista o contributie importanta a grupului roman in monitorizarea calitatii datelor achizitionate in special in dezvoltarea de aplicatii software dedicate acestei monitorizari. O alta directie importanta in contributia grupului roman IFIN-HH este participarea la operarea sistemului de Trigger si Achizitie de Date si evaluarea eficientei achizitiei de date. De asemenea, trebuie mentionata monitorizarea retelelor TDAQ-ATLAS, activitate asigurata de catre specialisti din UPB. Au fost efectuate studii fenomenologice folosind simulari pentru a determina potentialul de descoperire al detectorului ATLAS pentru procese de fizica prezentand interes pentru grupul roman, cat si studii teoretice privind constanta de cuplaj QCD, determinarea elementelor matrici CKM, si corectii radiative QCD in procese exotice electroslab. Grupul roman din ATLAS, contine in momentul de fata, specialisti din IFIN-HH, UPB si INCDTIM-Cluj.

**Colaborarea LHCb** - Participarea romaneasca la experimentul LHCb a fost initiata in anul 1996. De-a lungul anilor cercetatorii romani din IFIN-HH au fost implicati in proiectarea, constructia si comisionarea detectorului LHCb, participand printre altele la testarea detectorului cu radiatii cosmice, calibrarea calorimetrului, productia de software pentru calorimetru si achizitia de date. In colaborare cu grupul LHCb din Universitatea Oxford, membrii grupului LHCb din IFIN-HH au contribuit la elaborarea unei proceduri de calibrare a detectorului RICH cu date reale folosind canalul de dezintegrare  $\Lambda \rightarrow \pi p$ . O alta contributie in pregatirea analizei de date a reprezentat-o participarea la validarea programului de productie a datelor simulate folosite de catre experimentul LHCb.

Fasciculele stabile furnizate de acceleratorul LHC in cursul anului 2010, precum si performantele deosebite ale detectorilor, au oferit o baza solida pentru inceputul realizarii programelor stiintifice ale colaborarilor participante in programul LHC.

#### ❖ PF 1.1 Masurari de mare precizie ale Modelului Standard si cautarea bozonului Higgs

A) **Modelul Standard** descrie cu succes interactiile tari, electromagnetice si slabe intre particulele elementare, la energiile cele mai mari accesibile in experimente. Totusi, MS include si unele aspecte fundamentale, neclarificate inca, asa cum este de exemplu lipsa bozonului Higgs. In consecinta, verificarea previziunilor teoretice date de MS cu noi date experimentale prezinta un interes deosebit, un rol special revenindu-i comparatiei cu datele obtinute de la LHC in noul teritoriu energetic deschis de acest accelerator. In ultima instanta, aceste verificari constituie totodata, cautari implicite de semnale de fizica noua. De asemenea, procesele descrise de MS constituie

fondul in studiile dedicate punerii in evidenta a semnalelor de fizica noua si este crucial sa fie cunoscute cu precizie cat mai buna.

Procesele descrise de MS, amplu studiate la LHC sunt: a) Producerea de jeturi, b) Producerea de fotoni directi, c) Producerea de bozoni W/Z, d) Producerea de bozoni in asociatie cu jeturi, e) Producerea de perechi de bozoni gauge (de etalonare), f) Soft QCD, g) Producerea de cuarci "b" h) Producerea de cuarci top.

**Colaborarea ATLAS** - Producerea de jeturi, fiind procesul dominant in producerea de particule cu impuls transversal mare, este un proces amplu studiat de catre colaborarea ATLAS, acordandu-se o importanta deosebita atat producerii de jeturi singulare cat si producerii de dijeturi si de multi-jeturi. O buna concordanta cu previziunile teoretice date MS a fost observata pentru un interval larg al impulsului transversal al jetului (pana la valori ale impulsului transversal de 1.5 TeV) precum si pentru un interval larg in rapiditate. Grupul din IFIN, participant in calorimetria hadronica ATLAS, s-a ocupat de simulari si de comparatii detaliate intre diferitele **algoritme** existente privind identificarea jeturilor, rezultatele pledand in favoarea **algoritmului** anti- $k_t$ .

Rezultate deosebite au fost obtinute si in studiul producerii de perechi de cuarci  $t\bar{t}$ . Colaborarea ATLAS a masurat sectiunea eficace de productie a perechilor de cuarci top in doua canale: canalul cu un singur lepton si canalul cu doi leptoni. Folosind datele experimentale corespunzatoare unei luminozitati integrate egale cu  $2.9 \text{ pb}^{-1}$ , s-a obtinut pentru sectiunea eficace de productie a perechii  $t\bar{t}$  o valoare in buna concordanta cu calculele efectuate cu QCD perturbativa. Producerea de perechi de cuarci  $t\bar{t}$  este un proces prezentand un interes deosebit pentru grupul roman. In acest moment se efectueaza o compartie a datelor experimentale obtinute la LHC privind procesul de productie a perechilor de cuarci  $t\bar{t}$  cu simulari efectuate cu noua versiune a generatorului PYTHIA, denumita PYTHIA 8, in vederea validarii acestui cod.

**Colaborarea LHCb** - In cadrul colaborarii LHCb, grupul roman este implicat in studiul dezintegrarilor rare radiative ale mesonilor b, modurile de dezintegrare  $B_d \rightarrow K^* \gamma$  si  $B_s \rightarrow \phi \gamma$  fiind candidati perfecti pentru punerea in evidenta a efectelor New Physics. In paralel cu participarea la analiza de date se ofera suport pentru optimizarea si validarea esantioanelor de date simulate. In prezent cercetatorii romani sunt implicati in studii de soft-QCD, in particular producerea de particule care contin cuarcul "strange", studii care profita de faptul ca detectorul LHCb ofera o posibilitate unica de a studia producerea de hadroni cu rapiditati foarte mari, fiind singurul detector LHC care poate oferi informatii de la toate categoriile de detectori pentru particulele cu rapiditati mari: reconstructie de traiectorii, identificarea particulelor, calorimetrie, detectori de muoni. Un alt subiect de interes abordat de catre cercetatorii din grupul LHCb de la Bucuresti este studiul productiei barionilor b, un domeniu in care LHCb poate aduce o contributie importanta avand in vedere ca datele LHC vor oferi prima oportunitate pentru studii de precizie implicand barionii b care nu au putut fi produsi la fabricile b (b-factories) si pentru care datele inregistrate la Tevatron ofera o statistica redusa, iar detectorul si trigger-ul LHCb sunt optimizate pentru studiul particulelor care contin cuarcul beauty.

B) **Cautarea bozonului Higgs** este un subiect de prioritate maxima pentru programul LHC si se realizeaza in special in cadrul colaborarilor ATLAS si CMS.

Pentru a descrie masa particulelor, Modelul Standard, teoria actuala a particulelor elementare si a interactiilor lor fundamentale, introduce mecanismul Higgs ce ofera o explicatie pentru dinamica ruperii spontane a simetriei electroslab. Acest mecanism, asa cum este el inteles acum, impune existenta unei noi particule, bozonul Higgs. Pe baza cunostintelor teoretice actuale, sectorul Higgs din MS ramane fara constrangeri. Masa bozonului,  $M_H$ , nu este teoretic prezisa. Descoperirea bozonului Higgs, ultima particula fundamentala prezisa de MS, constituie unul din obiectivele principale ale programului stiintific de la LHC si continua sa fie de mai multi ani, un obiectiv prioritar la acceleratorul Tevatron de la Fermilab (SUA). Gasirea bozonului Higgs, sau excluderea existentei lui cu ajutorul datelor experimentale de la LHC, reprezinta o problema fundamentala pentru domeniul particulelor elementare. Colaborarea ATLAS a prezentat 28 de comunicari la Conferinta Internationale privind producerea de bozoni Higgs. Se spera ca dupa achizitia de date efectuata in anii 2011 si 2012 sa fie posibil obtinerea unui raspuns privind existenta bozonului Higgs prezis de MS. Grupul roman din ATLAS studiaza producerea bozonului Higgs prin intermediul producerii de perechi de noi fermioni ( a 4-a generatie).

## ❖ PF 1.2 Fizica „Beyond Standard Model”

### A) Cautarea de particule prezise de modele supersimetrice

Supersimetria (SUSY) este teoria cea mai studiata dintre extensiile Modelului Standard. Ea reuseste sa rezolve unele deficiente ale MS precum stabilizarea masei bozonului Higgs si unificarea cuplajelor gauge si in acelasi timp nu este in contradictie cu masuratorile de mare precizie electroslab. SUSY prezice existenta unor parteneri ai particulelor din MS, avand aceleasi proprietati cu acestea, cu exceptia spinului (diferit cu  $\frac{1}{2}$ ). Intrucat acesti parteneri, cu masa egala cu cea a particulelor din MS nu au fost observati, SUSY este o simetrie rupta. Particulele SUSY sunt produse in perechi si se dezintegreaza in particule din MS acompaniate de LSP (Lightest SUSY Particle) care este stabila si reprezinta un posibil candidat pentru particula elementara a materiei intunecate existente in Univers. La LHC se efectueaza o cautare sistematica a particulelor supersimetrice. Grupul roman din ATLAS se ocupa cu producerea de noi bozoni de etalonare si de bozoni Higgs prezisi de modelele supersimetrice.

### B) Studiul proceselor exotice

Exista o varietate larga de semnale de fizica noua care introduc idei noi. Un exemplu tipic il reprezinta modelele tehnicolor care inlocuiesc bozonii Higgs cu condensati dinamici. In general, semnale de fizica noua precum existenta cuarcilor excitati, a leptocuarilor, a interactiilor de contact, nu sunt previziuni ale unui model anumit, dar independent de existenta sau inexistaenta unui model teoretic care prevede semnalul de fizica noua, verificarea experimentala a acestor semnale in noul teritoriu energetic de la LHC, prezinta un interes deosebit. Dat fiind expertiza existenta in grupul roman din ATLAS privind cautarea de semnale de fizica noua prin analiza diferitelor topologii observate in datele experimentale, s-a inceput acest studiu pe materialul experimental obtinut in ATLAS. De asemenea, experienta obtinuta in cadrul experimentului H1 in cautarea de cuarci excitati, studiu in care o parte din grupul ATLAS a fost implicat, a constituit o baza solida pentru abordarea unui studiu similar pe datele experimentale ale colaborarii ATLAS.



## PF2: STUDIUL INTERACȚIILOR TARI LA ENERGII JOASE

### ❖ PF2.1 Interacția $\bar{K}N$ la energie joasă la acceleratorul DAΦNE de la INFN-LNF.

Colaborarea SIDDHARTA-2 (Silicon Drift Detectors for Hadronic Atom Research by Timing Application) își propune măsurarea tranzițiilor, cu emisie de raze X, pe nivelul 1s în deuteriul kaonic la acceleratorul DAΦNE de la INFN-LNF precum și tranzițiile pe nivelul 1s în atomi exotici kaonici He3 și He4. Obiectivele propuse sunt extrem de ambicioase iar realizarea oricărui ar reprezenta o premieră în fizica KN la energie joasă.

Din anul 1995 și până în prezent (2011), în cadrul experimentelor DEAR și SIDDHARTA, grupul român din IFIN- a fost responsabil cu: a) calcule de captură și cascadă în atomi exotici de tip hidrogen-kaon ; b) proiectarea, construcția și exploatarea monitorului de kaoni al experimentului DEAR; c) proiectarea, construcția și exploatarea sistemului de monitorizare și control "lent" al experimentului DEAR; d) realizarea programului de preanaliză a „imajinilor” detectorilor CCD folosiți de experimentul DEAR, și apoi VIP, pentru detecția de raze X; e) proiectarea inițială a sistemului de monitorizare și control "lent" al experimentului SIDDHARTA; f) participare la proiectarea și realizarea sistemului de alimentare cu tensiune înaltă și joasă a detectorilor SDD și electronicii de interfață a experimentului SIDDHARTA; g) proiectarea, construcția și exploatarea detectorului de kaoni al experimentului SIDDHARTA; h) preanaliza datelor experimentale în DEAR și analiza datelor pentru heliul-kaonic în SIDDHARTA.

Contribuția grupului român s-a materializat într-un număr important de publicații și comunicări științifice. Totodată patru membri ai grupului român au câștigat prin concurs burse post-doc la INFN-LNF, au fost obținute două titluri de doctor în fizică cu tematica din experimentele DEAR și SIDDHARTA și sunt în curs de pregătire alte două teze. În prezent, în cadrul colaborării SIDDHARTA-2, participă trei cercetători din IFIN-HH, iar tematica atomilor exotici este cuprinsă, cu două locuri, în specializarea de masterat a Facultății de Fizică București.

### ❖ PF2.2 Experimentul DIRAC ( Dimeson Relativistic Atom Complex) de la CERN

Scopul experimentului DIRAC este de a verifica estimările teoriei interacției tari (Quantum Chromodynamics - QCD) pentru domeniul neperturbativ cu privire la formarea atomilor hadronici. Colaborarea DIRAC a măsurat timpul de viață al atomilor hadronici  $\pi^+\pi^-$  și a pus în evidență existența atomilor  $\pi K$  urmînd să investigheze formarea atomilor  $K^+K^-$  și  $\pi\mu$ , măsurarea timpului lor de viață și măsurarea deplasării Lamb pentru acești atomi.

### **Comentarii privind participarea în noi experimente în cadrul unor colaborări internaționale**

Există interes pentru a participa în două colaborări internaționale și anume în experimentul PANDA din cadrul complexului de accelerare FAIR și într-un experiment din programul internațional ILC (International Linear Collider). Menționez că există contacte mai mult sau mai puțin periodice între cercetătorii români care doresc să participe în aceste experimente și posibili parteneri din echipele implicate deja în aceste experimente.

### PF3: FIZICA TEORETICA LA ENERGII INALTE

Datorita costurilor mari si a infrastructurii complicate pe care le implica cresterea energiei in experimentele de particule elementare, fizica teoretica joaca un rol important in dezvoltarea acestui domeniu prin ideile pe care le propune si prin analiza diferitelor scenarii care pot aparea in experimente. Se poate spune, pe buna dreptate, ca experimentele de la LHC sunt concepute special pentru a verifica diferite predictii teoretice care au aparut de-a lungul timpului.

#### ❖ PF3.1: Teorii cuantice de camp si modelul standard al particulelor elementare

Modelul standard al particulelor elementare este o teorie bine stabilita care descrie procesele fizice in care sunt implicate particulele elementare – cuarci si leptoni. Cu toate ca acordul acestui model cu datele experimentale obtinute pana la energii de ordinul a 100 GeV este foarte bun, este necesara obtinerea unor predictii cat mai precise pentru a putea rezolva posibilele semnale ale unei fizici noi Beyond Standard model (BSM), precum si pentru a putea gasi si ultima piesa lipsa din modelul standard – bozonul Higgs. In paralel este necesara formularea corecta a acestei teorii si punerea ei pe baze matematice solide.

Din aceste motive cercetarile pe marginea modelului standard al particulelor elementare sunt inca de actualitate si de mare necesitate avand in vedere cantitatea uriasa de date experimentale care au fost achizitionate, sau sunt in curs de achizitie la principalele experimente de la LHC.

Principalele surse de erori in calculele teoretice din modelul standard se datoreaza in special interactiilor tari, precum si incertitudinilor legate de matricea de amestec CKM. Aceste teme vor constitui principalele directii de cercetare in fizica modelului standard in urmatorii ani. De asemenea se va avea in vedere un studiu riguros al modelului standard in cadrul formalismului cauzal (Epstein-Glaser).

#### ❖ PF3.2: Teorii „Beyond Standard Model”

Cu toate ca motivatiile experimentale lipsesc, exista in momentul de fata o serie de argumente de natura teoretica care sa sustina ideea ca in spatele modelului standard al particulelor elementare se afla o fizica noua. In ultimii 30 de ani s-au studiat diferite modele incepand cu extensii simple ale modelului standard, continuand cu modele unificate, modele supersimetrice si incheind cu teoria corzilor. Predictiile mai mult sau mai putin robuste ale acestor modele urmeaza sa fie comparate cu datele experimentale care se asteapta sa fie obtinute de la principalele experimente de la LHC.

Teoriile BSM ocupa un loc de frunte in politica de cercetare internationala iar importanta lor intr-o perioada cand sunt asteptate date de la experimente dedicate pentru masurarea unor efecte in afara modelului standard, nu poate fi ignorata. In prezent in Romania nu exista un grup de fizica teoretica dedicat studiului unor teorii BSM si exista numai izolat cercetatori care se ocupa de astfel de tematici, dar nu intr-un cadru unitar bine incheiat. De aceea consideram ca este absolut necesara demararea de programe de cercetare care sa sprijine dezvoltarea unor astfel de directii de cercetare. Este important de mentionat faptul ca exista un numar insemnat de cercetatori romani in domeniul fizicii BSM care activeaza in strainatate. O mica parte dintre acestia s-au reintors in tara si isi continua activitatea de cercetare in acest domeniu. Printr-o finantare corespunzatoare a domeniului, ar putea fi atrasi si alti cercetatori romani dintre cei ce lucreaza in strainatate. De asemenea, exista si

numerosi cercetatori romani stabiliti definitiv in strainatate, care sunt dornici sa sprijine dezvoltarea viabila a acestui domeniu in tara noastra.

Printre directiile care pot fi abordate in momentul de fata cu personalul existent, mentionam: Studiul unor modele fenomenologice in teoria corzilor; modele supersimetrice si modele grand-unificate, studiul unor aspecte formale in teoria corzilor, studiul efectelor neperturbative in teoria corzilor, extensii necomutative ale modelului standard, modele cu mai multe familii de cuarci si leptoni, studiul unor modele nelocale.

### ❖ **PF3.3: Cuantificarea gravitatiei si cosmologie**

Cuantificarea gravitatiei este de un interes major in fizica teoretica de energii inalte. Gravitatea cuantica se banuieste ca poate avea aplicatii de la gasirea unei teorii fundamentale care sa descrie toate tipurile de interactii cunoscute, pana la cosmologie si gauri negre. Exista in momentul de fata in Romania o serie de cercetatori care abordeaza astfel de tematici de cercetare, insa este de dorit atragerea din strainatate a altor cercetatori, care sunt familiarizati cu noile dezvoltari ale domeniului.

Printre subiectele care vor fi abordate mentionam: studiul gravitatiei cuantice in cadrul formalismului cauzal (Epstein-Glaser), studiul teoriilor de camp pe grup, propunere de cuantificare a gravitatiei, studiul simetriilor ascunse si anomaliiilor gravitationale, studiul modelelor cosmologice cu anizotropii si singularitati spatio-temporale, studiul acceleratiei cosmice si a modelelor cosmologice non-standard, studiul unor solutii exacte ale ecuatiilor de camp cu semnificatie in astrofizica particulelor elementare, sau studiul unor modele geometrodinamice in numar extins de dimensiuni.

## **III.2.2 Impact**

Cercetarile efectuate in cadrul acestui domeniu incearca rezolvarea unor probleme fundamentale legate de structura materiei si a fortelor existente in natura. Se asteapta ca rezultatele obtinute sa ofere explicatii semnificative privind evolutia Universului nostru in special privind existenta asimetriei puternice intre materie si antimaterie precum si lamuriri privind prezenta in Univers a materiei intunecate, a carei existenta, pana in momentul de fata, a fost probata numai in mod indirect.

Participarea in experimente dedicate observarii de noi descoperi, intr-un teritoriu energetic nou, este puternic corelata cu obtinerea de rezultate stiintifice fundamentale noi, ce vor fi publicate in cele mai prestigioase jurnale dedicate domeniului, contribuind la cresterea vizibilitatii cercetarii din Romania.

Impact stiintific: Cercetatorii implicati in domeniul Particule si Teorii de Camp au publicat in perioada 2000 – 2011 un numar de 411 lucrari, din care 293 cu autori din IFIN si 120 cu autori din diferite Universitati din tara. Prin participarea in cele mai prestigioase colaborari din lume se aduce o crestere a vizibilitatii cercetarii din Romania.

Impact tehnologic: Prin dezvoltarea activitatii GRID in Romania, o conditie absolut necesara participarii in experimentele de la LHC, s-a reusit realizarea unor centre GRID cu o putere de calcul si

de stocare deosebite, comparabile cu centre similare din UE si SUA. Aceste centre pot sa constituie un model pentru alte unitati de cercetare.

Impact economic: Participarea la upgradarea detectorului ATLAS, necesara pentru a putea achizitiona date la SLHC, poate oferi oportunitati pentru antrenarea in activitati CERN a industriei romanesti.

Impact social: participarea la programele educationale ale CERN-ului este o oportunitate la care avem acces din momentul aderarii la CERN. Pentru a putea folosi aceasta oportunitate, este insa necesara existenta unui suport financiar corespunzator.

### III.2.3 Analiză SWOT

PUNCTE TARI	PUNCTE SLABE
<ul style="list-style-type: none"> <li>• participarea in cele mai prestigioase experimente din lume in domeniu bazate pe o infrastructura de exceptie care vor conduce la descoperiri fundamentale</li> <li>• existenta unui personal cu experienta in domeniu (desi insuficient)</li> <li>• Studiul unor fenomene fizice noi pe baza datelor experimentale de la LHC</li> <li>• Interpretari teoretice originale utilizind date experimentale noi</li> <li>• Existenta unei infrastructuri locale de prelucrare si stocare a datelor experimentale de tip GRID in buna concordanta cu cerintele impuse de colaborari</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtinerea unui suport financiar fragmentat (din diferite proiecte) si sub necesitati</li> <li>• Inexistenta unor cursuri specifice domeniului de particule, dedicate viitorilor fizicieni experimentatori, in cadrul pregatirii masteratului.</li> <li>• Resurse umane insuficiente, dispersia acestora pe prea multe directii.</li> <li>• Potential tehnologic/industrial scazut</li> </ul>
OPORTUNITĂȚI	RISCURI
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atragerea spre cercetarile din domeniul particulelor elementare de tineri fizicieni interesati de oportunitatile deosebite oferite de participarea Romaniei in cadrul unor colaborari prestigioase.</li> <li>• Posibilitatea de a participa in proiecte noi LHeC, ILC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pericolul de nerespectare a angajamentelor luate in cadrul colaborarilor internationale in cazul intarzierii suportului financiar aprobat.</li> <li>• Plecarea celor mai buni tineri /specialisti in afara.</li> </ul>

### III.2.4 Obiective pe termen scurt și mediu

#### Obiective pe termen scurt (2012-2014):

- Confirmarea (infirmary) experimentală a existenței bozonului Higgs
  - ✓ Contribuții la achiziția de date pentru a obține statistica necesară
  - ✓ Studiul producerii bozonului Higgs prin intermediul producerii de perechi de noi fermioni (generația a 4-a)
- Determinarea cu mare precizie a parametrilor Modelului Standard
  - ✓ Studiul producerii de perechi de cuarci top anti-top
- Cautarea de semnale de fizică nouă și interpretarea lor teoretică
  - ✓ Cautarea de semnale de fizică nouă printr-un studiu general al topologiilor existente în datele experimentale
  - ✓ Cautarea de cuarci excitați

#### Obiective pe termen mediu (2015-2020):

- Contribuții la upgradarea detectorilor în vederea funcționării lor la SLHC
- Testarea diferitelor modele de fizică nouă folosind materialul experimental obținut în anii 2010-2014, în cadrul colaborărilor de la LHC, subiect puternic dependent de rezultatele ce vor fi obținute în perioada 2012-2014.

### III.2.5 Recomandări

- *Crearea unor programe având ca scop final atragerea de cercetători români cu experiență, care acum lucrează în străinătate.*
- *Introducerea unor cursuri specifice domeniului de particule, privind aspecte experimentale, în programul de masterat în fizică.*
- *Finanțarea să fie aprobată înainte începerii anului calendaristic și avansul corespunzător să fie substanțial și acordat la începutul anului*
- *Cheltuielile necesare operării și întreținerii infrastructurii de prelucrare și stocare de date să poată fi incluse în capitolele de cheltuieli eligibile.*

## III.3 FIZICĂ ATOMICĂ, MOLECULARĂ ȘI CHIMICĂ

În domeniul fizicii atomice, moleculare și chimice lucrează relativ puține grupuri din țară (în primul rând din București și Cluj), dar cu rezultate semnificative din punctul de vedere al calității publicațiilor (factor de impact, număr de citări pe articol), numărul de articole pe cercetător, colaborări internaționale. Rezultatele fundamentale din acest domeniu se aplică în multe alte domenii, cum ar fi nanoștiințe, optica, chimie, biologie moleculară, imagistică medicală, radioterapie etc. Din această cauză multe din publicațiile fizicienilor care lucrează în acest domeniu sunt încadrate în alte domenii, chiar din afara fizicii.

### III.3.1 Teme și subiecte

#### AM1: STUDIUL TEORETIC AL STRUCTURII ATOMILOR ȘI MOLECULELOR

**State of the art.** Pe parcursul ultimilor ani, studiul teoretic al structurii atomilor și moleculelor a contribuit la obținerea de date atomice de interes pentru diverse domenii. Noile tehnologii hardware și software oferă o precizie sporită de calcul. Folosirea aproximațiilor adecvate și a unor metode numerice performante permit includerea de efecte fizice relevante pentru modelarea unor sisteme atomice cu mulți electroni.

**Realizări interne și expertiză.** Instituții: *Universitatea București, Universitatea Babeș-Bolyai Cluj, INFLPR, INCDTIM Cluj, Universitatea Ovidius Constanța*. Deși aceste grupuri au publicat mai multe studii în reviste pe această tematică, putem spune că ele nu se ocupă primordial de calcule de structură atomică (și moleculară), ci completează studiile lor experimentale (UB, UBB) sau de dinamica electronică (INFLPR). Expertiza grupurilor constă în utilizarea și dezvoltarea metodelor Hartree-Fock (HF), post-HF, Density Functional Theory (DFT) și Time dependent DFT, utilizarea softurilor Gaussian, Gamess, Turbomole, ADF, AbInit, Crystal, Jaguar. Grupurile românești au fost incluse în consorții internaționale via IAEA sau EU.

#### ❖ AM1.1: Calcule de structură atomică; Spectroscopie teoretică și computațională.

Motivație: Impactul metodelor spectroscopice în aplicații practice este enorm, aceste aplicații mergând de la astrofizică la proiectarea medicamentelor și studii biomedicale, de la patrimoniul cultural la caracterizarea materialelor și proceselor de interes tehnologic, etc. Totuși, dezvoltarea unor tehnici experimentale tot mai sofisticate implică în mod corespunzător cerințe severe referitoare la calitatea modelelor folosite pentru interpretarea rezultatelor spectroscopice precum și asupra acurateții descrierii proceselor fizico-chimice.

Scop:

- Calculul teoretic al structurii electronice corespunzătoare stării fundamentale și excitate a atomilor și moleculelor (empirice, semiempirice, Ab Initio (Hartree-Fock, post-HF), DFT, TD-DFT); dezvoltarea de metode cuantice (corelate) și computaționale pentru calculul structurii atomilor și moleculelor; modelare moleculară;
- explicarea și completarea rezultatelor experimentale referitoare la caracteristicile structurale, electronice și dinamice ale sistemelor atomice sau moleculare investigate, pornind de la proprietățile spectrale ale acestora.
- delimitarea și cuantificarea rolului diferitelor efecte în determinarea proprietăților spectroscopice a unui sistem molecular sau supramolecular dat.

- predicția proprietăților electronice, structurale și spectroscopice ale noilor sisteme moleculare.

În contextul intrării României ca membru în diferite consorții internaționale, se propune furnizarea de date atomice cu acuratețe crescută, de date moleculare și chimice (de suprafață) pentru proiecte mari de infrastructură la care România este parteneră: ITER, JET, FAIR sau mai recent ELI-NP.

❖ **AM1.2: Interacțiuni intermoleculare (legături de hidrogen, forțe van der Waals, potențiale de interacțiune); suprafețe de energie echipotențială ale sistemelor moleculare**

Motivație: În ultimii 20 de ani am fost martorii unei creșteri enorme a interesului pentru calculul rapid și de mare acuratețe a interacțiunilor intermoleculare. Motivul acestui interes crescut poate fi înțeles dacă se ține cont de rolul extrem de important pe care îl au interacțiunile ne-covalente în structura și funcțiile moleculelor și clusterilor moleculari de interes biomedical și/sau cu aplicații în nanotehnologie.

Scop:

- proiectarea, implementarea și testarea metodologiilor de calcul a interacțiunilor intermoleculare slabe
- descrierea cu acuratețe ridicată a suprafețelor de energie potențială a moleculelor sau clusterilor moleculari
- obținerea unor potențiale de interacțiune intermoleculară de mare acuratețe pentru aplicații în științe și tehnologii moleculare

**AM2: STUDIUL PROPRIETĂȚILOR ATOMILOR ȘI MOLECULELOR PRIN INTERACȚIUNI CU CÂMPUL ELECTROMAGNETIC; SPECTROSCOPII**

**State of the art**

Studiul interacțiunilor atomilor și moleculelor cu câmpul electromagnetic reprezintă cea mai importantă și precisă metodă pentru determinarea proprietăților acestora.

Spectroscopia acoperă o arie foarte extinsă și care continuă să fie lărgită datorită introducerii tehnicilor bazate pe transformata Fourier, dezvoltarea laserilor și a tehnicilor precum spectroscopia fotoelectronică sau a microscopiilor AFM (Atomic Force Microscopy) sau STM (Scanning Tunneling Microscopy). Spectroscopia atomică și moleculară ocupă o poziție specială în fizică, chimie și în știință în general, fiind capabilă să furnizeze răspunsuri detaliate la întrebări actuale și extrem de importante, în particular la cele referitoare la structura atomică și moleculară.

**Realizări interne și expertiză**

Această temă este foarte intens studiată în mai multe centre din țară, cu rezultate semnificative de nivel mondial: *Universitatea București (UB), Institutul National C-D pentru Fizica Materialelor (IFTM)-Magurele, Institutul National C-D pentru Fizica Laserilor, Plasmei și Radiației (INFLPR), Universitatea Babeș-Bolyai (UBB) Cluj, INCDTIM Cluj-Napoca*. Studiile efectuate sunt cu preponderență experimentale, și se bazează pe o infrastructură performantă. Existența unor astfel de facilități în țară permite obținerea de informații deosebit de importante în științele vieții și ale mediului. Sunt rezultate semnificative în interacția radiației electromagnetice cu sistemele atomice, radiația plasmei de fuziune, elaborarea de modele de ecranare pentru procese cu 2 fotoni, efecte de câmp înalt în spectroscopia paramagnetică de rezonanță, investigații la scară atomică prin metode microstructurale și spectroscopice a defectelor în solide, sinteza materialelor nanostructurate, implementarea și dezvoltarea de metode spectroscopice pentru: (a) Studiul prin CRDS a unor hidrocarburi poliaromatice în jet supersonic, (b) Studiul prin spectroscopie de absorbție,

fluorescenta, fosforescenta, Raman, FTIR, optoacustica, a unor molecule de interes biomedical,(c)Studiul spectral privind fotostabilitatea unor medicamente nou sintetizate), spectroscopie vibrațională, spectroscopie prin rezonanță magnetică nucleară și rezonanță electronică de spin, spectrometrie de masă.

#### ❖ **AM2.1: Spectroscopia de înaltă rezoluție/înaltă sensibilitate**

Motivatie: Avantajele folosirii spectroscopiei de rezonanta paramagnetica electronica de frecventa inalta (HF-EPR ), precum si exemple selectate sunt multiple. Spectrele HF-EPR in comparatie cu cele obtinute in spectroscopia EPR conventionala prezinta efecte de camp inalt, ce pot avea importante aplicatii in studiul proceselor de relaxare, a delocalizarii spinilor in in lanturi de ioni paramagnetici slab legati – conductibilitatea magnetica etc.

Scop: Investigarea proprietăților materialelor prin folosirea defectelor punctuale paramagnetice ca sonde atomice și a modificărilor induse de defecte în solide ordonate și parțial dezordonate.

Studiul efectelor de camp inalt in spectroscopia paramagnetica de rezonanta.

#### ❖ **AM2.2: Metode spectroscopice pentru studiul structurii și proprietăților atomilor și sistemelor moleculare**

Motivatie: Determinarea structurii sistemelor complexe moleculare, caracterizarea raspunsului lor la agenti externi (camp electromagnetic), elucidarea mecanismelor care guverneaza adsorbția moleculara pe suprafete metalice si ne-metalice, au impact direct asupra cunoasterii proceselor biologice folosind metode spectroscopice.

Scop:

- Aplicarea metodelor spectroscopice ultraviolet-vizibil, infrarosu, Raman, rezonanta magnetica nucleara, rezonanta electronica paramagnetica, difracție de raze X, neutroni sau electroni, microscopie de forta atomica, spectroscopie Auger etc.
- Studii spectroscopice, fluidice si calorimetrice ale micro-nanopicaturilor; aplicatii tehnologice si biomedicale ale acestora; Studii optico-spectrale ale compusilor de interes bio-medical;
- Dezvoltarea de tehnici spectroscopice pentru detectia urmelor de poluanti ai mediului.
- Determinarea structurii moleculelor și a asistemelor moleculare complexe, caracterizarea interacțiunii moleculelor cu câmpuri electromagnetice, elucidarea mecanismelor care guvernează adsorbția pe suprafețe metalice și ne-metalice, obținerea unor informații noi asupra proceselor biologice prin folosirea metodelor spectroscopice.

### **AM3: INTERACȚIUNEA ATOMILOR ȘI MOLECULELOR CU CÂMPUL LASER**

#### **State of the art**

Imprastierea radiatiei electromagnetice pe atomi izolati, plasmе sau tinte solide reprezinta un instrument important in investigarea proprietatilor materiei. Procesele asistate sau induse de laser stau la baza celor mai noi descoperiri stiintifice: controlul starilor cuantice, transmiterea cuantica a informatiei, dezvoltarea de surse coerente in domenii X-UV, accelerarea de particule la energii de sute de ori mai mari si pe lungimi de mii de ori mai mici comparativ cu acceleratoarele existente astazi, si fuziunea inertiala.

#### **Realizări interne și expertiză**

Aceasta tema este una din cele mai studiate in tara noastra din domeniul fizicii atomice, moleculare si chimice, la care contribuie mai multe institutii: *Institutul National de C-D pentru Fizica Laserilor,*



*Plasmei si Radiatiei (INFLPR), Institutul de Stiinte Spatiale (ISS), Universitatea Babes-Bolyai Cluj, Institutul National pentru Tehnologii Izotopice si Moleculare Cluj, Universitatea Bucuresti.*

Contributia romana in modelarea fenomenului de stabilizare a atomilor in camp intens laser este deosebita si are in vedere observabilitatea dinamicii de stabilizare, spre ex., a starii fundamentale a hidrogenului in camp intens laser circular polarizat. Un numar important de procese atomice (asistate sau induse laser) si moleculare au fost studiate de echipele de cercetare din Romania. Grupul de la UBB a dezvoltat o metoda numerica bazata pe rezolvarea ecuatiei Schrodinger dependente de timp pentru ionizarea atomilor si a moleculelor prin pulsuri laser intense si ultrascurte. S-a dezvoltat si o metoda iterativa in spatiul impulsurilor, care s-a aplicat pentru ionizarea atomului de hidrogen, a disocierii pozitroniului, si a ionizarii moleculei de apa.

#### ❖ **AM3.1: Interacțiunea atomilor și moleculelor cu câmpuri intense**

Motivatie: Dezvoltarea rapida a tehnologiilor laser, a ingineriei tintelor, si a metodelor spectroscopiei cu rezolutie spatiala si temporala face posibil implementarea de noi experimente in scopul intelegerii materiei foarte dense. Sistemele laser care genereaza pulsuri mai scurte decat 10 fs la intensitati relativiste sunt deja utilizate in lume. Romania este conectata prin programe Europene: LaserLab, ELI, FAIR la aceste mari infrastructuri.

Scop: Modelarea teoretica si simularea numerica a proceselor atomice si moleculare implicate in interactia materiei cu pulsuri laser de intensitati mari si durate foarte scurte. Pe baza acestor modele se vor determina energia particulelor accelerate sau a radiatiilor obtinute in urma interactiunii laserilor foarte intensi cu tinte solide aflate in vid etc.

#### ❖ **AM3.2: Interacțiunea atomilor și moleculelor cu câmpul laser**

Motivatie: Utilizarea unor pulsuri laser cu durate mai mici decat duratele de viata ale starilor atomice si moleculare creeaza posibilitatea de a urmari dinamica sistemului in timp real. Acest nou context experimental cere dezvoltari teoretice noi pentru procesele atomice si moleculare.

Scop:

- Studiul interacțiunilor atomilor și moleculelor cu câmpuri de intensitate medie și mare, ionizarea multifotonică, ionizarea deasupra pragului, generarea de armonice înalte, studiul ciocnirilor electron-atom asistat laser
- Dezvoltarea si utilizarea de modele matematice analitice si proceduri numerice pentru descrierea comportarii materiei in conditii experimentale noi.
- Studiul interactiunii atomilor si a moleculelor cu impulsuri laser ultrascurte. Interfrente intra puls.

#### ❖ **AM3.3: Control cuantic cu pulsuri laser, dinamica undelor de materie, informație cuantică**

Motivatie: Pulsurile laser pot fi modificate (ca forma, durata, componenta spectrala) astfel incit sa permita controlul proceselor atomice si moleculare, sa influenteze generarea de armonice de ordin inalt sau reactivitatea chimica.

Scop: Dezvoltarea de cercetari asupra *gazelor atomice ultrareci, controlului cuantic* al proceselor atomice si moleculare cu pulsuri laser si a *informatiei cuantice*. Pulsuri laser subpicosecunda pot captura imagini ale miscarii vibrationale dintr-o molecula. Pulsuri femtosecunda si attosecunda pot fi generate pentru controlul cuantic al sistemelor atomice si moleculare si pentru manipularea dinamicii pachetelor de unde cuantice.

#### ❖ **AM3.4: Interacțiunile atomilor cu câmpuri electromagnetice slabe.**

Motivatie: Studiul proceselor radiative fundamentale si dezvoltarea metodelor numerice pot avea multe aplicatii practice in transmiterea informatiei, biologie etc.

Scop: Ne asteptam la dezvoltarea de noi cunostinte privind studiul interactiei radiatiei electromagnetice cu sistemele atomice, studiul radiatiei plasmei de fuziune, elaborarea de modele de ecranare pentru procese cu 2 fotoni, starile atomice modificate laser, utilizarea radiatiei X-UV in biologie, controlul cuantic si transmiterea de informatie la distanta prin utilizarea proprietatilor atomilor aflati in camp laser, transfer de populatie atomica intre stari Rydberg foarte inalte, si fuziunea confinata inertial.

### **AM4: CIOCNI RI ATOMICE ȘI MOLECULARE**

#### **State of the art**

Studiul interactiunilor intre atomi sau molecule si particule incarcate rapide reprezinta un interes deosebit atat din punct de vedere practic, aplicativ dar si din punct de vedere teoretic. Pe de o parte, tehnicile experimentale pentru studiul dinamicii electronilor in interactiuni atomice s-a dezvoltat spectaculos in ultima vreme, pe de alta parte dezvoltarea capacitatilor de calcul fac posibila abordarea teoretica prin calcul numeric *ab initio*.

Efectele de interferenta datorate caracterului ondulatoriu al electronilor in procesul de ionizare a moleculelor au fost puse in evidenta experimental in ultimii ani. Pe de alta parte, evolutia capacitatii tehnicii de calcul din ultimii ani, face posibila efectuarea unor calcule numerice dupa modele noi, mai exacte si mai performante.

#### **Realizări interne și expertiză**

*Universitatea Babes-Bolyai Cluj, Universitatea Bucuresti, Institutul National pentru Tehnologii Izotopice si Moleculare, Cluj*

- studiul proceselor multielectronice in atomi si molecule
- descrierea teoretica a interferentei in cazul ionizarii moleculelor
- studiul teoretic al ionizarii moleculelor prin impact cu electroni si pozitroni

Expertiza grupului teoretic consta in elaborarea metodelor teoretice si a programelor de calculator pentru calcularea sectiunilor eficace diferentiale si totale pentru diferite tipuri de ciocniri – metode aproximative, si metode *ab initio* prin rezolvarea numerica a Ecuației Schrodinger.

- studiul experimental al ciocnirilor atomilor si a moleculelor cu electroni – spectrometrie de masa

#### ❖ **AM4.1: Ciocniri atomice și moleculare cu particule încărcate rapide – teorie**

Motivatie: Studiul ciocnirilor atomice cu particule incarcate rapide este de importanta esentiala in modelarea plasmei termonucleare, astrofizica, radioterapie etc., dar clarifica si unele aspecte fundamentale din mecanica cuantica cum ar fi coerenta si decoerenta, fenomene de interferenta, dinamica electronica si altele.

Scop:

- studiul fenomenelor de interfrenta la ionizarea moleculelor
- descrierea *ab initio* a interaciunii antiprotonilor cu materia
- simularea experimentelor cinematic complete – studiul dinamicii electronice

#### ❖ **AM4.2: Ciocniri electron-atom si electron-molecula – experiment**

Motivatie: Realizarile ultimilor ani legate de aplicatiile spectrometriei de masa au fost axate pe studii biologice in special studii de proteine si caracterizarea de macromolecula cu structura complexa. Studiile bazate pe mobilitatea ionilor au devenit preocuparile de baza in analiza ionilor in faza gazoasa de origine biologica.

Scop:

- aplicatii ale spectrometrie de masă si cromatografiei in domeniile: mediu, medicina, siguranta alimentara, industrie, geologie;
- aplicatii ale izotopilor stabili. Cercetari pe baza de rapoarte izotopice in hidrologie, ecofiziologie si autentificari de alimente;
- aplicatii ale spectrometriei de masa cu plasma cuplata inductiv.

#### ❖ **AM4.3: Interactiunea atomilor si a moleculelor cu fascicul de electroni si pozitroni – teorie**

Motivatie: Importanta deosebita a studiului interactiunii pozitron-molecula pentru diagnosticarea medicala (PET), determinarea proprietatilor materialelor.

Scop:

- calcularea sectiunilor eficace diferentiale de ionizare a moleculelor prin impact cu pozitroni si electroni
- studiul formarii de pozitroniu, imprastierea pozitroniului
- descrierea recombinarii disociative dintre un electron de energie joasa si un ion molecular diatomic.

### **AM5: MACROMOLECULE ȘI CLUSTERI**

#### **State of the art**

Realizarea unor platforme performante de obtinere de noi materiale micro si-sau nano structurate functionale, cu aplicatii in biosenzoristica si domenii bio-medicale prezinta un nivel ridicat de interes atat pe plan national cat si international.

Domeniile vizate sunt interdisciplinare si implica sinteza si depunerea de filme subtiri organice si anorganice, obtinerea de matrici de elemente active din materiale anorganice, polimerice sau de compusi biologici pentru realizarea controlata de biointerfete , integrarea de sisteme miniaturizate de microfluidica, dar si de analiza.

#### **Realizări interne și expertiză**

*Institutul National C-D pentru Fizica Laserilor, Plasmei si Radiatiei (INFLPR), Institutul National C-D pentru Fizica si Inginerie Nucleara \_Horia Hulubei (IFIN-HH), Institutul National C-D pentru Tehnologii Izotopice si Moleculare Cluj, Universitatea Babes-Bolyai Cluj, Institutul de Chimie Fizică I.G. Murgulescu (Academia Română)*

Realizarile pe plan national includ: Obtinerea si caracterizarea morfostructurata de filme subtiri de tip metalic prin PLD sau de tip polimeric prin MAPLE cu aplicabilitate in prostetica, Verificarea formarii de biofilme pe suprafata acestora si verificarea in vitro a biocompatibilitatii utilizand linii celulare animale, Studiul eliberarii de elemente nocive (ex: Ni) in mediul de cultura pe parcursul experimenelor, Verificarea modificarii structurale si a coroziunii filmelor metalice, Obtinerea de microstructuri de tip polimeric sau biologic, Optimizarea parametrilor implicati in transferul indus cu

laserul pentru obtinerea de structuri in mod repetitiv, Cuantificarea procesului din punct de vedere al activitatii biologice in cazul transferului de biomolecule

❖ **AM5.1: Macromolecule de interes biologic, polimeri, grafenă: teorie, modelare și simulare**

Motivatie: Prin combinarea de diverse tehnici laser ( ex. PLD, MAPLE, LIFT, polimerizare multifotonica), cu proprietatile speciale ale compusilor biologici si polimerici si chimia suprafetelor se pot obtine noi structuri (2D cat si 3D) cu aplicatii atat in biosenzoristica cat si in domeniile conexe medicale.

Scop:

- Auto-asamblarea moleculară pentru crearea structurilor multifuncționale complexe; adsorbția moleculelor pe suprafețe metalice și non-metalice; proprietăți la interfața moleculă-substrat
- investigarea mecanismelor de transfer a polimerilor si compusilor biologici (de ex. proteine si lipzomi) si corelarea proprietatilor acestor materiale (functionalitate) cu conditiile experimentale;
- extinderea procedurilor de obtinere elaborate la alte materiale polimerice (pentru aplicatii in senzoristica), compusi biologici
- imbunatatirea sistemelor deja existente pentru obtinerea array-urilor, biosenzorilor, etc.
- noi tipuri de bio-structuri, inclusiv celulare, integrate platformelor senzoristice.

❖ **AM5.2: Calculul structurii, proprietăților termodinamice și spectroscopice ale clusterilor moleculari. Dinamica moleculara.**

Motivatie: Inovațiile aduse atât la nivelul tehnicilor experimentale cât și al metodelor teoretice disponibile pentru studiul proprietăților clusterilor moleculari au fost cruciale în stimularea unor activități noi emergente în acest domeniu de cercetare. O cale deosebit de promițătoare vizează proiectarea materialelor pe baza auto-asocierii/asamblării moleculelor, adesea menționată ca și „următoarea frontieră” în domeniul nanoștiinței. Sinergismul rezultat prin combinarea eforturilor experimentale și teoretice va ajuta la descoperirea unor caracteristici și trăsături noi, specifice sistemelor de dimensiuni reduse, rezultând din aceasta deschiderea de noi oportunități de dezvoltare tehnologică.

Scop:

- Înțelegerea fundamentală a clusterilor moleculari în fază gazoasă și depuși pe diferite suprafețe suport
- Obținerea și folosirea informațiilor detaliate legate de structura electronică a clusterilor moleculari pentru înțelegerea proprietăților materialelor catalitice, pentru proiectarea și dezvoltarea unor noi catalizatori, cu scopul general de eliminare a empiricismului în acest domeniu.
- Obținerea de noi informații asupra proceselor de condensare și a termodinamicii sistemelor multi-particula la nivel molecular
- Dezvoltarea de tehnici experimentale avansate pentru investigarea comportamentului fizico-chimic al sistemelor moleculare complexe în condiții extreme de presiune și temperatură.

### III.3.2 Impact

I. Activitatile de cercetare fundamentala legate de aceasta tematica sunt corelate la cele mai importante programe stiintifice ale momentului: Infrastructura de dezvoltare a laserilor intensi ELI-NP, infrastructura de dezvoltare a accelerarii de particule FAIR prin subprogramul de fizica atomica SPARC, si ITER. Pentru ELI-NP se prevede instalarea , in prima etapa, a doua sisteme laser de tip Apollon, fiecare cu o putere de 10 PW. La interactiunea radiatiei laser cu durata de puls scurta si intensitate foarte mare , de ordinul a  $10^{24}$  W/cm<sup>2</sup> sunt generate fascicule de radiatii  $\gamma$  intense via interactiune laser-fascicul de electroni. Procesul responsabil este efectul Compton invers . Plasma produsa la interactiunea radiatiei laser intensa cu tinte solide aflate in vid, actioneaza la randul ei ca sursa de pulsuri intense de durata attosecundei via generarea de armonici de ordin inalt. Fizica atomica complexa in camp intens laser, studiul proceselor atomice (generarea de armonice superioare, generarea de radiatie X-UV si  $\gamma$ , ) si moleculare (disocierea moleculara ) impune cunoasterea structurii atomice si moleculare supuse interactiunii cu campul laser. Spectroscopia atomica si moleculara isi aduce aportul la diagnostica fenomenelor fundamentale in natura.

II. Beneficiul direct al acestor activitati consta tocmai in impactul economic pe care il au: dezvoltarea si implementarea de noi componente biologice capabile sa inlocuiasca (in calitate de implant) zone afectate din corpul uman. Spectroscopia de absorbtie, optoacustica a unor molecule se foloseste de mult timp in studiul cancerului.

III. Prin cunoasterea proceselor de interactiune laser-atom, laser-plasma se pot aduce noi rezultate privind terapia cu protoni, accelerarea de particule intr-un timp mult mai scurt si la energii mult mai mari decat cele atinse de marile acceleratoare din lume. Aceste studii pot clarifica si unele aspecte fundamentale din mecanica cuantica.

IV. Studiul interactiunilor particulelor incarcate (protoni, electroni, pozitroni, antiprotoni) cu molecule este extrem de importanta din punctul de vedere al cunoasterii fundamentale de dinamica electronica si al aplicatiilor medicale (PET, radioterapie etc.).

V. Principalul beneficiu al acestor cercetari il constituie dezvoltarea de echipe mixte de cercetare capabile sa studieze proprietatile moleculelor, crearea de structuri macromoleculare si multifunctionale complexe, si a proprietatilor termodinamice si spectroscopice ale clusterilor moleculari.

### III.3.3 Analiză SWOT

#### Puncte tari:

- Existenta in Romania a unei comunitati de cercetare (seniori, posdocs, doctoranzi) capabila sa obtina rezultate de nivel international in fizica atomica si moleculara, teoretica si experimentală;
- Existenta unor colaborari internationale in cadrul programelor Europene (COST, ESF, FP7) si Internationale (IAEA, EURATOM) permite obtinerea de rezultate performante. Numarul mare de publicatii in jurnale recunoscute: Phys Rev A, J Phys B., J. Chem Phys etc. reprezinta garantia de dezvoltare a domeniului;

- Existența unor infrastructuri de calcul performante a determinat obținerea de rezultate teoretice de înalt nivel științific, acceptate și publicate în reviste de prestigiu;
- existența unei infrastructuri de cercetare de înalt nivel în domeniul spectroscopiei moleculare;
- Dezvoltarea în România a unor infrastructuri de performanță (Supercomputer, Extreme Light Infrastructure(ELI), Centrul Integral pentru Tehnologii Avansate cu Laser (CETAL)) va aduce după sine creșterea numărului de proiecte în domeniul fizicii atomice și moleculare experimentale;
- Organizarea în România a unor conferințe internaționale de prestigiu în domeniu.

**Puncte slabe:**

- Nu există o politică coerentă în programul de pregătire al studenților în domeniul fizicii atomice și moleculare;
- Nu există o infrastructură experimentală de performanță în fizica atomică fapt pentru care nu există rezultate experimentale pentru măsurători de secțiuni eficace, timpi de viață etc.
- slabă colaborare inter-grupuri din România – nu se încurajează suficient prin mijloace financiare aceste colaborări;
- infrastructură de cercetare fragmentată și insuficient exploatată;
- acces limitat la documentare (reviste științifice și baze de date).

**Oportunități:**

- participare în programe de cooperare internațională, în proiecte de infrastructuri mari (ELI, ITER, CERN etc.);
- colaborarea strânsă cu grupuri de cercetare din domenii conexe (chimie, biologie, medicina, știința materialelor).

**Amenințări:**

- izolarea grupurilor și abordarea unor subiecte de cercetare punctuale de interes limitat;
- pierderea resursei umane datorită dificultăților economice și din cauza emigrării;
- slabă finanțare a activității educaționale în domeniul fizicii atomice, moleculare și chimice va avea ca efect slabă pregătire a studenților și reducerea substanțială a capitalului performant existent în domeniu.

### III.3.4 Obiective pe termen scurt și mediu

**Pe termen scurt (2012-2014)**

- Intensificarea *colaborării naționale* prin proiecte de cercetare comune universități-institute concentrate pe identificarea câtorva direcții de dezvoltare a domeniului simultan cu creșterea performanței
- Realizarea de *infrastructură experimentală* în fizica atomică cu finanțare din proiecte naționale sau internaționale
- Intensificarea *colaborărilor internaționale*

- Creșterea vizibilității, *pe plan național*, a cercetărilor de fizică atomică, moleculară și chimică, prin organizarea de sesiuni de lucru comune, workshops
- Creșterea vizibilității *pe plan internațional* prin publicatii în reviste de prestigiu

Obiective științifice/tematice:

1. Studii de structură atomică, moleculară și chimică în sprijinul programelor europene și internaționale de astrofizică, astronomie, fizică particulelor accelerate, fizică plasmelor de fuziune cu confinare inertială sau magnetică; Programele noastre includ cercetări pentru noile facilități naționale și internaționale. Activități concrete: obținerea de date de structură pentru: a) elemente din grupa Fierului (de interes pentru astrofizică), b) carbon neutru (de interes în fuziune ICF și MCF-ITER), calcule de chimie cuantică pentru molecule complexe (de interes în bio și nanostructuri), calcule de interacțiuni intermoleculare, obținere de potențiale intermoleculare cu aplicații în fizică fundamentală a moleculelor.
2. Dezvoltarea de metode experimentale, spectroscopice, pentru studii la scară atomică a defectelor induse în materiale nano-structurate. Studiul structurii proprietăților moleculelor de interes biomedical. Determinări prin spectrometrie de masă ai compusilor de mediu.
3. Dezvoltarea de modele teoretice și metode numerice dedicate interacțiunii laserilor intensi și de durată de puls foarte scurtă cu atomi, molecule și clusteri. Activități concrete: a) generarea de armonici de ordin superior, b) generare de radiații X-UV, c) generare de radiații gamma via efect Compton invers, d) dinamică moleculară, e) gaze atomice ultra reci, f) controlul cuantic al proceselor atomice și moleculare cu pulsuri laser, și g) procesarea informației cuantice. Avem în vedere: studiul interacției radiației laser intensă cu atomi cu 2 electroni în afara unei pături complete, studiul asocierii a doi atomi reci în câmp intens laser, studiul efectului Compton direct și invers, studiul generării de armonice superioare la interacțiunea radiației laser intensă cu atomi de hidrogen, modificarea stărilor cuantice în prezența radiației laser intensă, generarea de electroni și accelerarea în câmp intens de radiație, interacțiuni electromagnetice între memorii atomice și moleculare.
4. Studiul ciocnirilor atomilor și moleculelor cu particule încărcate rapide în sprijinul programelor de astrofizică, fuziune termionară, și de cercetare fundamentală. Avem în vedere următoarele activități: a) descrierea fenomenelor de coerență și decoerență care apar în spectrele energetice ale electronilor ejectați în urma ionizării moleculelor de hidrogen; b) simularea experimentelor cinematic complete-dinamică electroni; c) studiul interacțiunii pozitronului cu molecule de interes medical; d) aplicarea ciocnirilor electron-atom în spectrometria de masă.
5. Investigarea mecanismelor de transfer a polimerilor și compusilor biologici (de ex. proteine și lipzomi) și corelarea proprietăților acestor materiale (funcționalitate) cu condițiile experimentale; extinderea procedurilor de obținere elaborate la alte materiale polimerice (pentru aplicații în senzorială), compusi biologici; Obținerea și folosirea informațiilor detaliate legate de structura electronică a clusterilor moleculari pentru înțelegerea proprietăților materialelor catalitice, Dezvoltarea de tehnici experimentale avansate pentru

investigarea comportamentului fizico-chimic al sistemelor moleculare complexe în condiții extreme

#### **Pe termen mediu (2015-2020)**

- Consolidarea grupurilor de cercetare existente în institute și universități prin finanțarea de centre de cercetare în domeniul fizicii atomice, moleculare și chimice; aceste centre vor facilita studenților doctoranzi participarea la cercetări instituționale, apropiate de infrastructurile găzduite de aceste institute.
- Finanțarea cercetării românești și sprijinirea dezvoltării de facilități (de calcul-supercomputere, grid; experimentale) pentru a face posibilă îmbunătățirea cantitativă și calitativă a resursei umane

#### **Obiective științifice/tematice**

1. Utilizarea infrastructurii de calcul existentă la nivel național (HPSC) pentru a permite simularea proceselor fundamentale atomice, moleculare și chimice care se produc în afara, și în prezența câmpului laser intens. Ne propunem în prima etapă dezvoltarea unei „virtual research communities support” care să faciliteze calcule științifice de înaltă performanță
2. Obținerea de date de structură atomică, moleculară și chimică pentru atomi, molecule, ioni atomici și moleculari. Avem în vedere dezvoltarea de modele teoretice și simulări numerice pentru: descrierea distribuției energetice a electronilor rapizi obținuți în urma interacțiunii laser-plasmă, obținerea de secțiuni eficiente de ciocnire electron-atom, ion-atomic și molecular, obținerea de secțiuni eficiente de fotoionizare, și de ionizare peste prag, efect Compton, bremsstrahlung invers. Un interes deosebit îl reprezintă studiul interacțiunilor intermoleculare, asocierea de atomi reci și controlul cuantic al strarilor înalte.
3. Dezvoltarea cercetării în domeniul interacțiunii atomilor și moleculelor cu particule încărcate rapide și din punct de vedere experimental.

### **III.3.5 Recomandări**

- Îmbunătățirea sistemului de acces la informație (jurnale, baze de date, etc).
- Creșterea rolului Societății Române de Fizică/ Secțiunea de Fizică Atomică și Moleculară în intensificarea colaborării naționale și a vizibilității comunității științifice naționale. Societatea Română de Fizică prin Secțiunea de Fizică Atomică are rolul de a aduce împreună grupurile de cercetare din țară, în sesiuni de comunicări științifice sau prin implicarea directă, nemijlocită în găzduirea conferințelor internaționale, a workshopurilor, pe domeniul fizicii atomice, moleculare și chimice. În acest moment aceste activități sunt sprijinite de instituții, separat, în funcție de domeniul de activitate. Tematica de fizică atomică și moleculară dezvoltată cu succes în țară se regăsește dispersată pe mai multe site-uri web, a diferitelor congrese sau conferințe. SRF /Secțiunea de fizică atomică trebuie să aibă un site actualizat care să cuprindă grupuri, tematica, proiecte, și evident să ofere granturi studenților care sunt interesați în acest domeniu. Vedem de asemenea necesar implicarea



Sectiunii de Fizica Atomica, prin Societatea Romana de Fizica in finantarea unor programe de fizica, la inceput de mai mica dimensiune bugetara, dar dedicate cercetarii in fizica atomica (ceea ce face la nivel European, ESF).

- Avem in vedere sustinerea unei noi scheme de finantare a granturilor studentesti, atat pe perioada studiilor universitare, cat si pe perioada de doctorat. Aceasta schema trebuie permita studentilor accesul la facilitatile de calcul ale institutiilor, accesul la codurile performante si la cercetarea reala in domeniul fizicii atomice.
- Dezvoltarea sistemului educational in fizica atomica, moleculara, chimica.

## III.4 FIZICA MATERIEI CONDENSATE ȘI ȘTIINȚA MATERIALELOR

Fizica materiei condensate este cel mai larg domeniu al fizicii contemporane. Se estimează că cca o treime dintre fizicienii americani se identifică ca aparținând acestui domeniu. Domeniul materiei condensate se ocupă cu sinteza și caracterizarea oricărui sistem atomic sau de clusterizare moleculară. Aceste sisteme pot varia în dimensiune de la nano sau chiar sub-nano-structuri la nivelul materialelor masive cu variația ordonării de la complet dezordonată (amorf) la stări foarte ordonate (monocristale). Caracterizarea fizică a materiei condensate implică determinarea proprietăților sale structurale, electronice și electrice, magnetice, termice și optice. Domeniul se extinde de la cercetarea fundamentală până la aplicații, furnizând o mai bună cunoaștere a mecanismelor legate de proprietăți și explorează utilizarea de noi fenomene în diferite aplicații.

### III.4.1 Teme și subiecte

#### CM1: STRUCTURA SOLIDELOR, TRANZITII DE FAZA STRUCTURALE, DEFECTE

Această temă se referă la cercetări la scară atomică privind structura solidelor, transformările de fază structurale, precum și prezenta și influența defectelor de rețea și impurităților asupra proprietăților de material.

Numărul total al articolelor publicate în acest domeniu, cu autori români, în reviste cotate ISI în intervalul 2000-2011 este 2114; aceste articole adună în total un număr de 6959 citări în același interval de timp, cu un număr mediu de 3.29 citări/articol. Indicele Hirsch corespunzător este 25.

Sunt propuse patru subiecte enunțate mai jos a căror abordare va permite obținerea de noi informații privind procesele la scară atomică care au loc în nanostructuri cu proprietăți semiconductoare sau izolatoare, inclusiv în cazul interfetelor în straturi subțiri. Informațiile obținute experimental vor servi inclusiv la modelarea proprietăților fizice ale materialelor semiconductoare și izolatoare prin inginerie de defecte.

- ❖ **CM1.1: Fenomene și procese la scară atomică în sinteza și proprietățile structurilor și nanostructurilor izolatoare și semiconductoare.**
- ❖ **CM1.2: Modelarea proprietăților fizice ale materialelor semiconductoare și izolatoare prin inginerie de defecte. Crearea unui mediu virtual pentru investigarea, proiectarea și testarea materialelor.**
- ❖ **CM1.3: Structura și dinamica interfetelor în solide (filme subțiri, ceramici și materiale compozite).**
- ❖ **CM1.4: Tranzitii de fază structurale.**

INSTITUTII: INCDFM; Institutul de Chimie Fizică al Academiei Române "Ilie Murgulescu", București; Universitatea din București, Facultatea de Fizică; Universitatea de Vest Timișoara, Facultatea de Fizică.

## CM2: STRUCTURA ELECTRONICA, TRANSPORT ELECTRONIC, SUPRACONDUCTIVITATE

Tema se refera la investigarea la nivel cuantic a structurii electronice si transportului de sarcina in solide, inclusiv analiza cazului limita al supraconductibilitatii. Printre rezultatele de exceptie, obtinute in cadrul acestei teme cu caracter teoretic de grupuri performante din Romania, mentionam:

- studiul structurii electronice (in prezenta interactiei electron-electron si spin-orbita in legatura cu proprietatile de transport de sarcina si spin) a sistemelor mezoscopice bidimensionale de tipul dot-urilor si firelor cuantice, nanotuburi de carbon si grafene (graphene);
- studiul structurii electronice si a transportului de sarcina in semiconductori diluati magnetic;
- analiza efectelor de confinare cuantica in sistemele auto-organizate de doturi cuantice 3D sau nanostructurile poroase;
- efecte observate (Kondo, blocada Coulombiana, Fano) in transportul cuantic (proces de corelatie, interferenta cuantica si spectrul energetic discret).

In cadrul acestei teme au fost propuse urmatoarele cinci subiecte considerate de viitor, unele din ele deja abordate de o parte dintre grupuri. Interesul aplicativ al izolatorilor Mott, al grafenelor, al spintronicii si al supraconductorilor exotici motiveaza analiza teoretica a sistemelor electronice interactive si a fenomenelor de transport in limita cuantica.

- ❖ **CM2.1: Spectre de excitatie ale sistemelor electronice in interactie: efecte de schimb si corelatie; sisteme electronice puternic corelate (izolatori Mott), stari multi-particula in graphene, nanotuburi de carbon, oxizi.**
- ❖ **CM2.2: Fenomene de transport in limita cuantica: procese de transport specifice sistemelor de dimensionalitate si dimensiune redusa, efecte de coerenta si interferenta cuantica, efecte de interactie si dezordine, izolatori topologici.**
- ❖ **CM2.3: Transport de spin (spintronica): controlul, prelucrarea si detectia spinului electronic; magnetorezistenta colosala si gigant, 'entanglement' si coerenta spinului electronic, interactie spin-orbita, efect Hall de spin.**
- ❖ **CM2.4: Ruperea de simetrie in sisteme electronice: tranzitii de faza (mai ales tranzitii de faza cuantice), competitia efectelor de dezordine si interactie, coexistenta fazelor cu ordine diferita.**
- ❖ **CM2.5: Supraconductori exotici (pnictide, compusi cu fermioni grei, efecte mezoscopice).**

INSTITUTII: INCDFM-Bucuresti; Univ. Babes-Bolyai Cluj; Univ. Bucuresti; Univ. Oradea ; .IFIN-HH; Univ. Politehnica Buc (Dept Fizica); Centrul International de Biodinamica.

## CM3: MAGNETISM SI REZONANTA MAGNETICA

În domeniul magnetismului, cercetătorii români au o reputatie consolidată de multi ani. Baza de date ISI indică publicarea doar în ultimii zece ani a aproximativ 3500 de articole cotate international având coautori din România în teme de magnetism sau conexe acestui domeniu. Cu un număr de aproximativ 15000 de citări si un indice Hirsch = 40 , domeniul magnetismului este printre cele mai

dezvoltate din România. Un număr de peste 300 de articole ISI anual și 3000 de citări anual indică un domeniu viu și de perspectivă pentru cercetarea științifică din țara noastră .

Această temă a fost ilustrată de cercetătorii români în domeniu prin descoperiri în arii teoretice și experimentale printre care menționăm: *teoria magnetismului; modelare micro magnetică; magnetorezistență; electronica de spin (spintronica); obținerea de materiale magnetice cu diverse proprietăți utile tehnologiilor din electrotehnică sau în aplicații biomedicale ; nanomagnetism; magnetism molecular; fluide magnetice.*

În cadrul acestei teme au fost propuse cinci subiecte care sunt considerate de mare actualitate, multe dintre ele având impact aplicativ (magneți permanenți, materiale moi magnetice, materiale pentru aplicații în dispozitive utilizate la înaltă frecvență, senzori) .

- ❖ **CM3.1: Proprietăți magnetice ale nanostructurilor**
- ❖ **CM3.2: Magneți moleculari; Spin Crossover**
- ❖ **CM3.3: Proprietăți magnetice ale interfetelor (multistraturi, superrețele, heterostructuri)**
- ❖ **CM3.4: Efecte magnetomecanice, magnetostricțiune**
- ❖ **CM3.5: Curbe de magnetizare, hysteresis, efect Barkhausen, etc.**

INSTITUTII: Universitatea Babeș-Bolyai Cluj-Napoca; Universitatea Alexandru Ioan Cuza Iași; Institutul National de Cercetare Dezvoltare pentru Fizica Tehnică din Iași; INCDFM; UPB; UT Cluj-Napoca; Centrul de Cercetări Tehnice Fundamentale și Avansate, Academia Română - Filiala Timișoara; ICPE CA București.

#### **CM4: PROPRIETĂȚI OPTICE ȘI SPECTROSCOPIA STĂRII CONDENSATE**

Tema sus-menționată este, în mod special, una interdisciplinară, implicând cunoștințe/tehnică/tehnologii de fizică, chimie și matematică. Pe baza rezultatelor înregistrate în ultimul deceniu se poate afirma că în România există în acest moment un potențial uman și infrastructură necesară dezvoltării cercetării științifice în acest domeniu, fapt reflectat în participarea la proiecte naționale și internaționale și elaborarea de publicații științifice.

Numărul total al articolelor publicate în acest domeniu, cu autori români, în reviste cotate ISI în intervalul 2000-2011 este 1154; aceste articole adună în total un număr de 6208 citări în același interval de timp, cu un număr mediu de 5.38 citări/articol. Indicele Hirsch corespunzător este 31. De remarcat tendința pronunțată ascendentă pe întreaga perioadă analizată. Utilizând în calitate de criteriu de căutare spectroscopia/tehnică spectroscopice ca subiect al publicațiilor ISI cu autori români se obține un număr de 4304 articole, cu 18637 citări și un indice Hirsch de 40.

- ❖ **CM4.1: Tehnici spectroscopice de investigare a materiei condensate**  
- *spectroscopie IR, FTIR, Raman*: studiul fononilor în nanostructuri (nanotuburi, fire și doturi cuantice), interacția fononilor cu alte quasiparticule, fononi în structuri hibride, ingineria modurilor fononice pentru aplicații termoelectrice

- *spectroscopie de absorbtie si reflexie UV-VIS*: semiconductori de banda larga, semiconductori organici monomerici sau polimerici
- *fotoluminescenta, catodoluminescenta*: studiul defectelor si distributiei lor spatiale in nanostructuri, excitoni in cristale si nanostructuri, studiul cuplajului exciton-fonon
- *elipsometrie*: studiul filmelor subtiri din semiconductori organici si anorganici, si al filmelor polimerice pentru o clasa larga de aplicatii.

#### ❖ **CM4.2: Fotoconductie si efect fotovoltaic**

Este un subiect de cercetare cu evolutie spectaculoasa in ultima decada, data fiind importanta lui pentru industria energetica. Ca principale realizari si, totodata, perspective de dezvoltare, pot fi enumerate:

- *filme subtiri optimizate pentru aplicatii in optoelectronica si conversia fotovoltaica a energiei solare*: conductori transparenti optic, structuri fotovoltaice multistrat cu raspuns spectral larg si eficienta mare de conversie, filme nanostructurate utilizate ca electrozi in structuri fotovoltaice
- materiale polimerice/materiale soft functionalizate cu aplicatii in conversia fotovoltaica
- materiale cu raspuns optoelectronic rapid; sisteme fotonice reconfigurabile

In cadrul acestui subiect *au fost obtinute cu succes filme conductoare optic transparente de tip ZnO:Al si ZnO:In cu stabilitate chimica superioara celei a ITO.*

#### ❖ **CM4.3: Proprietati optice ale nanostructurilor**

- *metode optice de investigare a nanostructurilor*
- *metode ab initio de investigare/modelare a proprietatilor optice ale nanostructurilor*
- *cristale fotonice, nanofotonica*
- *excitoni si polaritoni in nanostructuri 2D, 1D, 0D*: investigatii teoretice si experimentale, efecte ale interactiei Coulomb si ale interactiei electron-fonon, etc.

INSTITUTII: INCDFLPR Bucuresti; Universitatea din Bucuresti; INCDFM Bucuresti; Universitatea Alexandru Ioan Cuza Iasi ; UBB Cluj-Napoca; Universitatea Politehnica Bucuresti.

#### **CM5: DIELECTRICI, PIEZOELECTRICI SI FERROELECTRICI; PROPRIETATI**

Tema de mai sus are un numar de 894 publicatii cu autori din Romania ("ferroelectric" OR "multiferroic" OR "dielectric") in Web of Science. Ansamblul acestor lucrari are un indice Hirsch  $H = 26$  si a primit 4108 de citari. Domeniul publica in medie anual peste 100 de lucrari in reviste ISI.

Exista contributie romaneasca recenta in urmatoarele tematici legate de domeniul „Dielectrics, piezoelectrics, and ferroelectrics and their properties”:

- Efecte de dimensiune in ceramici, straturi subtiri si nano-obiecte din materiale cu proprietati dielectrice, feroelectrice si piezoelectrice. Exista un interes din ce in ce mai mare in directia straturilor subtiri feroelectrice si multiferroice, cu contributii semnificative in lamurirea efectelor de dimensiune asupra constantei dielectrice si asupra pierderilor prin conductie.
- Rolul interfetelor in materiale dielectrice, feroelectrice si multiferroice. Recent s-a demonstrat fezabilitatea diodelor Schottky feroelectrice.

- Fenomene de transport in materiale dielectrice, feroelectrice si multiferoice. Contributii deosebite in elucidarea mecanismelor de transport in strat-uri epitaxiale din materiale de tip titanat.
- Efect fotovoltaic in materiale feroelectrice si multiferoice. Aceste materiale pot constitui o alternativa pentru detectori solizi de UV, dar pot fi cu potential de utilizare in conversia energiei luminoase in energie electrica.

Principalele subiecte propuse in cadrul acestei teme sunt urmatoarele:

- ❖ **CM5.1: Dielectrics**
- ❖ **CM5.2: Feroelectrics**
- ❖ **CM5.3: Multiferoics**

Abordarea acestor subiecte se leaga de urmatoarele prioritati ale domeniului:

- Dezvoltarea de noi materiale dielectrice cu constanta dielectrica ridicata pentru aplicatii in domeniul microundelor si al undelor milimetrice.
- Dezvoltarea de materiale feroelectrice de tip relaxor pentru aplicatii care necesita valori mari ale constantei dielectrice si ale electrostrictiunii. Dezvoltarea de multistraturi dielectric-feroelectric, feroelectric-semiconductor, feroelectric-multiferoic, feroelectric-feromagnetic pentru a combina proprietati diferite in scopul obtinerii de noi functionalitati.
- Dezvoltarea de modele teoretice care sa simuleze diferitele proprietati ale feroelectricilor sau multiferoicilor, cum ar fi comutarea polarizarii, formarea si evolutia domeniilor feroelectrice sau feromagnetice, etc.

INSTITUTII: INCDFM Bucuresti; Universitatea Alexandru Ioan Cuza Iasi; Universitatea Bucuresti; Institutul de Chimie Macromoleculara Petru Poni Iasi; Universitatea "Politehnica" Bucuresti; INFLPR Bucuresti.

## **CM6: FIZICA SUPRAFETEI, FIZICA LA SCALA NANO, SISTEME CU DIMENSIONALITATE REDUSA**

Stiinta suprafetei reprezinta studiul fenomenelor fizice si chimice care se produc la interfata a doua faze, incluzand interfetele solid-lichid, solid-gaz, solid-vacuum si lichid-gaz. Domeniul este legat puternic de sistemele cu dimensionalitate redusa si de fizica la scala nano. Stiinta suprafetei este direct implicata intr-o serie de aplicatii: cataliza heterogena, dispozitive semiconductoare, celule de combustie, monostraturi auto-asamblate si adezivi.

- ❖ **CM6.1: Strat-uri subtiri semiconductoare si izolatoare crescute prin depunere pulsata laser, magnetron sputtering, thermal vacuum arc deposition, spray pyrolysis; heterostructuri asociate: MIS, MIM, etc.**

Subiect deosebit de important avand in vedere gama foarte mare de aplicatii a straturilor de acoperire.

INSTITUTII: INCDFM; INCDFLPR; UAIC Iasi; ICPE CA; Univ. Ovidius Constanta.

- ❖ **CM6.2: Epitaxia cu fascicole moleculare (MBE), caracterizarea *in situ* a suprafetelor, spectroscopia de fotoelectroni si absorbtia de raze X**

Subiectul include o serie de tematici dintre care mentionam: a. suprafete semiconductoare: Si(001), GaAs(001), GaAs(011), etc.; b. interfete metal-semiconductor: Fe/Si(001), Sm/Si(001), Au-Ge/GaAs, Au-Ti/GaAs; c. suprafete feroelectrice, heterostructuri metal-feroelectric: PZT, BFO, Au/PZT; d. semiconductori magnetici diluati : Mn:Ge(111), Co:TiO<sub>2</sub>(011), etc.; e. aliaje Heusler: Co<sub>2</sub>MnSb, NiMnSb, etc.; f. suprafete de oxizi: TiO<sub>2</sub>, MgO, VO<sub>2</sub>, WO<sub>3</sub>, etc.; g. sinteza unor structuri artificiale cu proprietati magnetice prestabilite (de ex. V, Cr, Mn feromagnetic).

INSTITUTII: INCDFM; INCDTIM; UAIC Iasi; INOE.

❖ **CM6.3: Proprietati de transport la scala nano, efect cuantic Hall effect, dinamica de spin, magnetism de suprafata, multistraturi magnetice (GMR, CMR)**

Mentionam cateva aspecte care vor fi abordate in cadrul acestui subiect:

- a) doturi cuantice, inele cuantice: evolutie temporala, functii Green si formalism Keldysh;
- b) transport de spini, interactie spin-orbita, efecte Rashba si Dresselhaus;
- c) structuri de benzi rezolvate in spin;
- d) multistraturi magnetice, spintronica, GMR, CMR;
- e. magnetism de suprafata;
- f) proprietati de transport, blocada Coulomb, percolare.

INSTITUTII: UAIC; UBB; INCDFM; INCDTIM; INCDFT; Univ. Bucuresti; Univ. Ovidiu

❖ **CM6.4: Nanoparticule metalice, de oxizi metalici, de aliaje, semiconductori, compozite si hibride: proprietati magnetice si optice, modificari si functionalizarea suprafatei , tehnici asociate si aplicatii**

Subiectul acesta se refera la urmatoarele tematici: a. superparamagnetism si nanoparticule superparamagnetice ; b. nanoparticule magnetice functionalizate / microgeluri magnetice

pentru separare magnetica, hipertermie, " magnetic imaging " sau livrare tintita a medicamentelor (targeted drug delivery); c. imprastiere Raman amplificata de suprafata; d. confinare cuantica si blocada Coulombiana; e. interactia nanoparticula –suprafata; auto-organizare; lab-on-chip ; f. interactia nanoparticulelor cu biomolecule (enzime, proteine); g. Coloizi: proprietati optice, plasmoni, materiale fotonice; stabilitatea coloizilor magnetici (nanofluide) in campuri magnetice intense si neuniforme (acoperire cu surfactant al nanoparticulelor magnetice ) .

INSTITUTII: UBB; INCDTIM; INCDFM; INCDLPR; Univ. Oradea.

❖ **CM6. 5: Detectia de gaze, fotocataliza, (super)hidrofilicitate si (super) hidrofobicitate, lab-on-chip.**

In cadrul subiectului vor fi abordate urmatoarele aspecte: a) detectie de gaze: masuratori de transport; b) detectie de gaze: vibratii mecanice; c) detectie de gaze: masuratori optice; d) degradarea fotocatalitica a contaminantilor din apa si aer; e) proprietati de udare, superhidrofilicitate si superhidrofobicitate controlata; f) studii legate de stiinta suprafetei: XPS, difractie de fotoelectroni, tehnici de difractie electronica, LEEM, PEEM; g) fabricare Lab-on-chip utilizand anodizarea AFM sau nanolitografia;

INSTITUTII: INCDFM; UAIC Iasi; UT Asachi Iasi; UBB Cluj Napoca; INCDFT Iasi

## CM7: METODE DE SINTEZA SI PROCESARE A MATERIALELOR (CRESTERE CRISTALINA, CRESTERE SI EPITAXIE DE STRATURI SUBTIRI, MICRO- SI NANOFABRICARE, ETC)

Aceasta tema este legata de domeniul vast al fizicii materialelor care este un domeniu interdisciplinar incorporand elemente de fizica aplicata si chimie . Domeniul investigheaza relatia dintre structura materialelor la scala atomica sau moleculara si proprietatile lor macroscopice si se ocupa cu sinteza, caracterizarea fizica si aplicatiile materialelor avansate.

### ❖ CM7.1: Crestere cristalina si solidificare directionala

Desi la nivel international preocuparile in domeniu sunt inca extrem de extinse, in special in ceea ce priveste dezvoltarea de noi tipuri de semiconductori, in Romania subiectul este abordat de un numar limitat de cercetatori.

INSTITUTII: Universitatea de Vest Timisoara; Univ. Bucuresti.

### ❖ CM7.2: Cresterea de particule si straturi subtiri prin metode fizice si chimice bazate pe procese de plasma (Plasma Enhanced CVD, arc evaporation, magnetron sputtering)

Depunerea de filme subtiri si cresterea de particule prin procese fizico-chimice bazate pe plasma (PECVD, evaporare in arc, pulverizare magnetron, altele) sunt tematici extreme de bine dezvoltate la nivel national. Mentionam gama larga de materiale abordate: *carbon nanostructurat* - carbon nanowalls ; modificarea suprafetei, particule, nanostructurare, *nanomembrane*; compusi de W, Ni , acoperiri dure , niturare; W, Be, carbon, straturi antifriciune; piezoelectrics, feroelectrics; *materiale nanostructurate semiconductoare si nanostructuri (inclusiv hibride) pentru optoelectronica, conversia energiei solare, senzori si spintronica*; supraconductori; nitruiri, carburi, multistraturi; *materiale magnetice amorfe si nanostructurate dure si moi; plasma polymers*; straturi organice; straturi subtiri feromagnetice).

INSTITUTII: INFLPR ; INCDFM ; INOE; INCDFM-IFT Iasi UAIC Universitatea Bucuresti ; Universitatea Babes-Bolyai Cluj-Napoca.

### ❖ CM7.3: Metode laser pentru depunere de straturi subtiri, cresteri de particule si nanofabricare (Pulsed Laser Deposition, Matrix Assisted Pulsed Laser Evaporation, Laser Induced Forward Transfer)

Depunerea de filme subtiri si cresterea de particule prin procese fizico-chimice care utilizeaza radiatia laser (PLD, MAPLE, LIFT, etc.) este o tematica abordata intens la nivel national. Grupurile cu contributii semnificative, recunoscute la nivel international, in acest domeniu provin de la INFLPR (PLD, MAPLE, LIFT – feroelectrics, oxizi, polimeri, **senzori, patterning; bio-aplicatii**, sticle, nanostructurare; fotochimie laser - nanoparticule, carbon; nanoparticule, **quantum dots**, senzori; laseri de femtosecunde, nanostructurare, patterning), INCDFM (PLD, **compusi feroelectrics, piezoelectrics**); INOE 2000 (PLD), UAIC (PLD - metale, oxizi, straturi subtiri amorfe si nanocristaline thin films).



#### ❖ CM7.4: Metode inovative de crestere a straturilor subtiri prin tehnici combinate

Depunerea de filme subtiri si cresterea de particule prin procese fizico-chimice care utilizeaza metode combinate sunt tematici destul de bine dezvoltate la nivel national. Grupurile cu contributii semnificative, recunoscute la nivel international, in acest

domeniu provin in principal de la INFLPR (Radiofrequency Plasma Beam Assisted Pulsed Laser Deposition - oxizi, crestere directionala ; Combined PECVD with Magnetron Sputtering – carbon nanowalls, composite W/C; Combined Magnetron Sputtering with Plasma Ion Implantation – straturi dure si aderente de W; mixed codeposition with thermionic vacuum arcs – oxizi, metale refractare, carbon) si INCDFM (PLD with sol-gel method – straturi subtiri fotoconductive thin films, feroelectrici, multiferoici, detector UV, VIS si IR).

In ultimii ani, preocuparile la nivel national au condus la cateva realizari de exceptie:

- *cresterea de nitruri (InN, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) in atmosfera de azot;*
- *depunerea de filme subtiri feroelectrice si piezoelectrice texturate, epitaxiale;*
- *depunerea de straturi de W de 10-25 μm pe materiale carbonice (grafit ramforsat cu fibra de carbon si grafit cu graunti fini) pentru tokamak-ul JET (Joint European Torus), Culham, UK;*
- *nanocompozite pe baza nanotuburilor de carbon decorate cu particule metalice (Ni, Fe), care pot fi utilizate in cataliza sau celule de combustie;*
- *materiale compozite de tip metal-carbon pe baza de W sau Al.*

#### ❖ CM7.5: Micro si nanofabricare

Micro/nanostructurarea si micro/nanofabricatia sunt tematici extreme de bine dezvoltate la nivel international, insa la inceput la nivel national. Intarzierea la nivel national a fost in principal cauzata de lipsa infrastructurii adecvate (extrem de costisitoare) si a resursei umane specializate. In ultimii ani, aceste decalaje au inceput sa se estompeze si rezultatele incep sa apara: un numar mult mai mare de lucrari publicate in reviste stiintifice prestigioase, brevete, tehnologii, produse. Grupurile cu contributii mai importante in acest domeniu, si recunoscute la nivel international, provin de la IMT Bucuresti (*nanofabricatie – siliciu nanostructurat , materiale compozite, nanobiosisteme, MEMS si BioMEMS, biosenzori optici , nanoparticule metalice pe substrat de siliciu ; replicare – structuri micro and nanofotonice , sisteme micro/nano opto-electromecanice; micro si nanofabricatie – semiconductori, nanotuburi de C, metamateriale, MEMS si NEMS; electron beam lithography/nanolithography*), INCDFM Bucuresti (*nanoparticule metalice nanomateriale si nanostructuri pe baza de Si si Ge;*), INCDFM Iasi (*electron beam lithography/nanolithography, ion beam nanolithography – structuri metalice, materiale magnetice si nemagnetice, biosenzori, micro si nanosenzori magnetici , dispozitive MEMS si NEMS; arc discharge, high-energy ball milling - micro si nanoparticule metalice; electrodepunere – straturi subtiri metalice, aranjamente de nanofire*), Facultatea de Fizica de la UBB Cluj-Napoca (*nanosphere lithography – nanoparticule si nanoagregate; high-energy ball-milling –micro and nanoparticule metalice*), UT Cluj (*high-energy ball-milling – micro si nanoparticule metalice*), INFLPR Bucuresti (*laser nanopatterning*).

### III.4.2 Impact

Vom mentiona principalele subiecte cu potential aplicativ si impact economic: *Straturi subtiri semiconductoare si izolatoare crescute prin depunere pulsata laser, magnetron sputtering, thermal vacuum arc deposition, spray pyrolysis.*

Se pot identifica cinci arii principale de aplicatii:

- a) *Detectia de gaze*
- b) *Proprietati fotocatalitice*
- c) *Aplicatii ale materialelor oxidice feroelectrice*: dispozitive MOS ultraminiaturizate; rezonatori piezoceramici, traductori, senzori
- d) *Biomateriale si materiale biocompatibile*
- e) *Semiconductorii diluati feromagnetici (DMS)* Aplicatii: senzori, actuatori, relee magnetice ultrarapide, elemente de memorie.

*Epitaxia in fascicul molecularare (MBE), caracterizarea in situ a suprafetelor, spectroscopia de fotoelectroni si absorbtia de raze X:*

- realizarea in serie a anumitor structuri (de exemplu *diode laser, microretele de dot-uri cuantice*) sau structuri de tipul *lab-on-chip*;
- aplicatii ale tehnicilor asociate de determinare precisa a reactivitatii, compozitiei chimice, starilor de suprafata si interfata in heterostructuri sintetizate prin alte metode.

*Proprietati de transport la scala nano, effect cuantic Hall effect, dinamica de spin, magnetism de suprafata, multistraturi magnetice (GMR, CMR)*

Acest subiect este esentialmente de natura teoretica si/sau fundamentala, insa investitia in acest domeniu este capitala pentru *sinteza ulterioara de dispozitive bazate pe dot-uri cuantice*, care utilizeaza raspunsul in frecventa, sau pentru multistraturi cu magnetorezistenta gigant sau colosala.

*Nanoparticule metalice, de oxizi metalici, de aliaje, semiconductori, composite si hibride: proprietati magnetice si optice, modificari si functionalizarea suprafatei, tehnici asociate si aplicatii*

Aplicatiile nanoparticulelor sunt din ce in ce mai diverse in ultimii ani: (i) *markeri magnetici*; (ii) *hipertermie magnetica*; (iii) *detectia moleculara*; (iv) *fluide magnetice*; (v) *celule solare si dispozitive fotoluminescente*.

*Cresterea de particule si straturi subtiri prin metode fizice si chimice bazate pe procese de plasma. Metode laser pentru depunere de straturi subtiri, cresteri de particule si nanofabricare. Utilizare de tehnici combinate.*

Obtinerea de materiale nanostructurate si de nanostructuri pentru: *nanoelectronica, spintronica, fotonica, senzori* (de gaze, de camp magnetic, etc.), industria materialelor plastice, chimie, industria dispozitivelor medicale, medii de inregistrare magnetica.

### III.4.3 Analiză SWOT

<p><i>Puncte tari</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- infrastructura de cercetare de ultima generatie.</li> <li>- resursa umana cu competente dovedite in domeniu, recunoscute la nivel international.</li> <li>- productie stiintifica buna in conditiile unei finantarii relativ nesatisfacatoare, in special in anumite perioade</li> <li>- parteneriate nationale si parteneriate internationale bilaterale numeroase.</li> <li>- gama larga de aplicatii a domeniului.</li> <li>- impact important in dezvoltarea tehnologica viitoare.</li> </ul>	<p><i>Puncte slabe</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- numar redus de participari la mari retele de cercetare internationala</li> <li>- numar redus de proiecte Europene</li> <li>- numar redus de brevete internatioanale aplicate</li> <li>- numar redus de tehnologii</li> <li>- numar redus de parteneriate cu industria romaneasca (transfer tehnologic).</li> <li>- prezenta scazuta in publicatii stiintifice de top (<math>f_{ISI} &gt; 5</math>: Science, Nature, Phys. Rev. Lett., Nano Lett., etc.).</li> <li>-lipsa de coordonare a eforturilor la nivel national pe teme semnificative de mai mare amploare</li> <li>- finantarea greoaie si inconstanta in sistemul de finantare al cercetarii din Romania.</li> </ul>
<p><i>Oportunitati</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- existenta unui grup de cercetare consolidat si cu competente stiintifice probate in domeniu.</li> <li>- dotare de varf existenta in institutii sau accesibila prin colaborare</li> <li>- acces la programe de finantare externe FP7, FP8, NATO, etc.</li> <li>- parteneriate internationale bilaterale – exemplu IFA-CEA, SCOPES, etc.</li> <li>- ancorarea cercetarilor in cadrul colaborarilor nationale si europene ale colectivului de cercetare</li> </ul>	<p><i>Riscuri</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- nivelul de pregatire al tinerilor absolventi de facultate sub necesitatile domeniului.</li> <li>- ritm imprezibil al finantarii.</li> <li>- bariere birocratice.</li> <li>- risc de accelerare a uzurii fizice si morale prin utilizare necorespunzatoare a dotarilor in lipsa finantarii ritmice.</li> </ul>

### III.4.4 Obiective pe termen scurt și mediu

#### CM1: STRUCTURA SOLIDELOR, TRANZITII DE FAZA STRUCTURALE, DEFECTE

##### *Obiective termen scurt (2012-2014)*

- Influenta compozitiei chimice si a campului de tensiuni elastice in jurul interfetelor si a defectelor asupra proprietatilor fizice (mecanice, electrice, optice, magnetice) ale materialelor compozite si ale structurilor multistrat; determinari cu rezolutie spatiala atomica prin tehnici de procesare cantitativa a imaginilor HRTEM, difractie de electroni in fascicul convergent (CBED),

microanaliza X (EDS), imagistica TEM filtrata in energie (EFTEM), spectroscopie de electroni (EELS).

- Investigarea rolului interfetelor interne in sisteme nanostructurate specializate in functionarea catalizatorilor heterogeni si a sensorilor de gaze.

#### *Obiective termen mediu (2015-2020)*

- Materiale cu gradient de proprietati; investigatii structurale si compositionale prin tehnici de microscopie electronica analitica de inalta rezolutie asupra materialelor aflate in camp intens de radiatii electromagnetice si de particule rezultate din experimente de iradiere cu fascicul laser de mare putere (1-10 PW)

- Nanocompozite si nanotuburi pe baza de structuri stratificate de tip graphene

- Investigarea efectelor cuantice in nanostructuri de tip dot cuantic pe baza de semiconductori II-VI dopate cu ioni de metale tranzitionale prin tehnici RES in multifrecventa si multirezonanta corelate cu tehnici HRTEM si spectroscopie laser.

- Modelarea cu defecte induse radiativ si termochimic a proprietatilor optice, electrice si magnetice ale structurilor si nanostructurilor semiconductoare si dielectrice.

- Sintetizarea si investigarea proprietatilor fizice ale unor nanostructuri de tip core-shell functionalizate pentru aplicatii in conversia energiei, cataliza si medicina.

## **CM2: STRUCTURA ELECTRONICA, TRANSPORT ELECTRONIC, SUPRACONDUCTIVITATE**

#### *Obiective termen scurt (2012-2014)*

1. Sisteme electronice puternic corelate : magnetism si superconductivitate in astfel de sisteme, ca oxizi de metale de tranzitie si conductori moleculari .Analiza unor proprietati de tipul: tranzitii metal-izolator, efect Kondo si efect Kondo multicanal , effect Hall cuantic fractionar, magnetorezistenta colosala.

2. Intelegerea teoretica a fenomenologiei vortexurilor in supraconductori de tip II dezordonati si puternic fluctuanti: pinning puternic, dezordine corelata, dinamica vortexurilor, effect Hall effect, atractia van der Waals intre vortexuri, etc

3. Sisteme mezoscopice; proprietati de transport (current mediu, zgomot, statistica) in mici dispozitive mezoscopice ;studiul unor fenomene cuantice –de ex entanglement-cu scopul de a intelege potentialul lor ca dispozitive pentru procesarea informatiei cuantice. Analiza unor fenomene ca: “electron drag”, condensarea de excitoni, rezonanta Kondo, blocada Coulomb, transport balistic si interactia intre electron si spinii nucleari.

#### *Obiective termen mediu (2015-2020)*

1. Tranzitii de faza cuantice (de ex. faze ordonate vs. dezordonate sau mobile vs. imobile) in contextul aplicarii de noi materiale (supraconductori) si a pregatirii viitoarelor sisteme de informatie cuantica

2. Intelegerea mecanismelor fundamentale de imprastiere care determina proprietatile de transport si mobilitatile mari ale electronilor in grafena

### **CM3: MAGNETISM SI REZONANTA MAGNETICA**

#### *Obiective termen scurt (2012-2014)*

- elucidarea principalelor mecanisme de interfata folosind sisteme model (multistraturi, particule core/shell)
- elaborarea de materiale magnetice cu diverse proprietăți utile tehnologiilor din electrotehnică (magneti permanenți, materiale moi magnetice, materiale pentru aplicații în dispozitive utilizate la înaltă frecvență, senzori, fluide magnetice, etc.) sau în aplicații biomedicale (hipertermie cu particule magnetice sau livrarea controlată a medicamentelor)
- dezvoltarea de senzori și actuatori bazati pe efecte magnetomecanice
- cercetări fundamentale în domenii ca; fero- și antiferomagnetism, faze incommensurabile, tunelare magnetică, anizotropie magnetică, pereți de domenii și formare de benzi, separare de faze electronice în sisteme itinerante

#### *Obiective termen mediu (2015-2020)*

- studii de cercetare fundamentală și aplicativă pentru dezvoltarea unor aplicații potențiale în domeniile: calcul cuantic; medii de înregistrare și stocare de densități mari; refrigerare magnetică;
- studii privind heterostructurile magnetice și nanomagnetismul de interfata (ferro/antiferro, nanomagneti interfatați hard/soft);
- dezvoltarea de aplicații în domeniul magnetismului de interfata (spintronica, înregistrare magnetică)

### **CM4: PROPRIETATI OPTICE SI SPECTROSCOPIA STARI CONDENSATE**

#### *Obiective termen scurt (2012-2014)*

- studii de cercetare fundamentală privind subiecte de top: fononi în nanostructuri; excitoni; excitoni și polaritoni în nanostructuri 2D, 1D, 0D ; interacție Coulomb ; interacție electron-fonon;
- prepararea și caracterizarea de: filme subțiri pentru aplicații în optoelectronică și conversia fotovoltaică a energiei solare: conductori transparenți optic, structuri fotovoltaice multistrat cu răspuns spectral larg și eficiență mare de conversie

#### *Obiective termen mediu (2015-2020)*

- elaborarea de filme nanostructurate utilizate ca electrozi în structuri fotovoltaice;
- dezvoltarea de materiale polimerice/materiale soft funcționalizate cu aplicații în conversia fotovoltaică
- cristale fotonice, nanofotonica

### **CM5: DIELECTRICI, PIEZOELECTRICI SI FERROELECTRICI; PROPRIETATI**

#### *Obiective termen scurt (2012-2014)*

- 1) Dezvoltarea de noi materiale, de preferință fără elemente periculoase pentru sănătate sau pentru mediu, cu proprietăți dielectrice, ferroelectrice, piezoelectrice și multiferoice îmbunătățite.

Dezvoltarea de noi componente și dispozitive bazate pe materiale dielectrice, ferroelectrice, multiferoice și piezoelectrice. Vor exista două direcții principale: a) utilizând materiale ceramice, ceea ce înseamnă controlul precis al dimensiunilor graunților cristalini și al compoziției chimice

(in scopul reducerii fazelor parazite, si in scopul ajustarii proprietatilor macroscopice in functie de raportul volum/interfete in ceramica); b) utilizand materiale de tip monocristal sau straturi epitaxiale, ceea ce inseamna control asupra calitatii cristaline si dopajului.

- 2) Intelegerea fenomenelor complexe care au lor la interfete in materiale dielectrice, feroelectrice si multiferice.

#### *Obiective termen mediu (2015-2020)*

- 3) Investigarea fenomenelor fundamentale prezente in materiale dielectrice, feroelectrice si multiferice, cu accent pe efectele de dimensiune si cuplajul intre diferite faze cu proprietati diferite. Exista o serie de probleme inca ne-elucidate la care cercetarea romaneasca in domeniu si-ar putea aduce contributia: efectul magnetoelectric in multiferici artificiali; transportul de sarcina de-a lungul interfetelor si perpendicular pe interfete; efectul deformarii si al sarcinilor de la interfete asupra marimii si stabilitatii anumitor marimi fizice; dopajul in feroelectrici si multiferici; legatura in structura electronica si sarcina de polarizare; noi forme de inducere a ordinii polare, etc.

### **CM6: FIZICA SUPRAFETEI, FIZICA LA SCALA NANO, SISTEME CU DIMENSIONALITATE REDUSA**

#### *Obiective termen scurt (2012-2014)*

- heterostructuri feroelectrice si multiferice: BFO, multistraturi BFO/PZT, metale magnetice/PZT;
- biomateriale (Ti, hydroxyapatita, biosticle);
- multistraturi magnetice, spintronica, GMR, CMR;
- nanoparticule magnetice functionalizate / microgeluri magnetice for pentru separare magnetica, hipertermie, " magnetic imaging " ;
- detectie de gaze;
- fotocatalizatori;

#### *Obiective termen mediu (2015-2020)*

- semiconductori magnetici diluati : Mn:Ge(111), Co:TiO<sub>2</sub>(011), etc.; aliaje Heusler: Co<sub>2</sub>MnSb, NiMnSb, etc.;
- nanoparticule magnetice functionalizate pentru livrare tintita a medicamentelor ( targeted drug delivery);
- interaction of nanoparticles with biomolecules (enzymes, proteins); coloizi magnetici (nanofluide)

### **CM7: METODE DE SINTEZA SI PROCESARE A MATERIALELOR (CRESTERE CRISTALINA, CRESTERE SI EPITAXIE DE STRATURI SUBTIRI, MICRO- SI NANOFABRICARE, ETC)**

#### **CM7.1 Crestere cristalina si solidificare directionala**

#### *Obiective termen scurt (2012-2014)*

- dezvoltarea de modele numerice pentru studiul controlului mecanic (prin agitare) al topiturii de siliciu in cresterea directionala;
- studiul proceselor de difuzie a impuritatilor in cresterea unidirectionala a siliciului;
- obtinerea de cristale BaF<sub>2</sub> dopate cu pamanturi rare.

*Obiective termen mediu (2015-2020)*

- dezvoltarea de experimente model pentru controlul curgerii topiturii cu ajutorul campurilor magnetice;
- obtinerea de materiale noi (in special fluoruri dopate cu pamanturi rare).

**CM7.2 Cresterea de particule si stratari subtiri prin metode fizice si chimice bazate pe procese de plasma (Plasma Enhanced CVD, arc evaporation, magnetron sputtering)**

*Obiective termen scurt (2012-2014)*

- fabricarea de materiale nanostructurate si nanostructuri semiconductoare pe baza de Si, Ge SiGe, TiO<sub>2</sub> si SiO<sub>2</sub> cu proprietati competitive pentru conversie solara, optoelectronica, senzori si aplicatii bio-medicale.
- dezvoltarea tehnologiei obtinerii de filme subtiri prin metoda TVA.
- gasirea aplicatiilor de nisa pentru noile tehnici si tehnologii dezvoltate.
- elaborarea de tehnici inovative pentru obtinerea de filme subtiri functionale, materiale noi si compozite din metale, polimeri, oxizi, nitruri, carburi, etc.
- elaborarea de proceduri pentru controlul si monitorizarea tehnicilor de procesare a materialelor, bazate pe spectroscopie, spectrometrie si masuratori prin metode complexe de caracterizare.

*Obiective termen mediu (2015-2020)*

- realizarea de nanostructuri hibride materiale nanostructurate/biomateriale, organic/anorganic pentru senzori, optoelectronica si conversie solara.
- elaborarea de tehnici adecvate producerii si procesarii cu plasma a diverselor tipuri de materiale.
- realizarea transferului tehnologic pentru materialele obtinute si dispozitivele pe baza acestora.

**CM7.3 Metode laser pentru depunere de stratari subtiri, cresteri de particule si nanofabricare (Pulsed Laser Deposition, Matrix Assisted Pulsed Laser Evaporation, Laser Induced Forward Transfer)**

*Obiective termen scurt (2012-2014)*

- combinarea tehnicii de obtinere a nanoparticulelor prin ablatie laser in faza lichida cu tehnica MAPLE pentru crearea de compozite cu proprietati functionale;
- obtinerea de compozite nanostructurate, super-retele si materiale avansate multifunctionale prin utilizarea laserilor de energii mari; functionalizarea structurilor astfel obtinute pentru aplicatii specifice (biomedicina, magnetice, fotovoltaice, pentru stocarea hidrogenului, senzori pentru detectia gazelor – inclusiv a celor toxice, biosenzori, spintronica, etc.);
- utilizarea tehnicilor laser pentru micro si nanostructurare;
- dezvoltarea de tehnici laser si utilizarea simultana a razelor X;
- sinteza unui numar variat de nanopulberi din metale, oxizi ai acestora, materiale semiconductoare sau izolatori, prin tehnici asistate laser;
- dezvoltarea de filtre electrostatice pentru captarea nanoparticulelor;
- obtinerea de stratari subtiri prin tehnica depunerii cu laseri, din diferite tipuri de materiale: oxizi conductori transparenti, polimeri, materiale supraconductoare, feroelectrici, multiferoici, dielectrici cu constanta k mare, etc.;

#### *Obiective termen mediu (2015-2020)*

- elaborarea de tehnici adecvate producerii si procesarii cu laseri (inclusiv a celor de energii mari) a diverselor tipuri de material;
- utilizarea tehnicilor laser pentru transferul *in-situ* al moleculelor si celulelor vii;
- obtinerea de doturi cuantice grefate pe polimeri pentru realizarea de conjugate active functionale;
- utilizarea doturilor cuantice in biologia celulara si virusologie;
- realizarea transferului tehnologic pentru materialele obtinute si dispozitivele pe baza acestora;

#### **CM7.4 Metode inovative de crestere a straturilor subtiri prin tehnici combinate**

##### *Obiective termen scurt (2012-2014)*

- obtinerea de nanostructuri foto-luminiscente pe baza de oxizi si nitruri;
- obtinerea prin tehnici combinate bazate pe plasma si laseri de compozite nanostructurate, super-rețele si materiale avansate multifunctionale, pentru aplicatii specifice;
- sinteza unui numar variat de nanopulberi din metale, oxizi ai acestora, materiale semiconductoare sau izolatori, prin tehnici combinate;
- extinderea (la scara industrială) sferei de aplicare a tehnicii CMSII pentru straturi dure cu rezistenta mare la uzura;
- studiul prin spectroscopie optica, spectrometrie de masa si sonde electrice a proceselor din plasma, a mecanismelor de sinteza a materialelor compozite obtinute prin tehnici combinate;
- realizarea de acoperiri functionale prin tehnici combinate, folosind precursori organici si metale catalitice pentru aplicatii in cataliza si energetica.

##### *Obiective termen mediu (2015-2020)*

- elaborarea de tehnici adecvate producerii si procesarii cu tehnici combinate (inclusiv a celor de energii mari) a diverselor tipuri de material;
- combinarea descarcarii de radiofrecventa, care permite obtinerea fascicolului de specii excitate si ionizate, cu tehnica MAPLE pentru a obtine nanoparticule cu invelis polimeric;
- realizarea transferului tehnologic pentru materialele obtinute si dispozitivele pe baza acestora;
- dezvoltarea bazei materiale implicate in realizarea acestor cercetari, precum si consolidarea colaborarilor stiintifice in vederea castigarii unei vizibilitati stiintifice pe plan international;
- extinderea (la scara industrială) sferei de aplicare a tehnicii CMSII pentru straturi dure cu rezistenta mare la uzura;
- realizarea de acoperiri functionale prin tehnici combinate, folosind precursori organici si metale catalitice pentru aplicatii in cataliza si energetica.

#### **CM7.5 Micro si nanofabricare**

##### *Obiective termen scurt (2012-2014)*

- fabricarea de noi nanomateriale, materiale nanostructurate si nanostructuri prin tehnici avansate, cu proprietati competitive pentru diferite aplicatii.
- gasirea aplicatiilor de nisa pentru noile tehnici si tehnologii dezvoltate.
- elaborarea de tehnici inovative pentru obtinerea de filme subtiri functionale, materiale noi si compozite din metale, polimeri, oxizi, nitruri, carburi, etc.
- dezvoltarea de metode de focalizare a radiatei laser sub limita de difractie.



- elaborarea de proceduri pentru controlul si monitorizarea tehnicilor de procesare a nanomaterialelor si nanostructurilor.

#### *Obiective termen mediu (2015-2020)*

- realizarea de nanostructuri hibride nanomateriale sau materiale nanostructurate/biomateriale, organic/anorganic pentru diferite aplicatii.
- elaborarea de tehnici adecvate producerii si procesarii nanomaterialelor, nanostructurilor si materialelor nanostructurate inteligente.
- realizarea transferului tehnologic pentru materialele obtinute si dispozitivele pe baza acestora.
- producerea de nanomateriale si nanostructuri avansate multifunctionale pentru aplicatii de inalta performanta.

#### **Obiective generale**

##### *Termen scurt (2012-2014):*

- 1) *Completarea in bune conditii a retehnologizarii amorsate in ultimii ani si in special asigurarea unei finantari continue pentru a acoperi serviceul post-garantie.*
- 2) *Demonstrarea capabilitatii acestor echipamente si a gradului de calificare a resursei umane aferente ( publicarea de articole stiintifice in reviste cotate ISI de nivel cat mai ridicat, participarea la conferinte internationale de inalt nivel, actiuni de popularizare a acestor capacitati) .*
- 3) *Organizarea la nivel national a functionarii unitare a acestor facilitati*
- 4) *Atragerea de cat mai multe parteneriate internationale (atat publice, cat si private) inclusiv colaborari cu industriile de profil din strainatate.*

##### *Termen mediu (2015-2020):*

- 1) *Realizarea unei modalitati elastice de finantare a proiectelor de cercetare, cu posibilitatea schimbarii pe parcurs a caracterului cercetare fundamentala → precompetitiva → aplicativa → dezvoltare tehnologica.*
- 2) *Incurajarea dezvoltarii de spin-off-uri in domeniu.*
- 3) *Elasticitate mult sporita in managementul financiar: (i) inlaturarea tuturor barierelor legate de pre-planificarea cheltuielilor, posibilitatea de a se transfera sume de la un capitol la altul; (ii) finantare multianuala, cu posibilitatea de a se reporta sume de pe un an financiar pe urmatorul.*
- 4) *Finantarea, in perspectiva anilor 2016-2020, a unui Centru National de Studii ale Suprafetelor si Interfetelor (posibil infrastructura europeana), cu participare din principalele institutii nationale cu expertiza in domeniu, cu eventuala cooptare a unor institutii de prestigiu din strainatate.*
- 5) *Acordarea de suport financiar si consultanta juridica in vederea realizarii de brevete EPO.*

### III.4.5 Recomandări

- finantare constanta dupa modele din tarile europene cu rezultate deosebite in cercetare.;
- actiuni specifice de pregatire si dezvoltare a resusei umane, avand in vedere natura inter-si multi-disciplinara a domeniului; continua perfectionarea a tinerilor absolventi si a personalului angajat in activitatea de cercetare;
- primirea unor fonduri care sa permita functionarea in conditii bune a infrastructurii existente; suportarea coștrurilor de operare, intretinere si service a aparaturii va fi una din provocarile esentiale din anii urmatori;
- utilizarea de catre cercetatorii romani a marilor infrastructuri din UE;
- pentru facilitarea unui transfer eficient si rapid a rezultatelor cercetarii catre economia reala (mediul de productie si afaceri) se impune crearea la nivel national a unui fond din care sa fie finantata cu precadere cercetarea aplicativa;
- flexibilizarea accesarii si utilizarii bazei materiale din institute si universitati atat la nivel local cat si national.

## III.5 NANOȘTIINȚĂ ȘI NANOTEHNOLOGIE

Nanostiinta si nanotehnologia se referă la manipularea sau auto-asamblarea de atomi individuali sau molecule in grupuri sau în structuri materiale de dimensiuni nanometrice cu proprietăți noi sau foarte diferite de structurile macroscopice. Nanostiinta este un domeniu de cercetare nou multidiscplinar, care se afla la confluenta a patru stiinte fundamentale matematica, fizica, chimia si biologia, iar generarea nanotehnologiilor este tinta finala. Pornind de la datele facute publice pe Web of Science cu privire la rezultatele stiintifice aferente domeniului si publicate in reviste ISI, pentru perioada 2001-2011, folosind cuvântul cheie „nano” constatam existenta a mult mai mult de 100000 de articole publicate, dispersate pe mai multe arii tematice ale domeniului, din care primele zece pozitii sunt ocupate de CHINA (20.6 %), USA (19.8 %), GERMANIA (7.2%), INDIA (7%), JAPONIA (7%), FRANTA (6.2%), RUSSIA (4.8%), SPANIA (4.2%), ITALIA (3.8%), COREEA de SUD (3.8 %), iar ROMANIA se afla pe locul 16 (2.2%) prin 2975 de articole la care se asociaza un indice Hirsh: 42. Pentru ROMANIA aceasta stare de lucruri nu este de loc multumitoare daca se au in vedere cel putin doua elemente: i) faptul ca nanostiinta si nanotehnologia este in prezent cel mai dinamic domeniu al cercetarii stiintifice, care concentreaza eforturi mari de fiantare cu rezultate previzibile prin multiple aplicatii in tehnica, biologie si medicina si ii) ca ROMANIA ca tara europeana de marime medie ar trebui sa ocupe o pozite mai inalta in erarhia domeniului.

In acest context tot Web of Science furnizeaza informarii relevante cu privire la contributiile cercetatorilor romani care pot fi insumate in urmatoarelere teme si subiecte .

### III.5.1 Teme și subiecte

#### NN1: METODE FIZICO-CHIMICE DE SINTEZA SI FUNCTIONALIZARE A MATERIALELOR NANOSTRUCTURATE SI NANOASAMABLATE

- ❖ **NN1.1: Nanoparticule de tip “tubes, wires, rods, quantum dots, quantum wells ”**
- ❖ **NN1.2: Nanostructuri de tip “core-shell” si “nanofibers”**
- ❖ **NN1.3: Materiale compozite bazate pe nanoparticule de tip ”tubes, wires, rods, quantum dot, quantum wells”**
- ❖ **NN1.4: Multi-straturi nanostructurate (superlattice)**
- ❖ **NN1.5: Procese de sinteza cu laser si cu plasma a nanomaterialelor**
- ❖ **NN1.6: Depunere de filme subtiri nanostructurate prin tehnici laser si magnetron sputtering**
- ❖ **NN1.7: Procese fizico-chimice de functionalizare si de autoasamblare a nanoparticulelor.**

A. Realizari pe plan international. In contextul acestei teme realizările recente si perspectivele la nivel international vizeaza cu precadere producerea prin procedee chimice, fizice si fizico-chimice de: i) nanoparticule cu forme morfologice predeterminate; ii) nanostructuri cuantice (*quantum dots, quantum wires si quantum wells*); iii) nanoparticule metalice si bimetalice; iv) nanoparticule core-shell plasmonice ; v) nanoparticule de carbon; vi) nanofibre ceramice; vii) nanoparticule

semiconductoare;viii) nanocompozite cu proprietati predeterminate (polimeri/fulerena, polimeri/nanotuburi de carbon, nanocompozite magnetice cu structuri mesoporoase, polimer/semiconductor, grafena/enzime, polimeri/grafena, polimeri/nanoparticule plasmonice (Ag, Au, etc.), polimeri/nanoparticule semiconductoare (ex.  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ , etc.), nanotuburi /oxizi anorganici (ex. Dioxidul de iridiu,  $\text{ZrO}_2$ ), polimeri/nanoparticule de  $\text{SiO}_2$  si respectiv Si, compozite feroice bazate pe polimeri si nanoferite (ex.  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ , etc.), nanocompozite bio-dopate, etc.

Pentru toate aceste nanoparticule si nanocompozite aplicatiile cunosc o dezvoltare exponentiala, ele fiind vazute in domenii foarte diferite precum: i) detectori de infrarosu; ii) comunicatii; iii) celule fotovoltaice si pile de combustie; iv) optoelectronica; v) stocare de hidrogen; vi) senzori; vii) cataliza; viii) supercapacitori si baterii reîncărcabile cu litiu; ix) biologie; x) medicina si terapie umana; etc.

B. Realizări nationale, motivatie, scop. Contributia Romaniei la aceasta tema si la subiectele aferente pentru perioada 2001-2011 este ilustrata prin Tabelul I si Figurile 1 si 2, intocmite prin colectarea datelor furnizate de Web of Science pe cuvinte cheie specifice. O privire globala asupra Temei 1 si a subiectelor asociate indica peste 100000 articole publicate pe plan international din care ~ 1500 au printre autori cercetatori romani. Institutii cu expertiza in domeniul Temei 1 sunt: Institutul National de Cercetare Dezvoltare pentru Fizica Materialelor, Universitatea Bucuresti, Institutul National de Fizica Laserilor, Plasmei si Radiatiei, Institutul de Chimie Macromoleculara Petru Poni, Univeristatea Politehnica Bucuresti, Universitatea Alexandru Ioan Cuza, Institutul National de Cercetare Dezvoltare de Micro si Nanotehnologie, Universitatea Tehnica Gh. Asachi, Institutul National de Optoelectronica si Univeristatea Ovidius Constanta. Jumatate din publicatiile autorilor romani sunt focalizate pe subiectele Temei 1. Acest fapt impune ca obiectiv strategic pe termen scurt si mediu continuarea, perfectionarea si dezvoltarea activitatilor de cercetare aferente temei. Ca rezultate imediate se previzioneaza o imbunatatire a pozitiei Romaniei in contextul efortului mondial aferent domeniului, la consolidarea si cresterea numerica a colectivelor de cercetare, perfectionarea experizei lor si a capacitatilor de interactiune interdisciplinara. In acest scop efortul trebuie sa fie focalizat pe metode fizico-chimice de sinteza a nanoparticulelor a caror pret sa fie mai mic decat cel existent in prezent pe piata mondiala, reducerea dispersiei dimensionale a nanoparticulelor (obiectivul fiind realizarea unor nanoparticule monodisperse) si geneza de noi structuri morfologice a nanoparticulelor sau nanomaterialelor.

## **NN2: PROCESE SI FENOMENE FIZICE IN NANOMATERIALE - CARACTERIZARE SI MANIPULARE**

- ❖ **NN2.1: Proprietatile optice ale nanomaterialelor**
- ❖ **NN2.2: Proprietatile electrice ale materialelor nanostructurate**
- ❖ **NN2.3: Solitoni, plasmoni, polaritoni, unde evanescente**
- ❖ **NN2.4: Difuzia la interfete solid-solid.**
- ❖ **NN2.5: Proprietatile feroelectrice si magnetice ale materialelor nanostructurate**
- ❖ **NN2.6: Structuri fotonice in metamateriale**
- ❖ **NN2.7: Nanometrologie**

❖ **NN2.8: Nanoimagistica**

❖ **NN2.9: Spectroelipsometrie pe nanomateriale**

A. Realizari pe plan international. Titlul temei si a subiectelor asociate indica doua paliere de activitate: unul care se refera la caracterizarea optica, electrica si magnetica a nanostructurilor si altul de descoperire a unor noi proprietati fizice capabile sa conduca la aplicatii noi, specifice.

Realizarile recente pe plan international indica: i) obtinerea prin nanostructurare de mari neliniaritati optice de ordinul doi si trei; ii) realizarea de functionalitati fotonice; iii) noi surse de fotoni si noi fenomene de optica cuantica; iv) structuri si rezonatoare plasmonice; v) structuri nanometrice cu proprietati fero-electrice si magnetice previzionate; vi) efecte optice de tip antena generate in structuri nanometrice; vii) nanometrologie ; viii) nano-imagistica.

In domeniul aplicatiilor, cercetarile desfasurate in cadrul temei si subiectelor mentionate se fac vizibile prin: i) realizarea de noi materiale fotonice operationale in optoelectronica; ii) realizarea de heterostructuri nanometrice cu un comportament electro-optic previzionat; iii) dezvoltarea de noi metode optice de investigare a nanostructurilor; iv) receptoare optice ultrarapide pentru tehnologia informatiei; v) efectele de intensificare a radiatiei electromagnetice in vecinatatea suprafetelor nanostructurate sau a nanoparticulelor; vi) generarea undelor evanescente care permit caracterizarea materialelor cu rezolutii spatiale de ordinul zecilor de nanometri, mult sub limita de difractie; vii) marirea sensibilitatii metodelor de detectie prin spectroscopie optica a speciilor moleculare; viii) dezvoltarea de noi tehnici experimentale de investigare a structurilor nanometrice, etc.

B. Realizări nationale, motivație, scop. Contributia Romaniei la acest efort de cercetare stiintifica si tehnologica este ilustrata prin Tabelul I si Figurile 1 si 2 intocmite prin colectarea datelor furnizate de Web of Science pe cuvinte cheie specifice. La fel ca pentru Tema 1, contributia Romaniei se cuantifica prin aprox. 1500 de lucrari , fapt care subliniaza interesul stiintific si aplicativ pentru cercetarile desfasurate in cadrul Temei 2. Institutii cu expertiza in domeniul Temei 2 sunt : Insitulul National de Cercetare Dezvoltare pentru Fizica Materialelor, Universitatea Politehnica Bucuresti, Universitatea Babes Bolyai, Universitatea Alexandru Ioan Cuza, Institutul National de Fizica Laserilor, Plasmei si Radiatiei, Universitatea Bucuresti, Institutul National de Cercetare-Dezvoltare pentru Micro si Nanotehnologii, Institutul National de Cercetare Dezvoltare de Fizica Tehnica – Iasi, Institutul de Chimie Macromoleculara Petru Poni, Institutul National de Cercetare Dezvoltare de Fizica Nucleara – Horia Hulubei, Institutul de Fizica Atomica, Institutul de Chimie Fizica IG Murgulescu, Institutul Naitonal de Optoelectronica. De aici rezulta si un prim obiectiv strategic pe termen scurt si mediu, adica o continuare, perfectionarea si o dezvoltare a activitatilor de cercetare aferente temei. Ca rezultate imediate se previzioneaza o imbunatatire a pozitiei Romaniei in contextul efortului mondial aferent domeniului, la consolidarea si cresterea numerica a colectivelor de cercetare, perfectionarea experizei lor si a capacitatilor de interactiune interdisciplinara crearea unei baze de infrastructura pentru activitati stiintifice performante si de formare a unor resurse umane cu expertiza in domeniu. In acest scop efortul va fi focalizat pe: i) evidentierea proprietatilor fizice (optice, electrice, magnetice, feroelectrice, imagistica, etc.) a noi structuri morfologice a nanoparticulelor/ nanomaterialelor de tip “nanodisc, tower-shaper, sea urchin, brain, nanoplate, rose, leaf, centipede” si ii) dependenta proprietatilor fizice functie de domeniului de dispersie al dimensiunii nanoparticulelor.

### **NN3: APLICATIILE MATERIALELOR NANOSTRUCTURATE IN DOMENIUL OPTOELECTRONICII, STOCARII SI CONVERSIEI ENERGIEI, SENZORILOR, PROTECTIA MEDIULUI, BIOMEDICINII SI NANOFLUIDELOR**

- ❖ **NN3.1 Nanofluide si nanopicaturi**
- ❖ **NN3.2 Nanosenzori**
- ❖ **NN3.3 Tehnologii nano-bio. Nanomedicina**
- ❖ **NN3.4 Aplicatiile materialelor nanostructurate in domeniul stocarii si conversiei energiei**

A. Realizari pe plan international. Titlul temei si a subiectelor asociate indica un dominant caracter interdisciplinar si aplicativ. In mod detasat se impun doua sectiuni, prima vizeaza domeniul bio-medical si cea de a doua focalizata pe conversia si stocarea energiei care la randul ei este interesanta pentru protectia mediului.

In contextul denumirii temei si a subiectelor asociate, realizările recente la nivel international se fac observate prin efort sustinut de cercetare si dezvoltare tehnologica cu privire la: i) fizico-chimia nanofluidelor, a nanopicaturilor, a efectelor de adsorbție fizico-chimica de suprafata, a aplicatiilor acestor rezultate in biologie si medicina; ii) fizico-chimia si tehnologia functionarii si realizarii nanosenzorilor ; iii) folosirea nanoparticulelor ca purtatori de mesaj chimic si fizic; iv) realizarea de dispozitive fotovoltaice utilizand nanoparticule semiconductoare functionalizate cu oligomeri; v) utilizarea nanofibrelor de carbon poroase pentru aplicatii in domeniul stocarii hidrogenului; vi) utilizarea nanoparticulelor semiconductoare in celulele solare sensibilizate cu coloranti; vii) utilizarea grafenei functionalizate cu polimeri sau nanocristale superparamagnetice in domeniul dispozitivelor fotovoltaice, supercapacitorilor si bateriilor; viii) realizarea de fotodiode hibride organic/anorganic sensibilizate cu quantum dot-uri; ix) aplicatiile materialelor compozite si a nanostructurilor in domeniul supercapacitorilor, bateriilor reincarcabile cu litiu, celulelor de combustie, etc. Este usor de observat ca domeniul aplicatiilor este vast, el implicand o activitati multidisciplinare.

B. Realizări nationale, motivație, scop. Contributia Romaniei este ilustrata prin Tabelul I si Figurile 1 si 2 intocmite prin colectarea datelor furnizate de Web of Science pe cuvinte cheie specifice. Daca pe plan international Tema se face observata prin mai mult de 100000 lucrari publicate, pe plan national se observa o contributie de ~1285 lucrari la care functie de specific gasim factori Hirsch variind intre 19 si 3. Institutii cu expertiza in domeniul Temei 2 sunt : Universitatea Bucuresti, Institutul National de Cercetare Dezvoltare pentru Fizica Materialelor, Institutul National de Cercetare Dezvoltare pentru Tehnologii Izotopice si Moleculare, Universitatea Babes Bolyai, Universitatea Politehnica Bucuresti, Institutul de Chimie Fizica IG Murgulescu, Institutul National de Cercetare Dezvoltare pentru Fizica Laserilor, Plasmei si Radiatiei, Universitatea Alexandru Ioan Cuza, Institutul de Chimie Macromoleculara Petru Poni, Universitatea Tehnica Gh. Asachi, Universitatea Lucian Blaga, Universitatea de Vest Timisoara, si Universitatea de Medicina si Farmacie I. Hateganu. Aceasta statistica ilustreaza necesitatea intensificarii activitatilor focalizate pe cercetarea fundamentala cat si tehnologica, ceea ce impune realizarea unor infrastructuri multifunctionale si multidisciplinare. In acest scop o concentrare a activitatii se impune a fi focalizata in domeniul energiilor alternative (stocarea si producerea hidrogenului, baterii, celule de combustie,

supercapacitori, celule solare/dispozitive fotovoltaice, etc.), nanobiologiei/nanomedicinii si nu in ultimul rand al senzorilor cu implicatii in protectiei mediului si nanomedicinii.

### III.5.2 Impact

Domeniului Nanostiinta si Nanotehnologia include resurse care se focalizeaza pe cercetarea fundamentala si aplicativa la nivel nano si micro pe o varietate de discipline ca fizica, chimia, biologia, bioingineria, electronica, stiintele clinice si medicale, ingineria chimica si stiinta materialelor. Impactul stiintific vizeaza cresterea vizibilitatii cercetarii romanesti pe plan international prin: i) cresterea numarului de articole ISI in publicatii stiintifice de top, ii) cresterea numarului de brevete internationale, si iii) cresterea ponderii participarii unitatilor de cercetare la proiecte internationale. Conform Temelor 1-3, impactul tehnologic si socio-economic al domeniului Nanostiinta si Nanotehnologia vizeaza domeniul Materialelor, Energiei, Sanatatii si Mediului, unde este estimata o crestere a parteneriatelor cu industria romaneasca.

### III.5.3 Analiză SWOT

**Puncte tari:** i) dotari si infrastructura de cercetare de data recenta; ii) resursa umana cu competente recunoscute la nivel international; iii) productie stiintifica buna in conditiile unei finantarii medii-nesatisfacatoare; iv) parteneriate nationale numeroase; v) parteneriate internationale bilaterale numeroase; vi) domeniu de cercetare cu o gama larga de aplicativitate; vii) materialele studiate au un impact important in dezvoltarea tehnologica viitoare.

**Puncte slabe:** i) numar redus privind participarea la mari retele de cercetare internationala; ii) numar redus de proiecte Europene in domeniu; iii) numar redus de brevete aplicate in domeniu; iv) numar redus de tehnologii; v) numar redus de parteneriate cu industria romaneasca (transfer tehnologic); vi) prezenta scazuta in publicatii stiintifice de top ( $f_{ISI} > 5$ : Science, Nature, Phys. Rev. Lett., Nano Lett., etc.); vii) finantarea greoaie si inconstanta in sistemul de finantare al cercetarii din Romania; viii) neimplicarea suficienta in cercetari aplicative, cum ar fi folosirea structurilor nano ca senzori sau dezvoltarea de dispozitive nanoelectronice si optoelectronice sau ca materiale active in surse de energie alternativa (baterii, dispozitive fotovoltaice, stocarea hidrogenului, etc.) care poate atrage interesul partenerilor industriali; ix) absenta unor prioritati strategice privind cercetarea in domeniile interdisciplinare nano-fizica-chimie-biologie care sa permita participarii la infrastructuri mari ale unor retele internationale de renume; x) nivelul de pregatire al tinerilor absolventi de facultate sub necesitatile domeniului ca rezultat al unei programe de invatamant neadecvate.

**Riscuri la nivel de domeniu:** i) ritm imprezibil al finantarii; ii) bariere birocratice; iii) risc de accelerare a uzurii fizice si morale prin utilizare necorespunzatoare a dotarilor in lipsa finantarii ritmice; iv) risc de reluare a efectului "Brain Drain".

**Oportunitati:** i) acces la programe de finantare externe FP7, FP8, NATO, etc.; ii) realizarea de parteneriate internationale bilaterale –exemplu IFA-CEA, SCOPES, EUROCOR, etc.; iii) existenta unui grup de cercetare consolidat si cu competente stiintifice probate in domeniu; iv) ancorarea cercetarilor in cadrul colaborarilor nationale si europene ale colectivului de cercetare; v) tema abordata este de interes stiintific fundamental si cu impact determinat asupra dezvoltarilor

tehnologice viitoare; vi) implicatiile domeniilor nano si fizica in cercetarea aplicativa din domeniile emergente.

### **III.5.4 Obiective pe termen scurt și mediu**

**Principalele obiective pe termen scurt (2012-2014) sunt :**

#### **1. Metode fizico-chimice de sinteza ale nanomaterialelor**

1.1 Dezvoltarea metodelor fizico-chimice pentru sinteza unor nanoparticule monodisperse de tip "tubes, wire, rods, quantum dots, quantum wells" .

1.2 Dezvoltarea metodelor de preparare ale materialelor compozite bazate pe nanoparticule monodisperse de tip "tubes, wires, rods, quantum dot, quantum wells"

1.3 Auto-asamblarea prin metode fizico-chimice a nanoparticulelor monodisperse in structuri core-shell

1.4 Dezvoltarea metodelor de obtinere prin metode fizice (arc catodic, depuneri asistate de plasma si laser, etc.) a straturi subtirilor nanostructurate (superlattice si nanocompozite)

#### **2. Proprietatile fizice ale nanomaterialelor**

2.1 Proprietatile optice si electrice ale nanoparticulelor monodisperse de tip "tubes, wire, rods, quantum dots, quantum wells" si a materialelor sale compozite

2.2 Proprietati/fenomene fizice evidentiate prin unde evanescente, solitoni, polaritoni, plasmoni in nanomaterialele

2.3 Proprietatile feroelectrice si magnetice ale nanoparticulelor si materialelor compozite

2.4 Nanoimagistica, nanoplasmonica si conductie pe nanomateriale de tip "tubes, wire, rods, quantum dots, quantum wells" si a materialelor sale compozite

2.5 Proprietati optice, mecanice, electrice, chimice ale straturilor subtirilor nanostructurate (superlattice si nanocompozite)

#### **3. Aplicatiile nanoparticulelor si nanomaterialelor in domeniul energiilor alternative, nanosenzorilor, biologiei si nanomedicinii**

3.1 Aplicatiile nanoparticulelor si nanomaterialelor in domeniul stocarii si producerii hidrogenului si a celulelor solare/dispozitive fotovoltaice

3.2 Aplicatiile nanoparticulelor si a nanomaterialelor in domeniul nanobiologiei si nanomedicinii

3.3 Aplicatiile nanomaterialelor in domeniul nanosenzorilor



3.4. Aplicatii ale straturilor subtiri nanostructurate (superlattice si nanocompozite) in domeniul materialelor dure si ultradure, a biomaterialelor, tehnologiilor de recuperare a mediului (purificare apa), energiilor neconventionale (convertori energie solara- energie termica), materialelor rezistente la impact si oxidare la temperaturi inalte.

**Principalele obiective strategice pe termen mediu (2015-2020) sunt :**

**1. Metode fizico-chimice de sinteza ale nanomaterialelor**

1.1 Dezvoltarea metodelor fizico-chimice pentru sinteza unor nanomateriale monodisperse noi de tip „nanofiber, nanodisc, tower-shaper, sea urchin-like, brain-like, nanoplate, rose like, leaf-like, centipede-like”

1.2 Dezvoltarea de procedee fizico-chimice pentru prepararea multistraturilor nanostructurate (supperlattice)

1.3 Dezvoltarea de procedee fizico-chimice pentru prepararea straturilor nanocompozite nanostructurate (cristalite in matrici amorfe)

**2. Proprietatile fizice ale nanomaterialelor**

2.1 Nanoimagistica, nanoplasmonica, nanomagnetism si proprietatile conductoare si feroelectrice ale nanomateriale monodisperse noi de tip „nanofiber, nanodisc, tower-shaper, sea urchin-like, brain-like, nanoplate, rose like, leaf-like, centipede-like”

2.2 Procese fizico-chimice de interfata in structuri nanometrice

**3. Aplicatiile nanoparticulelor si nanomaterialelor in domeniul energiilor alternative, nanosenzorilor, biologiei si nanomedicinii**

3.1 Aplicatiile nanomaterialelor si nanoparticulelor ca materile active pentru baterii reincarcabile, supercapacitori si celule de combustie

3.2 Aplicatiile nanomaterialelor in domeniul LED-urilor

3.3. Aplicatiile nanomaterialelor si nanofluidelor in domeniul nanobiologiei si nanomedicinii.

3.4. Aplicatii ale straturilor subtiri nanostructurate (superlattice si nanocompozite) in domeniul materialelor dure si ultra-dure, a biomaterialelor, tehnologiilor de recuperare a mediului (purificare apa), energiilor neconventionale (sisteme termo-electrice, convertori energie solara- energie termica), materialelor rezistente la impact si oxidare la temperaturi inalte.

### **III.5.5 Recomandări**

Succesul implementarii celor trei prioritati strategice in domeniul NANOSTIINTEI este conditionata de: i) finantare constanta a celor trei directii; ii) continua perfectionarea a tinerilor absolventi si a personalului angajat in activitatea de cercetare; iii) primirea unor fonduri care sa permita

functionarea in conditii bune a aparatele achizitionate; in acest context mentionam ca in lipsa unor investitii constante in infrastructura pentru micro si nanofabricatie, echipamentele sunt supuse unui risc crescut de degradare fizica si morala, datorita dificultatii de a mentine in functiune sisteme de inalta tehnologie, cum sunt cele din cercetare; achizitia a noi echipamente de cercetare pe baza unei justificari riguroase privind up-gradurile necesare si a importantei acestor achizitii functie de domeniul de utilizare; v) consolidarea colaborarilor nationale si internationale; in ultimul caz este necesara lansarea anuala a unor apeluri de proiecte comune privind cooperarile bilaterale intre Romania si diferitele tari, care sa implice activitati de cercetare finantabile pe toate tipurile de cheltuieli de ambele parti; suplimentar pentru facilitarea participarii la proiecte FP7 se propune organizarea unui centru de consultanta cu specialisti aferenti domeniului pentru redactarea proiectelor internationale; vii) impunerea unor standarde minimale anuale privind cuantificarea rezultatelor obtinute in cadrul domeniului investigat; viii) finantarea cercetarii trebuie sa se faca dupa modele din tarile europene cu rezultate deosebite in cercetare. Personalul permanent, cu statut de functionar de stat, asigura continuitatea procesului didactic si de cercetare, iar personalul angajat pe perioada determinata (masteranzi, doctoranzi, post-doc), finantat din proiecte, asigura dinamica cercetarii. ix) elaborarea unui protocol de evaluare si monitorizare obiectiva a rezultatelor cercetarii; se propune realizarea unei monitorizari a rezultatelor obtinute in cadrul proiectelor de cercetare care sa ia in considerare inclusiv rezultatele publicate pana la 2 ani dupa finalizarea proiectului; nerealizarea rezultatelor promise se propune a fi sanctionata prin depunere la evaluarea urmatoarei propuneri de proiect; x) pentru facilitarea unui transfer eficient si rapid a rezultatelor cercetarii catre economia reala (mediul de productie si afaceri) se impune crearea la nivel national a unui fond din care sa fie finantata cu precadere cercetarea aplicativa; xi) domeniul de activitate interdisciplinara al nanostiintei si nanotehnologiei necesita actiuni specifice de pregatire si dezvoltare a resusei umane; in acest scop se propune realizarea unui program de pregatire post-universitara intr-o unitate de invatamant superior sau institut de cercetare care sa fie abilitat in eliberarea unor certificate care sa dovedeasca specializarea in domeniu; xii) crearea unui cadru national de unificare si gestionare rezultatelor cercetarilor fundamentale si aplicative asociate domeniului.

**Tabel cumulativ defalcat pe teme/subiecte/cuvinte cheie -perioada analizata: 2001-2011**

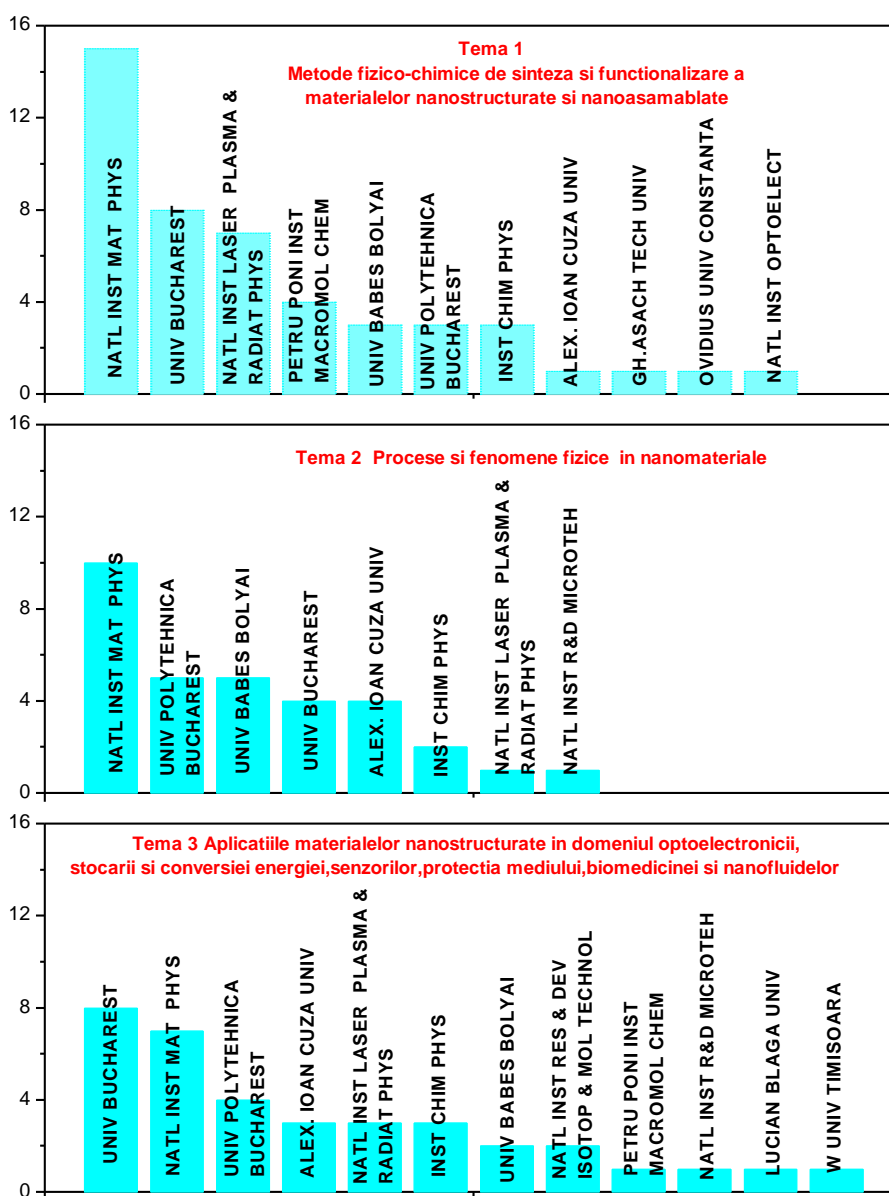
<b>Tema 1. Materiale nanostructurate si nanoasamblate - metode fizico-chimice de sinteza si functionalizare</b>						
<b>Subiecte</b>	<b>Cuvinte cheie explicative</b>	<b>Nr. articole ISI</b>	<b>Nr. articole ISI Romania</b>	<b>%</b>	<b>Indice Hirsch Romania</b>	<b>Observatii: primele trei institutii reprezentative</b>
<b>NN 1: Metode fizico-chimice de sinteza si functionalizare a materialelor nanostructurate si nanoasamblate</b>						
<b>NN 1.1:</b> <b>Nanoparticule de tip tuburi, fire, baghete, puncte cuantice, pereti cuantici</b>	nanotubes	63058	349	0.553	25	1) NATL INST MAT PHYS ; 2) UNIV BUCHAREST ; 3) UNIV BABES BOLYAI
	nanowires	31012	111	0.358	14	1) NATL INST MAT PHYS ; 2) UNIV BUCHAREST ; 3) NATL INST RES & DEV TECH

						PHYS
	nanorods	16358	42	0.256	10	1) NATL INST MAT PHYS ; 2) UNIV BABES BOLYAI; 3) UNIV BUCHAREST
	quantum dots	30325	125	0.412	12	1) NATL INST MAT PHYS ; 2) NATL INST LASER PLASMA & RADIAT PHYS; 3) UNIV BUCHAREST
	quantum wires	4899	31	0.63	6	1) UNIV POLYTEHNICA BUCHAREST; 2) NATL INST MAT PHYS ; 3) UNIV BUCHAREST ;
	quantum wells	14344	59	0.411	9	1) UNIV POLYTEHNICA BUCHAREST; 2) NATL INST MAT PHYS ; 3) UNIV BUCHAREST ;
<b>NN 1.2 :</b> <b>Nanostructuri de</b> <b>tip miez-coaja si</b> <b>nanofibre</b>	core-shell* AND nano*	9551	68	0.712	13	1) NATL INST LASER PLASMA & RADIAT PHYS; 2) NATL INST MAT PHYS ; 3) NATL INST RES & DEV ISOTOP & MOL TECHNOL
	nanofibers	10572	26	0.246	6	1) ALEX. IOAN CUZA UNIV; GH.ASACH TECH UNIV; 2) NATL INST RES & DEV ISOTOP & MOL TECHNOL; 3) PETRU PONI INST MACROMOL CHEM
<b>NN 1.3: Materiale</b> <b>compozite bazate</b> <b>pe nanoparticule</b> <b>de tip tuburi, fire,</b> <b>baghete, puncte</b> <b>cuantice, pereti</b> <b>cuantici</b>	composites* AND nano*	27959	246	0.879	15	1) NATL INST MAT PHYS ; 2) UNIV POLYTEHNICA BUCHAREST; 3) PETRU PONI INST MACROMOL CHEM
<b>NN 1.4: Multi-</b> <b>straturi nano-</b> <b>structurate</b> <b>(super-retele)</b>	multilayer* AND nano*	10492	88	0.839	8	1) NATL INST MAT PHYS ; 2) NATL INST R& D TECH PHYS; 3) NATL INST LASER PLASMA & RADIAT PHYS
	superlattice* AND nano*:	4542	22	0.484	6	1) NATL INST MAT PHYS; 2) ALEX. I. CUZA UNIV; NATL INST LASER PLASMA & RADIAT PHYS; 3) NATL INST OPTOELECT; INST PHYS CHEM
<b>NN 1.5: Procese</b> <b>de sinteza cu</b> <b>laser si cu plasma</b>	plasma* AND nano*	19180	126	0.657	16	1) NATL INST LASER PLASMA & RADIAT PHYS; 2) ALEX. I. CUZA UNIV;

<i>a nano-materialelor</i>						3) UNIV BUCHAREST
	laser synthesis* AND nano*	2589	62	1	10	1) NATL INST LASER PLASMA & RADIAT PHYS; 2) OVIDIUS UNIV CONSTANTA; 3) NATL INST MAT PHYS ;
<b>NN 1.6:</b> <i>Depunere de filme subtiri nanostructura-te prin tehnici laser si pulverizare magnetica</i>	PLD* AND nano	780	42	5.38	9	1) NATL INST LASER PLASMA & RADIAT PHYS; 2) NATL INST MAT PHYS ; 3) UNIV BUCHAREST
	magnetron sputtering* AND nano*	3793	48	1.265	8	1) NATL INST LASER PLASMA & RADIAT PHYS; 2) NATL INST MAT PHYS ; 3) UNIV BABES BOLYAI
<b>NN 1.7:</b> <i>Procese fizico-chimice de functionalizare si de autoasamblare a nanoparticulelor</i>	Functionalization* AND nano*	7694	53	0.689	11	1) NATL INST MAT PHYS; 2) UNIV BUCHAREST; 3) PETRU PONI INST MACROMOL CHEM
<b>NN2: PROCESE SI FENOMENE FIZICE IN NANOMATERIALE</b>						
<b>NN 2.1:</b> <i>Proprietatile optice ale nanomaterialelor</i>	optical properties* AND nano*	30386	240	0.790	18	1) NATL INST MAT PHYS ; 2) NATL INST LASERS PLAMA & RADIAT PHYS; 3) UNIV BABES BOLYA
<b>NN 2.2:</b> <i>Proprietatile electrice ale materialelor nanostructurate</i>	electrical properties* AND nano*	13043	134	1.027	13	1) NATL INST MAT PHYS ; 2) UNIV BUCHAREST ; 3) UNIV POLYTEHNICA BUCHAREST
<b>NN 2.3:</b> <i>Solitoni, plasmoni, polaritoni, unde evanescente</i>	plasmon* AND nano*	11948	65	0.544	11	1) UNIV BABES BOLYAI; 2) NATL INST MAT PHYS ; 3) UNIV BUCHAREST ; PETRU PONI INST MACROMOL CHEM
	Polariton* AND soliton*	24735	217	0.877	30	1) HORIA HULUBEI NATL INST PHYS & NUCL. ENGN; 2) INST ATOM PHYS; 3) ALEXANDRU IOAN CUZA UNIV
<b>NN 2.4:</b> <i>Difuzia la interfete solid-solid</i>	diffusion* AND nano*	19520	69	0.353	10	1) UNIV POLITEHN BUCURESTI ; 2) NATL INST MAT PHYS ; 3) UNIV BUCHAREST
<b>NN 2.5:</b> <i>Proprietatile feroelectrice si magnetice ale materialelor</i>	ferroelectric* AND nano*	3376	40	1.184	11	1) ALEXANDRU IOAN CUZA UNIV ; 2) NATL INST MAT PHYS ; 3) UNIV POLITEHN BUCURESTI

<i>nanostructurate</i>	magnetic* AND nano*	43479	593	1..364	20	1) NATL INST MAT PHYS ; 2) ALEXANDRU IOAN CUZA UNIV; 3) UNIV BABES BOLYAI
	Ferromagnetic * AND nano*	7352	83	1.129	11	1) ALEXANDRU IOAN CUZA UNIV; 2) NATL INST MAT PHYS; 3) NATL INST R&D TECH PHYS;
<i>NN 2.6: Structuri fotonice in metamateriale</i>	photonic* and nano*	6132	20	0.326	6	1) NATL INST MAT PHYS ; 2) NATL INST LASER PLASMA& RADIAT PHYS; NATL INST & DEV MICROTECHNOL; 3) UNIV POLITEHN BUCURESTI ; UNIV BABES BOLYAI
<i>NN 2.7: Nanometrologie</i>	Nano-metrology*	160	2	1.25		1) NATL INST LASER PLASMA & RADIAT PHYS
	Nanometric metrology*	464	10	2.155		1) NATL INST MAT PHYS
<i>NN 2.8: Nano-imagistica</i>	image* AND nano*	18519	107	0..577	12	1) UNIV BABES BOLYAI; 2) NATL INST MAT PHYS ; 3) UNIV POLITEH BUCHAREST
<i>NN 2.9: Spectroelipsometrie</i>	ellipsometry* and nano*	1619	19	1.117	5	1) NATL INST MAT PHYS ; 2) INST PHYS CHEM; 3) NATL INST R&D MICROTECHNOL; NATL INST & DEV OPTOELECT
<b>NN3: Aplicatiile materialelor nanostructurate in domeniul optoelectronicii, stocarii si conversiei energiei, senziorilor, protectia mediului, biomedicinii si nanofluidelor</b>						
<i>NN 3.1: Nanofluide si nanopicaturi</i>	fluid* AND nano*:	12204	150	1.229	14	1) ALEX. IOAN CUZA UNIV; 2)LUCIAN BLAGA UNIV; 3)W UNIV TIMISOARA
	droplet* AND nano*:	5039	28	0..555	7	1) NATL INST LASER PLASMA & RADIAT PHYS; 2) INST PHYS CHEM; 3) UNIV BABES BOLYAI
<i>NN 3.2: Nanosenzori</i>	sensors* AND nano*	12380	104	0.84	14	1) UNIV BUCHAREST ; 2) NATL INST MAT PHYS ; 3) NATL INST LASER PLASMA & RADIAT PHYS
<i>NN 3.3 : Tehnologii nano-bio. Nanomedicina</i>	bio* AND nano*	59637	428	0.717	19	1) UNIV POLITEHN BUCURESTI; 2) UNIV BUCURESTI; 3) UNIV BABES BOLYAI
	drug delivery* AND nano*	13908	80	0.575	9	1)UNIV POLITEHN BUCURESTI; UNIV MED&PHARM I HATEGANU; 2) PETRU PONI INST MACROMOL CHEM;

						3) UNIV BUCURESTI
<b>NN 3.4:</b> <i>Aplicatiile materialelor nanostructurate in domeniul stocarii si conversiei energiei</i>	hydrogen* AND nano*	29838	103	0.345	15	1) NATL INST MAT PHYS ; 2) UNIV BUCHAREST ; 3) NATL INST RES & DEV ISOTOP & MOL TECHNOL
	nano* AND solar cell* OR photovoltaic*	22190	104	0.468	14	1) UNIV POLITEHN BUCURESTI; 2) NATL INST MAT PHYS ; 3) UNIV BUCHAREST ;
	led* AND nano*	7945	38	0.478	8	1) PHYS CHEM INST; 2) UNIV POLITEHN BUCURESTI; 3) ALEXANDRU IOAN CUZA UNIV; GH ASACHI UNIV; NATL INST MACROMOL CHEM PETRU PONI
	biomass*AND nano*	1186	2	0.168		1) NATL INST MAT PHYS ; 2) UNIV BUCHAREST ;
	fuel cell* AND nano*	7292	28	0.384	6	1) NATL INST MAT PHYS ; 2) UNIV BUCHAREST ; 3) UNIV BABES BOLYAI
	battery* AND nano*	5389	15	0.278	7	1) NATL INST MAT PHYS ; 2) UNIV BABES BOLYAI; 3) NATL INST RES & DEV ISOTOP & MOL TECHNOL
	supercapacitors* AND nano*	1242	8	0.644	5	1) NATL INST MAT PHYS; 2) NATL R&D INST MICROTECHNOL IMT BUCURESTI
	thermoelectric* AND nano*	1602	6	0.374	3	1) NATL INST MAT PHYS ; 2) UNIV BUCHAREST ; 3) NATL INST RES & DEV ISOTOP&MOL TECHNOL
	transport* AND nano*	29597	162	0.547	15	1) NATL INST MAT PHYS ; 2) UNIV BUCHAREST ; 3) NATL INST RES & DEV ISOTOP&MOL TECHNOL
	transfer energy* AND nano*	9398	30	0.319	11	1) NATL INST LASERS PLASMA & RADIAT PHYS ; 2) ALEXANDRU IOAN CUZA UNIV; NATL INST RES & DEV ISOTOP & MOL TECHNOL; PHYS CHEM INST; UNIV BABES BOLYAI; 3) TECH GH ASACHI UNIV.



Prezenta diferitelor institute de cercetare si unversitati situate pe primele trei locuri ale fiecarui subiect al temei

Figura 1

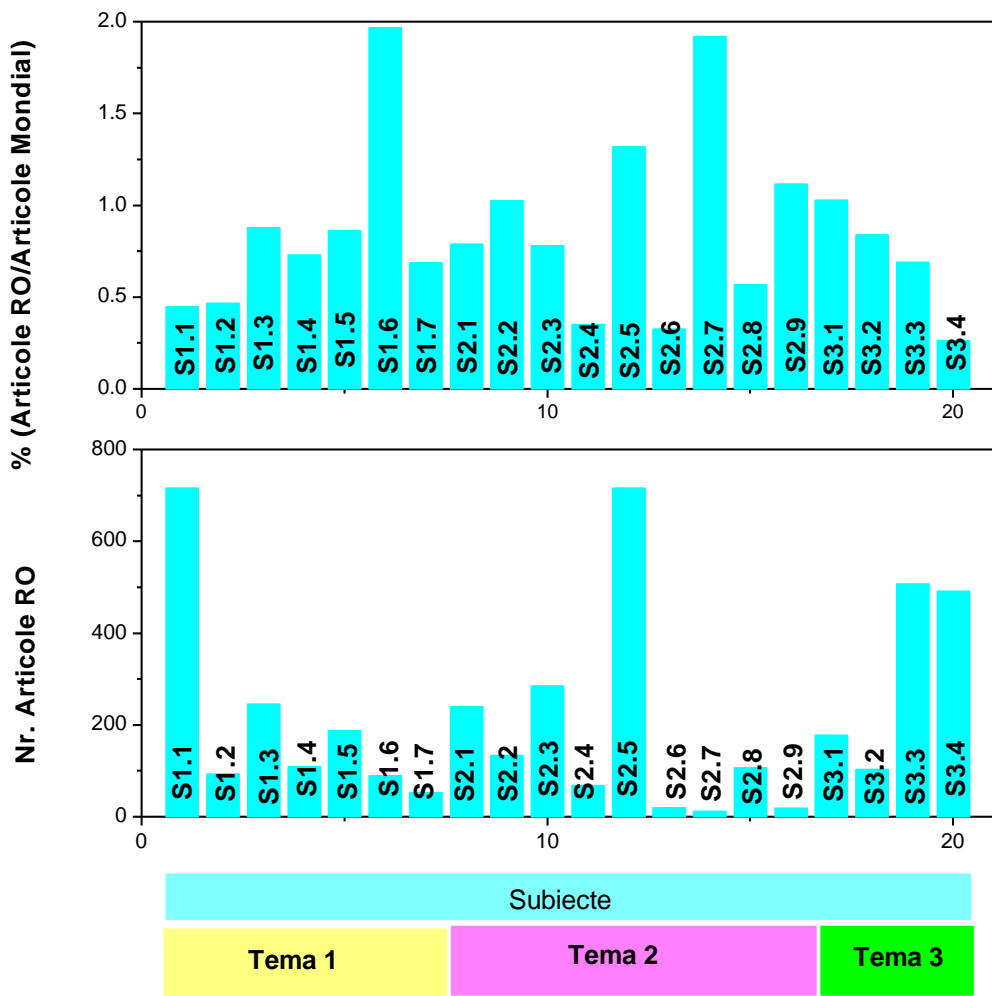


Figura 2



## III.6 OPTICĂ ȘI FOTONICĂ

Optica-fotonica este definita ca acel domeniu al științei și ingineriei care cuprinde fenomene fizice și tehnologii asociate cu generarea, transmisia, manipularea, detectia și utilizarea luminii. Se extinde în ambele direcții ale părții vizibile a spectrului electromagnetic atât cât aceste concepte se pot aplica. Optica și fotonica joacă un rol extrem de important în creșterea performanței economice și în calitatea vieții în mod particular în următoarele arii: sănătate, mediu, comunicații transporturi, produse de consum.

Provocarile domeniului optica-fotonica în viitorul apropiat includ găsirea de noi materiale pentru laseri, optica nelinara, fosfori, scintilatori, o mai bună cunoaștere a fenomenelor noi care apar la interacția pulsurilor laser de mare intensitate cu materia, studierea de noi procese optice la nivel micro și nano, dezvoltarea de aplicații în domeniile de perspectivă (biofotonica, comunicații optice etc). Cercetările de frontieră în domeniul opticii și fotonicii includ materiale artificial structurate cu proprietăți optice proiectate, creșterea eficienței laserilor până la limita fenomenului fizic, studiul cuplarilor exciton-polariton-fonon, bionanofotonica în materiale organice și inorganice, integrarea de structuri de puncte cuantice cu materiale fotonice în domeniul vizibil și IR, etc.

### III.6.1 Teme și subiecte

#### OP1: SURSE DE FOTONI

##### ❖ OP1.1: Surse coerente de fotoni

State of the art. Datorită varietății, eficienței, domeniului de lungimi de undă sau de putere, laserii cu solid sunt soluția preferată pentru multe aplicații ale laserilor în medicină și biologie, prelucrarea materialelor, monitorizarea mediului, fizica și energia nucleară, apărare etc. Laserii cu solid acopera, prin emisie fundamentală sau modificată prin procese optice nelinare, domenii de lungimi de undă din UV până în domeniul THz, iar regimul temporal se extinde de la emisie continuă la pulsuri ultrascurte în domeniul femtosecundelor. Domeniul de putere al laserilor individuali sau cuplați ajunge la sute de kW în regim continuu sau în pulsuri cu generare liberă sau la puteri de varf de ordinul PW în cazul pulsurilor ultrascurte în timp ce energia per puls poate ajunge la zeci de kJ per fascicul.

Realizări interne și expertiză: Cercetările de laseri cu solid s-au desfășurat cu precădere la INFLPR, în cadrul Lab. Electronica Cuantica a Solidului (cercetări de medii active și laseri cu solid construiți pe baza lor) și în Secția Laseri (laseri cu medii active comerciale). Tematica de cercetare și nivelul de abordare au fost puternic restrânse de politica deficitară în finanțarea cercetării și de investiții la nivel național și de institut. Cercetările de materiale laser și de noi procese de emisie laser au permis priorități și soluții originale, recunoscute de comunitatea internațională. Există expertiză bogată în fizică, tehnologia și caracterizarea mediilor active laser, proceselor de electronica cuantica și în construcția de laseri cu solid sau de instalații specializate cu astfel de laseri.

Obiectivul cercetării: Perfectionarea și dezvoltarea de noi surse coerente de fotoni pe baza rezultatelor recente ale cercetării fundamentale sau în vederea optimizării și abordării de noi aplicații. Accentul principal va viza laserii cu mediu activ solid (medii transparente dopate cu ioni activi laser,

medii semiconductoare pompate optic), in cadrul urmatoarelor directii principale de cercetare: (i) Extinderea si diversificarea domeniilor de lungimi de unda a radiatiei coerente prin procese de emisie directa sau prin conversie nelinara a radiatiei fundamentale; (ii) Cresterea eficientei emisiei; (iii) Controlul regimului temporal al emisiei de la continuu la pulsuri ultrascurte; (iv) Principii si modalitati de scalare in putere sau energie; (v) Controlul calitatii si proprietatilor fasciculelor coerente; (vi) Cresterea gradului de compactizare si simplitate constructiva, robustetii si fiabilitatii; (vii) Asigurarea unui grad sporit de integrare sau cuplare de functii; (viii) Producerea si studierea emisiei haotice a laserilor cu semiconductori; (ix) Reducerea si rationalizarea consumurilor de energie, contributii la realizarea de noi surse de energie (laseri pompati solar, laseri pentru fuziune nucleara); (x) Identificarea de noi posibilitati de aplicare a surselor coerente de fotoni.

#### ❖ **OP1.2: Surse necoerente de fotoni**

Fosfori, puncte cuantice, diode luminescente, lampi cu incandescentă, lămpi cu descărcări în gaze.

State of the art. Fosfori cu conversie superioara (IR-VIS) pentru markeri luminescenti in biologie si medicina (adancime de patrundere mare, toxicitate redusa, elimina efectul daunator al radiatiei UV utilizate in markerii clasici). Fosfori cu conversie superioara pentru imbunatatirea randamentului celulelor fotovoltaice cu siliciu (se recupereaza o parte din radiatia solara neutilizata). Fosfori pentru conversia luminii UV sau albastre emise de LED-uri in lumina alba. Fosfori eficienti pentru diferite tipuri de afisaje.

Problematica. Perfectionarea și dezvoltarea de noi surse necoerente de fotoni pe baza rezultatelor recente ale cercetării fundamentale și sau în vederea optimizării și abordării de noi aplicații. Extinderea și diversificarea domeniilor de lungimi de undă a radiației necoerente prin procese de emisie directă sau prin conversie inferioară sau superioară a radiației fundamentale. Creșterea eficienței emisiei. Abordarea unor noi clase de materiale.

Directii de cercetare. A) Creșterea eficienței de emisie a fosforilor cu conversie superioară pentru aplicații în biologie și medicină: lărgirea bazei de materiale gazdă prin includerea altor medii parțial dezordonate.

Motivația: obținerea unor nanofosfori eficienți utilizabili ca markeri biologici. Scop: îmbunătățirea metodelor de diagnostic. B) Fosfori cu conversie superioară pentru îmbunătățirea randamentului celulelor fotoelectrice: obținerea de fosfori eficienți pentru conversia radiației solare neutilizate în radiație absorbită eficient în celulele fotovoltaice cu siliciu. Motivația: Creșterea randamentului celulelor fotovoltaice cu siliciu. Scop: surse regenerabile de energie electrică. C) Obținerea unor fosfori eficienți pentru realizarea diodelor luminescente cu emisie în alb pentru iluminatul public. S-au încercat multe combinații gazdă / dopanți pentru obtinerea luminii albe urmarind imbunătățirea indicelui de redare a culorii prin codoparea fosforilor. Motivația: diodele cu fosfor YAG:Ce sunt sărace în roșu. Scop: calificarea lor pentru iluminatul public cu consecințe extraordinare privind economia de energie și poluarea mediului.

**Obiective pe termen scurt (2012-2014):** obținerea de (nano)fosfori cu conversie superioară cu emisie eficientă în ultraviolet și în infraroșu apropiat pentru aplicații în biologie și medicină, creșterea eficienței unor catalizatori, epurarea apelor utilizate; obținerea de noi fosfori cu conversie

superioară infraroșu-vizibil; obținerea de fosfori eficienți pentru conversia radiației solare neutilizate în radiație absorbită eficient în celulele fotovoltaice cu siliciu.

**Obiective pe termen mediu (2015-2020):** Obținerea de noi fosfori eficienți pentru iluminatul public cu indice de redare a culorilor îmbunătățit. Creșterea eficienței unor catalizatori prin asocierea lor cu fosfori cu emisie în UV cu aplicații în epurarea apelor uzate.

Experiza: INFLPR, INCDFM, 'Raluca Ripan' Inst. Cerc. Chimice Cluj-Napoca, Univ. Vest Timisoara, Univ. Babes-Bolyai Cluj-Napoca.

## **OP2: OPTICA NELINIARA, INFORMATIONALA SI CUANTICA**

State of the art: Metode neliniare puternice de manipulare a luminii (modificarea și controlul lungimii de unda, duratei pulsurilor, fazei și proprietăților statistice). Dispozitive de comutație, procesare și stocare pentru calcul optic, spectroscopii de înaltă precizie, microscopii multifotonice de înaltă rezoluție. Scenarii puternic neliniare și foarte complexe pentru optica neliniara extrema în câmpuri intense (pulsuri de femto și attosecunde). Controlul proprietăților neliniare prin nanostructurare. Dinamica neliniara complexa, solitoni optici. Protocoale de comunicare cuantica în sisteme cu fibre optice. Memorii cuantice. Surse de fotoni singulari corelați.

Realizări interne: Modelarea existenței, generării, stabilității solitonilor optici spațiali și spatio-temporali, generarea și caracterizarea experimentală a solitonilor și a ghidurilor solitonice în medii neliniare, modelarea unor procese neliniare dinamice complexe. Modele teoretice și experimente complexe în mixajul undelor laser, generarea de armonici, procese neliniare în materiale fotonice avansate, laseri în medii aleatoare, difuzii stimulate. Demonstrarea creșterii și controlului răspunsului neliniar prin nanostructurare. Dezvoltarea de metode holografice de măsură. Modele teoretice în studiul fenomenelor cuantice disipative, corelării cuantice, procesării și transmiterii informației cuantice. Funcții termodinamice ale fotonilor în cavități cu invarianți adiabatici mici.

Expertiza: INFLPR, IFIN HH, UB, UPB, IMT, Inst. Chim. "Petru Poni", INFM.

### **❖ OP2.1. Procese, materiale și structuri optice neliniare și metode de caracterizare**

Motivație: Dezvoltarea fizicii fundamentale a interacției neliniare a luminii cu mediile optice.

Directii de cercetare: Procese optice neliniare de diverse ordine, în materia condensată, fluide și plasmă, în volum și la interfețe. Noi materiale și structuri optice avansate pentru fotonica neliniara. Metode de caracterizare a neliniarităților optice.

Obiective (scop): Modelarea și investigarea experimentală a unor procese neliniare în conversia de frecvență, solitoni, mixajul de unde laser, structuri optice dinamice, neliniarități de ordin înalt, difuzii stimulate, neliniarități în medii active, optica neliniara în câmpuri ultraintense. Dezvoltarea de noi materiale și structuri optice cu proprietăți neliniare îmbunătățite și controlabile. Dezvoltarea unor metode de caracterizare a răspunsului optic neliniar (Z-scan, mixaj de unde, spectroscopii).

## ❖ OP2.2: Functionalitati optice neliniare

Motivatie: Utilizarea interactiei lumina-nanostructuri in noi functionalitati fotonice miniaturizate.

Directii de cercetare: Functionalitati fotonice de ghidare, divizare, cuplare, limitare, comutare, modulare, interconectare, senzori optici, etc.

Obiective (scop): Modelarea si demonstrarea experimentală a unor functionalitati fotonice noi sau imbunatatite, cu aplicatii in dispozitive optice performante, integrabile cu tehnologiile electronice.

## ❖ OP2.3: Propagarea, procesarea si stocarea optica a informatiei

Motivatie: Cresterea rolului fotonicii in tehnologiile comunicatiilor si informatiei.

Directii de cercetare: Propagarea in ghiduri de unda induse de lumina sau prin alte metode. Ghiduri neliniare. Rețele induse in ghiduri. Propagarea prin medii neomogene si corectarea aberatiilor. Procesarea optica a informatiei: metode holografice, mixaj de unde, conjugarea fazei, transformari matematice, corelatie, amplificare, modulare, multiplexare, comutare, calcul optic, afisare 3D, optica difractiva. Stocarea holografica si 3D, in camp apropiat, super-rezolutie.

Obiective (scop): Modelarea teoretica si investigarea experimentală a proceselor, structurilor si sistemelor optice liniare si neliniare implicate in propagarea, procesarea si stocarea optica a informatiei cu aplicatii in functionalitati si dispozitive fotonice cu paralelism masiv, ultra-rapide, cu densitati mari de stocare, integrabile cu sistemele de procesare digitala a informatiei.

## ❖ OP2.4: Optica si informatia cuantica

Motivatie: Dezvoltarea cunoasterii si utilizarii potentialului luminii in comunicatiile cuantice.

Directii de cercetare: Teoria informatiei cuantice. Comunicatii cuantice si criptografie. Procese si sisteme cuantice cu un singur foton.

Obiective (scop): Generarea, caracterizarea si utilizarea starilor comprimate, corelate si altor stari neclasice ale luminii. Noi algoritmi si protocoale in comunicatiile cuantice si implementarea lor.

Noi materiale, platforme si dispozitive pentru procesarea informatiei cuantice.

## OP3: MICRO- SI NANO-FOTONICA

State of the art: Marirea si controlul raspunsului neliniar prin nanostructurare, functionalitati fotonice ultraminiaturizate pentru tehnologia informatiei, surse de fotoni, senzori, optica cuantica. Solitoni si micro-structuri optice dinamice complexe. Spectroscopii imbunatatite, senzori bio-chimici femtomolari, manipularea complet optica, nano-ghidarea plasmonica. Microcavitati rezonante cu factori de calitate inalti si functionalitati fotonice integrate bazate pe cristale fotonice. Metamateriale (MM) avansate si cu refractie negativa in IR apropiat.

Realizari interne: Modelarea teoretica si studiul experimental al proprietatilor optice ale unor materiale semiconductoare nanostructurate aleator (Si poros) si periodic – Si-pe-izolator (SOI). Demonstrarea cresterii raspunsului nelinier in SOI, datorita confinarii campului electromagnetic si in puncte cuantice de CdTe, datorita confinarii cuantice. Demonstrarea de functionalitati neliniare, complet optice bazate pe puncte cuantice. Controlul rezonantelor plasmonice prin marimea si forma nanoparticulelor. Modelarea propagarii campului electromagnetic in nanostructuri si MM.

Expertiza: INFLPR, IFIN-HH, INFM, IMT, UB, UBB, UPB, UAIC, ULBS, ITIM.

#### ❖ **OP3.1: Interactiunea lumina-materie la scara nano – procese liniare si neliniare**

Motivatia: Dezvoltarea cunoasterii aspectelor fundamentale ale interactiei luminii cu materia structurata la nivelul lungimii de unda si sub-lungimea de unda.

Directii de cercetare: Procese optice liniare si neliniare in materiale fotonice micro- si nano-structurate. Materiale si nanostructuri artificiale avansate pentru fotonica. Metode de caracterizare a proprietatilor optice ale nanostructurilor. Procese optice in camp apropiat.

Obiective (scop): Modelarea teoretica si caracterizarea experimentală a proprietatilor optice liniare si neliniare ale micro-si nano-structurilor. Controlul proprietatilor optice prin compozitia, dimensiunile si tipul nano-structurarii, in vederea optimizarii interactiei luminii cu nanostructurile.

#### ❖ **OP3.2: Functionalitati si sisteme la scara micro- si nano- pentru fotonica integrata**

Motivatia: Utilizarea interactiei lumina-nanostructuri in noi functionalitati fotonice miniaturizate.

Directii de cercetare: Platforme cu potential ridicat in fotonica integrata (Si, semiconductori III-V, II-VI, materiale organice si biologice). Functionalitati fotonice pasive si active in micro- si nano-structuri optice avansate. Nano-structurare cu laseri. Manipularea optica la scara micro si nano. Nanostructuri fotonice pentru conversia de energie.

Obiective (scop): Functionalitati fotonice noi sau imbunatatite, acordabile, la nivele mici de putere, ultrarapide, miniaturizate, controlabile optic sau optoelectronic. Detectori si senzori optici selectivi si cu sensibilitate mare. Conversia eficienta de energie utilizand nanostructuri fotonice. Integrarea fotonicii cu nanotehnologiile.

#### ❖ **OP3.3: Plasmonica in structuri metalice sub-lungimea de unda**

Motivatia: Dezvoltarea cunoasterii si utilizarii interactiunii lumina-nanostructuri metalice si hibride in integrarea fotonica-electronica.

Directii de cercetare: Procese de interactie a luminii cu nano-structuri metalice cu diverse forme si distributii spatiale. Sisteme nano-plasmonice hibride si active. Plasmonica neliniara.

Obiective (scop): Modelarea si investigarea experimentală a proprietatilor optice ale nanostructurilor metalice. Propagarea ghidata de nanostructuri metalice. Investigarea interfetelor metal/(dielectric, semiconductor) pentru aplicatii in comunicatii si senzori. Plasmonica ultrarapida. Integrarea structurilor plasmonice cu tehnologiile electronice.

#### ❖ **OP3.4: Cristale fotonice si metamateriale pentru domeniul optic**

Motivatia: Dezvoltarea cunoasterii si ingineriei materialelor artificiale pentru manipularea luminii.

Directii de cercetare: Cristale fotonice liniare si neliniare. Metamateriale (MM) fotonice compozite, neliniare, cu indice de refractie negativ, active.

Obiective (scop): Modelarea si caracterizarea proprietatilor optice ale MM fotonice compozite refractie negativa, in functie de compozitie si structura. Conceperea si realizarea de cristale fotonice si MM cu proprietati optimizate pentru functionalitati fotonice in diferite domenii spectrale.

#### **OP4: PROCESE ULTRARAPIDE, PROCESE IN CAMP FOTONIC INTENS, LASERI DE MARE PUTERE**

State of the art: Sistemele laser cu pulsuri ultrascurte sunt o tehnologie emergenta cu un potential revolutionar prin aplicatiile posibile: permit realizarea, in mod controlat, a unor campuri electrice si magnetice uriase imposibil de realizat prin alte metode. Beneficiind de astfel de campuri electrice si magnetice, pot fi realizate surse de radiatie de cele mai diverse tipuri (radiatie de la domeniul THz pana la raze X si gamma, electroni accelerati ultrarelativist, protoni si ioni accelerati, neutroni, si altele mai exotice, cum ar fi pozitronii). Aceste surse de radiatie sunt pulsate si au avantajul ca durata de puls este de ordinul femtosecundelor; ele au o gama foarte larga de aplicatii in stiintele naturii si vietii, de la medicina si pana la inginerie.

Realizari interne: In Romania exista sisteme laser cu pulsuri ultrascurte cu rata de repetitie in domeniul MHz si energii mici pe puls, in domeniul nJ, sistem cu rata de repetitie de 2 KHz si pulsuri de pana la 0.6 mJ si sistem la 10 Hz cu pulsuri de pana la 300 mJ. Este in curs de achizitionare un laser de un PW cu pulsuri de pana la 25 J pe puls la o rata de repetitie de 0.1 Hz (state of the art la nivel mondial). Se fac demersurile pentru demararea proiectului ELI-NP (sistem cu doua brate a 10 PW fiecare). In Romania s-au realizat activitati novatoare privind producerea, manipularea si masurarea pulsurilor laser la facilitatile laser existente bazate pe know-how-ul existent in Romania.

Au fost realizate cu succes experimente de generare a radiatiei electromagnetice folosind pulsuri laser ultraintense; in particular, radiatii THz (folosind sisteme oscilator laser), ultraviolet si raze X moi. In particular s-a obtinut un laser cu raze X moi bazat pe plasma de Zirconiu.

Pentru accelerarea de particule, experimente de fizica nucleara indusa cu laserul, fuziune asistata de laser si materie densa fierbinte (Warm Dense Matter) se afla in curs de realizare (pana in 2013) facilitatea Centrul de Tehnologii Avansate cu Laser care va avea un laser de 1PW si include o zona experimentală cu radioprotectia necesara realizarii unor astfel de experimente. De asemenea, o facilitate europeana de 20PW se va construi in viitorul apropiat la Magurele, facilitate care da un impuls puternic cercetarilor de laseri de mare intensitate.

Expertiza: INFLPR, UB, UBB, UPB, UAIC, ITIM, ISS, IFIN-HH

#### ❖ **OP4.1: Generarea, manipularea si diagnoza campurilor laser ultracurte si ultraintense**

Motivatia: Sa dezvolte si sa consolideze expertiza romaneasca privind laserii pulsati ultraintensi pentru a facilita dezvoltarea unor tehnologii emergente ieftine pentru societate in cadrul S2, S3 si S4.

Scop: Teorie, simulari, experimente, privind producerea, manipularea si masurarea pulsurilor laser.

#### ❖ **OP4.2: Generarea de campuri electromagnetice secundare in intreg domeniul spectral, de la radiatie THz la raze X si gamma, pulsuri de attosecunde si aplicatii**

Motivatia: Acumularea de know-how pentru transfer catre industrie a campurilor electromagnetice produse cu laserul.

Scop: Realizarea unor surse bazate pe generare de armonici de ordin superior in gaze sau pe tinte solide, cu perspectiva crearii unor pulsuri electromagnetice de durata in domeniul attosecundelor. Dezvoltarea metodelor de generare, caracterizare si a aplicatiilor (in principal de imagistica) utilizand aceste surse in intreg domeniul spectral. Extinderea domeniul spectral disponibil catre zona de gamma, prin imprastiere Compton pe fascicule de electroni ultrarelativisti in cadrul facilitatii ELI-NP, pana la 15 MeV pe cuanta.

#### ❖ **OP4.3: Producere si accelerare de particule: electroni/ protoni/ neutroni/ ioni, si aplicatii**

Motivatia: Acumularea de know-how pentru transfer catre industrie a surselor de radiatie produse cu laserul.

Scop: Producerea, caracterizarea si utilizarea particulelor produse cu laserul in diferite aplicatii.

#### ❖ **OP4.4: Fuziune asistata de laser, fizica interactiei laser-materie in conditii extreme**

Motivatia: Dezvoltarea unui centru de cercetare unic la nivel mondial: ELI-NP

Scop: Studii de fuziune asistata laser si de interactie laser-materie in conditii extreme.

### **OP5: BIOFOTONICA, TEHNOLOGII OPTICE DE MONITORIZARE A MEDIULUI, PROCESE DE INTERACTIE CU MATERIALELE**

State of the art: Directia este inter-/multi-disciplinara. Biofotonica: va evolua exploziv pe termen mediu si lung incluzand cercetari de interactie a radiatiei laser cu biosisteme si dezvoltarea de tehnologii/aparate noi pentru aplicatii biomedicale de laborator si/sau clinice, cu accent pe nanomedicina, imagistica optica medicala si farmacologia moleculara clinica. Va fi materializat in practica clinica conceptul de adaptare a tratamentelor medicamentoase la structura genetica a fiecarui agent patogen si a fiecarui pacient. Tehnologiile optice de monitorizarea mediului: dezvoltarea de echipamente laser noi pentru monitorizarea urmelor de poluanti in mediu (aer/apa/sol/biosfera); metode laser pentru controlul calitatii alimentelor; utilizarea caracterizarii globale a poluarii mediului masurata de organisme internationale de supraveghere transfrontaliera; metode fotonice de producere a energiei curate cu sisteme integrate de celule solare pe pamant sau in spatiul cosmic apropiat. Procese de interactie cu materialele: metode laser in fizica materialelor si a suprafetei la interactia fasciculelor pulsate ns, ps, fs cu tinte metalice/nemetalice/organice/

anorganice; interactia fasciculelor laser cw cu tinte pentru producerea de efecte controlate de mare precizie si reproductibilitate; studierea si caracterizarea de quantum doturi in conditii si medii variabile; aplicatii in tehnologiile neconventionale terestre si in spatiul cosmic, biomedicina si chimie avansata.

Realizari interne: Cercetarile de biofotonica au dus la obtinerea de rezultate de pionierat pe plan mondial in: obtinerea de medicamente modificate cu fascicule optice/laser si utilizarea lor in cazurile de dezvoltare a rezistentei multiple la tratament (exemple: tulpini de Staphilococcus Aureus si E-coli rezistente la tratament, tesuturi tumorale), generarea de micro/nanopicuturi simple sau structurate ca vectori pentru transportul medicamentelor la tinte, producerea de micro si nanopicuturi cu continut controlat prin interactie cu fascicule laser, producerea de spume cu continut medicamentos prin interactie rezonanta si nerezonanta a solutiilor in volum mare sau in picaturi, cu fascicule laser. Tehnologiile optice de monitorizarea mediului dezvoltate in tara includ: punerea la punct de metode de spectroscopie laser (absorbție, LIF, LIP, Raman, FTIR, optoacustica, LIBS, CRDS etc) cu care se masoara urmele de poluanti in aer, ape, sol si biosfera, participarea la platforme de tip Food for Life finantate de EU in colaborare cu institutii active in stiinta alimentatiei, participarea la activitati si proiecte transfrontaliere de masurare a gradului de poluare a mediului cu mijloace optice, dezvoltarea de componente ale sistemelor de producere a energiei pe baza de radiatie solara. In interactia fasciculelor laser cu materialele s-a realizat: procesarea in volum sau pe suprafata a materialelor solide prin interactie cu fascicule laser pulsate de durata ns, ps,fs, studierea proceselor de fizica suprafetei in camp de radiatie laser si in atmosfera/conditii controlate si dezvoltarea de aplicatii tehnologice industriale si biomedicale, obtinerea si studierea de quantum doturi.

Expertiza: INFLPR, INFM, INOE 2000, ITIM, IFIN-HH, UBB, UPB, UB, UAIC.

#### ❖ **OP5.1: Biofotonica**

##### 1.1 Metode laser in nanomedicina

###### 1.1.1. Instrumente analitice

###### 1.1.2 Nanomateriale si nanodispozitive

###### 1.1.3 Noi sisteme terapeutice

###### 1.1.4 Noi sisteme de livrare a medicamentelor

##### 1.2 Imagistica optica medicala

##### 1.3 Farmacologia moleculara clinica

#### ❖ **OP5.2: Tehnologii optice de monitorizarea mediului**

##### 2.1 Echipamente laser de ultima generatie pentru monitorizarea poluarii mediului

###### 2.1.1 Metode/echipamente pentru masurarea urmelor de poluanti in aer/apa/sol/biosfera

###### 2.1.2 Caracterizarea de la distanta a poluarii mediului prin cercetari transfrontaliere



- 2.1.3. Metode/echipamente de detectare rapida, in situ, a agentilor patogeni
- 2.2 Metode/echipamente laser de masura a contaminarii cu poluanti a alimentelor
- 2.3 Metode laser pentru pastrarea calitatii alimentelor locale traditionale.
- 2.4 Metode fotonice de producere a energiei cu sisteme pe pamant/in cosmos

❖ **OP5.3: Procese de interactie cu materialele:**

- 3.1 Interactia fasciculelor ns, ps, fs cu tinte pentru aplicatii tehnologice avansate.
- 3.2 Interactia fasciculelor cw cu tinte pentru producerea de efecte reproductibile
- 3.3 Producerea/studierea/caracterizarea de quantum doturi in conditii variabile
- 3.4 Prelucari avansate de suprafete metalice cu fascicole laser in domeniul nm
- 3.5 Materiale hibride inteligente de tip organic/anorganic asistat de fascicole laser
- 3.6 Fizica suprafetei in camp laser: aplicatii in tehnologii terestre, cosmos, biomedicina, chimie

## III.6.2 Impact

Cercetarile prevazute vor mentine pozitia avansata in acest domeniu pe plan mondial. In conditiile unei finantari corespunzatoare, care sa permita dezvoltarea cercetarilor aplicative, va fi posibila abordarea valorificarii prin activitati productive. Se creeaza facilitati de nivel mondial pentru generarea, manipularea si diagnoza campurilor laser ultracurte si ultraintense care vor permite experimente multidisciplinare la care sa participe echipe de cercetare romanesti si internationale. In domeniul biofotonicii se vor dezvolta noi metode, tehnologii si sisteme laser care permit o abordare principial noua, cu puternic impact social in domeniul luptei impotriva rezistentei dezvoltate de bacterii, la tratamente multiple. Se vor dezvolta tehnici si metode optice de manipulare a medicamentelor, noi generatii de aparate laser pentru monitorarea poluarii mediului, cu puternic impact social, si va fi abordata problematica controlului de calitate al alimentelor (lichide, solide, moi) cu metode laser. Se vor extinde aplicatiile doturilor cuantice la tehnologii industriale si biomedicale de varf, inclusiv pentru materializarea conceptului de lab-on-a-chip sau sisteme optico-spectrale-on-a-chip. Se creeaza resursa umana cu expertiza transferabila in industria high tec.

## III.6.3 Analiza SWOT

*Strengths:* - Existenta unor grupuri de performanta cu experienta complexa pe intreg spectrul de activitati

*Weaknesses:*

- finantare deficitara, nesistematica;

- politica de investitii in infrastructura pentru cercetare foarte deficitara si neechilibrata, care nu stimulează dezvoltarea cercetarilor proprii de laseri si favorizeaza achizitii de laseri din strainatate;
- lipsa unei politici de finantare pe termen lung a unor teme de cercetare si a valorificarii practice a rezultatelor acestora;
- inexistenta unor companii romanesti puternice cu profil in domeniul opticii si sistemelor laser.

*Opportunities:*

- dezvoltarea puternica a domeniului si aplicatiilor sale pe plan mondial;
- proiectul CETAL si proiectul ELI;
- participarea la programe de cercetare in cooperare internationala;

*Threats:* -dezvoltarea mult mai rapida a domeniului in alte tari din toate categoriile (dezvoltate sau emergente – USA, EU, Japonia, China etc) atat prin politica de finantare a Statului cat si prin cerintele industriei

### III.6.4 Obiective pe termen scurt și mediu

Obiective pe termen scurt (2012-2014):

- finalizarea proiectelor de investitii în infrastructura de cercetare, aflate în curs, in special a proiectului Centru de Tehnologii Avansate cu Laser (CETAL) care va oferi baza materiala pentru experimente ce folosesc laseri de clasa PW;
- formarea de echipe multidisciplinare pentru exploatarea eficienta a investitiei CETAL;
- formarea de parteneriate internationale care sa asigure dezvoltarea tematicilor de cercetare de nivel mondial in domeniul interactiei pulsurilor laser ultraintense cu materia asigurand astfel dezvoltarea resursei umane romanesti pentru viitoarele experimente ELI.

Obiective pe termen mediu (2015-2020):

- realizarea unui mediu de cercetare (finantare , management stiintific) flexibil care sa se adapteze cat mai usor la noile idei atat in cercetarea fundamentala cat si aplicativa;
- realizarea unui parteneriat institute de cercetare – unități de învățământ cu o strategie de formare, motivare si stabilizare in Romania a cercetatorilor tineri cu mare potential;
- cresterea ponderii cercetarilor aplicative si valorificarea rezultatelor prin transfer tehnologic;
- finalizarea proiectului european ELI-Nuclear Physics;
- incurajarea dezvoltarii de spin-off-uri in domeniu.

### III.6.5 Recomandări

- Recunoasterea opticii si fotonicii la nivel national ca domenii prioritare ale cercetarii stiintifice si dezvoltarii tehnologice („In september 2009 the European Commission designated photonics as one of five key enabling technologies for our future prosperity. This signifies not only the economic importance of photonics, but its potential to address what have been called the 'grand challenges' of our time” – Photonics 21).
- Stabilirea de programe de cercetare-dezvoltare la nivel national in optica si fotonica, pe termen mediu si lung si sustinerea lor printr-o finantare care sa permita abordarea sistematica a cercetarii si dezvoltarea cercetarilor fundamentale si aplicative;
- Politica de investitii in infrastructura conform rezultatelor si potentialului echipelor de cercetare;
- Facilitatile de interes national gestionate in cadrul institutelor de cercetare sa primeasca finantare conform tematicii de cercetare;
- Accesul institutional al cercetatorilor la literatura de specialitate din domeniu;
- Cresterea numerica, dezvoltarea si motivarea resursei umane cu inalta calificare in optica, fotonica si domeniile conexe.

### III.7 FIZICA PLASMEI

Plasma, cunoscută și ca a patra stare de agregare a materiei este alcătuită din electroni și ioni liberi, fotoni și particule neutre care, macroscopic, se prezintă ca un sistem neutru din punct de vedere electric, cu proprietăți determinate de interacțiunile electromagnetice atât dintre particulele componente cât și dintre acestea și câmpurile electromagnetice exterioare. Înafara materiei întunecate (Dark matter) plasma reprezintă forma sub care se găsește cea mai mare parte a materiei din universul cunoscut. Din acest punct de vedere cunoașterea proprietăților plasmei reprezintă o contribuție fundamentală la cunoașterea lumii materiale din care facem parte.

Domeniul fizicii plasmei este prin excelență interdisciplinar și are un potențial aplicativ excepțional. Exemplul edificator este plasma de interes termonuclear care poate oferi soluția ideală pentru necesarul de energie prin: i) siguranța în exploatare a instalațiilor de producere, ii) poluare practic neglijabilă și iii) „combustibil” practic nelimitat. Știința și tehnologia actuală se află în fața celui mai mare proiect de colaborare internațională, care reunește cele mai dezvoltate state ale lumii, care are drept scop realizarea sistemelor de producere a energiei electrice din energia nucleară prin controlul reacțiilor de fuziune a nucleelor izotopilor hidrogenului (proiectul ITER). Pe de altă parte, starea de plasmă se află la baza celor mai moderne tehnologii utilizate în electronică și microelectronică, în sinteza de materiale noi și de structuri la scară nanometrică, în tratamente pentru obținerea unor proprietăți speciale de biocompatibilitate, funcționalizare sau durificare a suprafețelor. Plasma constituie mediul activ din laserii de mare putere și constituie, de asemenea, mediul activ din sursele de iluminat cu randament mare de transformare a energiei electrice în energie luminoasă. Monitoarele actuale de afișare a informației pe ecrane de suprafață mare folosesc de asemea plasma (plasma display). Plasma este generată la interacția radiației laser de mare energie cu substanța aflată în diferite stări de agregare. Dispozitive cu plasmă sunt folosite în sistemele moderne de depoluare a apelor reziduale sau în filtrele active de purificare a aerului. Așa numitele tehnologii uscate de sterilizare a echipamentelor și ustensilelor chirurgicale precum și sterilizarea unor suprafețe de întindere mare și neregulate au ca mediu activ plasma de temperatură joasă. Toate aceste aplicații tehnologice asigură, în prezent, o producție industrială a cărei sumă de afaceri depășesc zece trilioane de dolari pe an.

În România studiul gazelor ionizate, respectiv a plasmei se bucură de o tradiție recunoscută internațional existând adevărate școli în domeniu în două centre universitare, București și Iași. Aceste școli au fost fondate de E. Bădărău, I.I. Popescu și G. Musa la București și Th. Ionescu, C. Mihul și M. Sanduloviciu la Iași. Dar, cercetări în domeniul plasmei au fost efectuate și se realizează în prezent și în Universitățile din Cluj, Timișoara, Constanța, Craiova și Brașov. Sunt cunoscute internațional contribuțiile aduse de fizicienii români în studiul stabilității plasmei și a fenomenelor de transport în plasmă magnetizată din instalațiile de fuziune termonucleară. Rezultate notabile au fost obținute de fizicienii români în dezvoltarea tehnologiilor de iono-nitrurare și în acoperirile cu materiale de interes în fuziunea nucleară (wolfram, beriliu și/sau carbon) a componentelor folosite la JET în cadrul proiectului EURATOM. Contribuții importante au fost aduse de fizicienii români la dezvoltarea studiilor privind caracterizarea descărcărilor magnetron pulsate și la caracterizarea și utilizarea plasmei descărcărilor la presiune atmosferică. Sunt de asemenea cunoscute și intrate în fluxul principal de cunoaștere contribuțiile aduse de cercetătorii români în diagnoza diferitelor tipuri de plasmă și în dezvoltarea de tehnici noi de diagnoză. Ca o recunoaștere a școlii românești de fizică, recent au fost făcuți pași decisivi spre realizarea în țara noastră a laserilor de putere foarte mare în

cadrul unui program european de susținere a domeniilor prioritare de cercetare științifică. O parte importantă a acestui proiect vizează și studiul plasmei generate la interacția radiației laser de foarte mare intensitate cu ținte solide sau de alt gen.

### III.7.1 Teme și subiecte

#### PP1: PLASME PRODUSE PRIN DESCĂRCĂRI ELECTRICE ÎN GAZE LA PRESIUNE JOASĂ ȘI APLICAȚII

În ultimii zece ani în România au fost efectuate studii în subdomeniul plasmelor de temperatură joasă produse în gaze la presiune joasă, sub presiunea atmosferică, în două centre principale: București (INFLPR și Universitățile București și Politehnica București) și Iași (Universitățile "Alexandru Ioan Cuza" și Tehnică "Gh.Asachi", Institututele de Fizică Tehnică și "Petru Poni"). La acestea se adaugă activitățile în domeniu ale unor colective mai mici din Universități și institute de cercetare din Cluj-Napoca, Constanța, Timișoara, Craiova, Bacău și Galați. În total, în ultimii zece ani, la acest subdomeniu au contribuit un număr de 52 de cercetători și cadre didactice universitare, la care se adaugă un număr de 121 de studenți care au realizat lucrările de licență, respectiv dizertație cu subiecte referitoare la producerea, caracterizarea și/sau modelarea plasmelor descărcărilor de diferite tipuri la presiune joasă. De asemenea, au fost activi 6 conducători de doctorat și au fost elaborate și susținute un număr de 18 teze de doctorat în care au fost abordate subiecte referitoare la studiul proceselor elementare (efectul M de monocromatizare a radiației emise de descărcare) și a fenomenelor din volumul plasmei, respectiv la suprafețele ce mărginesc plasmăle unor descărcări la presiuni joase de tip magnetron (fenomenul de histerezis), arc termoionic în vid, descărcări luminescente, respectiv descărcări de radiofrecvență, descărcări de microunde sau descărcări cu catod cavitărilor (ca sistem de pulverizare a materialelor magnetice). O atenție specială a fost acordată studiului fenomenelor nestăționare și al fenomenelor de propagare ale unor unde în plasmăle confinate multipolar sau din regiunile în care se formează straturi de sarcini spațiale și straturi duble (fenomene de auto-organizare în plasmă și fulgerul globular).

O bună parte dintre studiile întreprinse au avut în vedere potențialul aplicativ al acestor plasmăe cu referire la utilizarea lor în depunerile de straturi subțiri metalice și/sau dielectrice, în tratamentele de suprafață și în sinteza de materiale noi sau de structuri noi ale acestora (diamond like și carbon nanowalls). Folosind colaborările internaționale în domeniu au fost dezvoltate și folosite tehnici și metode noi de diagnoză a plasmei (funcții de distribuție al particulelor, LIF), au fost elaborate modele și au fost efectuate simulări ale unor plasmăe complexe cum sunt cele ale descărcărilor magnetron reactiv, respectiv magnetron în regim pulsant. Un rezultat notabil îl reprezintă utilizarea plasmei descărcării magnetron pulsant, respectiv a plasmei TVA în realizarea acoperirilor cu wolfram, respectiv beriliu a componentelor divertorului și al primului perete de la JET. Colaborările internaționale au fost realizate cu specialiști din institute și Universități din Germania, Franța, Anglia, Olanda, Japonia, Slovenia, Belgia, R. Cehă și alte țări. O parte dintre aceste colaborări au avut ca obiective realizarea unor teze de doctorat în cotutelă (6 teze de doctorat cu teme din domeniul plasmelor de temperatură joasă din descărcările la presiune joasă). Rezultatele obținute în studiile întreprinse în ultimii zece ani au fost publicate în reviste cotate ISI, 232 de lucrări științifice și au fost comunicate la numeroase conferințe internaționale de specialitate. În aceeași perioadă a continuat organizarea, la intervale de doi ani, a Conferinței Naționale de Fizica Plasmei și Aplicații (CPPA)

devenind cu timpul o manifestare internațională recunoscută în domeniu. Recunoașterea rezultatelor științifice obținute în domeniu este confirmată de numărul mare de citări din literatura de specialitate (au fost înregistrate 834 de citări).

Principalele subiecte asociate acestei tematici sunt prezentate în continuare.

❖ **PP1.1: Procese și fenomene din plasmă la descărcările în gaze la presiune joasă produse de câmpuri electrice continue, radiofrecvență, microunde sau pulsate și diferite configurații ale electrozilor**

Acest subiect este susținut de nevoia înțelegerii proceselor elementare și al fenomenelor care au loc atât în volumul cât și la suprafețele ce mărginesc plasma unor descărcări electrice la presiune joasă. Scopul acestor studii este acela de a elabora modele care să permită descrierea cantitativă a acestor sisteme și al extinderii aplicațiilor acestora în sinteza materialelor, tratamente de suprafață, surse de radiație sau alte aplicații.

❖ **PP1.2: Generarea, caracterizarea și modelarea plasmei descărcărilor la presiuni joase în câmpuri electrice și magnetice combinate (plasmă magnetron, capcane magnetice, plasmă multielectrodice, excitare la două sau mai multe frecvențe, plasmă reflexă, etc.) produse prin descărcări electrice în gaze nobile și amestecuri de gaze, vapori metalici, vapori organici și organo-metalici, gaze inerte, hidrocarbonice sau fluorurate și amestecuri ale acestora (plasmă reactivă magnetron; arc termoionic în vid, plasmă CVD)**

Plasma de temperatură joasă produsă prin descărcări electrice la presiune joasă necesită încinte închise izolate de mediul extern. Acest lucru face ca plasma și sistemul în care este produsă să facă un tot unitar care trebuie luat ca atare pentru înțelegerea proprietăților plasmei și implicit pentru dezvoltarea aplicațiilor sale. Ca urmare, analizarea fiecărui dispozitiv în parte este o necesitate iar modificările sau adaptările cerute de eventualele aplicații ale dispozitivelor experimentale conduc la nevoia reanalizării sistemului nou obținut. Scopul acestui subiect de studiu este de a înțelege și descrie proprietățile plasmei în interacție cu sistemul în care ea este produsă lucru care face ca acest subiect să cuprindă o diversitate mare de probleme fiecare cu specificul său, funcție și de aplicația specifică a aceluia sistem de producere a plasmei.

❖ **PP1.3: Metode și mijloace de diagnostică și monitorizare a plasmelor descărcărilor produse la presiuni joase (sonde, imaginerie cu rezoluție spațială și temporală, spectroscopie de emisie și absorbție laser, spectrometrie de masă, alte metode)**

O componentă fundamentală în studiul plasmelor o reprezintă diagnosticul ei. Diagnosticul plasmei înseamnă măsurarea parametrilor principali sau a parametrilor de interes specific plasmei analizate. Datorită faptului că, pe de o parte, numărul parametrilor de interes poate fi mare iar, pe de altă parte, domeniile de valori ai acestor parametri sunt foarte largi, există un număr impresionant de metode și tehnici de diagnostică a plasmei. Odată cu dezvoltarea studiilor și ale aplicațiilor plasmei apar aspecte noi și implicit nevoia de a dezvolta metode și tehnici noi de diagnostică. Scopul acestui subiect de studiu este de a oferi dezvoltarea și implementarea de metode și tehnici noi de diagnostică a plasmelor din dispozitivele experimentale utilizate în cercetările de fizică a plasmei și aplicații ale acesteia.

- ❖ **PP1.4: Valorizarea potentialului aplicativ al plasmelor descărcărilor de presiune joasă (interacții plasmă – suprafață; modificarea suprafețelor pentru inginerie, biologie, medicina; depunerea de filme subțiri și sinteza de materiale noi; plasmeele ca surse de fotoni, atomi, molecule, clusteri, nano și microparticule, aplicatii in domeniul iluminatului public - eliminarea mercurului).**

O preocupare majoră a colectivelor de cercetare din domeniul fizicii plasmei din țară o reprezintă găsirea domeniilor și temelor de aplicabilitate a plasmei. Rezultatele obținute până în prezent sunt a bună motivație în continuarea acestor preocupări care se manifestă și în celelalte state europene și nu numai. Scopul acestui subiect este pe de o parte de a extinde studiile aplicative întreprinse până în prezent îndeosebi în domeniile: energetic (participare la programul de fuziune nucleară), depoluare și protecție a mediului, medicină, ingineria materialelor.

## **PP2: PLASME PRODUSE PRIN DESCARCARI ELECTRICE ÎN GAZE LA PRESIUNI MARI, INCLUSIV PRESIUNE ATMOSFERICĂ**

Plasmele produse la presiune atmosferica, cu precadere plasmeele reci sau netermice, constituie un domeniu de cercetare extrem de recent in comparatie cu domeniul traditional al plasmelor produse la presiune joasa. Primele lucrari internationale de rasunet in domeniu dateaza de mai putin de 15 ani. Ultima decada este marcata de efortul comunitatii stiintifice internationale de a extinde domeniul de functionare al descarcarii reci de la presiuni joase la presiuni mari, mentinand cel putin unele dintre avantajele utilizarii presiunilor joase (producerea de specii reactive, temperaturi apropiate de temperatura camerei, extindere spatiala) in conditiile adaugarii unui avantaj major: in productie si exploatare nu este necesara tehnologia vidului.

Obtinerea de plasmee netermice la presiune atmosferica constituie o schimbare de paradigma in fizica si tehnologia plasmei. Este important de remarcat ca cercetatorii romani din domeniul fizicii plasmei au reactionat foarte rapid la aceasta schimbare de paradigma, atfel incat in prezent exista grupuri de cercetare din Romania cu contributii recunoscute la nivel international. In prezent in tara cercetarile de fizica descarcarii in gaze si a plasmei la presiune atmosferica se regasesc in institute nationale si universitati, cele mai reprezentative grupuri de cercetare se gasesc la Institutul National de Fizica Laserilor, Plasmei si Radiatiei, Magurele, in cadrul Laboratorului de Plasma de Temperatura Joasa si Laboratorului de Plasma si Fuziune Nucleara, la Universitatea din Iasi (UAIC), Facultatea de de Fizica, Grupul de Fizica Plasmei, la Universitatea "Babes-Bolyai" Cluj-Napoca, Laboratorul de Plasma Nontermica, Universitatea de Vest din Timisoara, Centrul de Cercetare pentru Materiale Inteligente. Comunitatea fizicienilor din Romania care dezvoltă procedee non-vid bazate pe plasma s-a fondat in urma cu circa 10 ani, pe baza abordarii unor subiecte ale acestei tematici de catre cercetatori care traditional erau implicati in plasmeele de presiune joasa; aceasta comunitate continua sa creasca prin cooptarea si formarea unor specialisti tineri. Personalul de cercetare implicat in cercetarea de plasma la presiune atmosferica cuprinde un număr de 16 cercetători și cadre didactice universitare la care se adugă un număr de 9 studenți la licență și master, respectiv 12 doctoranzi și trei conducători de doctorat.

Trebuie de remarcat ca preocuparile se intind pe o arie larga de probleme, atat de natura fundamentala, cat si aplicativa. Analiza acestor preocupari arata ca ele pot fi grupate in urmatoarele subiecte:

❖ **PP2.1 Plasme la presiuni mari, inclusiv atmosferica, generate cu descărcări electrice cu electrozi in contact cu plasma (procese de generare, caracterizare, modelare)**

Problemele fundamentale aferente acestui subiect sunt legate de faptul ca la presiuni mari intervin fenomene de descarcare noi, in general legate de aparitia instabilitatilor, contractia si filamentarea descarcarii, de faptul ca spre deosebire de plasmale de presiune joasa plasma evolueaza in spatii deschise partial sau total, de faptul ca fenomenele de tranzitie de la plasmale de presiune joasa la cele de presiune inalta sunt necunoscute. In plus, lucru valabil pentru tot subdomeniul, exista o limitare importanta a tehnicilor de diagnosticare, multe dintre ele avand validitate limitate la presiuni mari, exemplul cel mai ilustrativ fiind cel al investigarii prin tehnici de sonde electrice. Elaborarea unor modele ale plasmale adecvate presiunilor mari, atat pentru explicarea fenomenelor cat si pentru asistarea tehnicilor de diagnostica este o necesitate stringenta. Scopul cercetarilor va fi identificarea solutiilor la aceste probleme, rezultatele preconizate avand atat valoare conceptuala (elucidarea unor fenomene noi) cat si experimental - practica (elaborarea unor surse de plasma rece cu electrozi in contact cu plasma).

❖ **PP2.2 Plasme la presiuni mari, inclusiv atmosferica, generate cu descarcari electrice cu bariera de dielectric (procese de generare, caracterizare, modelare)**

Unele dintre problemele mentionate la punctul anterior sunt intalnite si la acest subiect, dar existenta barierei introduce particularitati noi. Plasma este separata total sau partial de electrozi prin materiale dielectrice. Apar fenomene de incarcare electrica a barierei si tipul de conductie in spatiul interelectroodic se schimba in comparatie cu cazul descarcarii in care electrozii sunt in contact cu plasma. Prezenta barierei relaxeaza pericolul de contractie a plasmale si tranzitia la regimul termic, apar regimuri specifice multi-filamentar sau de tip descarcare luminiscenta. Dificultatile in diagnostica si modelare sunt accentuate de prezenta barierei si de faptul ca plasmale sunt obligatoriu tranziente. Scopul cercetarilor va fi elucidarea fenomenelor legate de prezenta barierei, caracterizarea plasmelor, identificarea solutiilor pentru controlul si monitorizarea acestor plasmale, elaborarea de surse de plasma bazate pe descarcari cu bariera de dielectric.

❖ **PP2.3 Fenomene fizice asociate aplicarii plasmelor la presiune atmosferica in biologie, medicina, mediu**

Starea de existenta a plasmelor in conditii de non-vid a deschis un camp imens si foarte original de aplicatii, aflat acum abia la inceputurile sale. Plasma rece in conditii de non-vid poate fi aplicata entitatilor biologice diverse, organismelor, celulelor, moleculelor biologice. Plasma rece poate fi aplicata solutiilor lichide, polimerilor, functioneaza in conditii de submersie, poate fi controlata sa interactioneze cu mediul ambiant. A aparut astfel o stiinta, in curs de definire, a interfetelor plasma -organism viu, plasma-entitati biologice, plasma-lichide. Romania se afla in situatia favorabila ca a realizat deja un start bun in acest subiect și care trebuie continuat cu o sustinere corespunzatoare. Cercetarile se vor focaliza pe studiul fenomenelor specifice interfetelor mentionate, cu reflex direct in aplicatii medicale, biologie, depoluarea mediului, dar si pe elborarea unor dispozitive bazate pe plasma capabile sa sustina o astfel de cercetare.



#### ❖ **PP2.4 Fenomene fizice asociate aplicarii plasmelor de presiune atmosferica in inginerie si tehnologie**

Presiunea continua a tehnologiilor pentru identificarea unor solutii mai robuste si mai ieftine a constituit si constituie unul dintre motivele aparitiei si dezvoltarii continue a tematicii de plasma rece la presiune atmosferica. Scopul cercetarilor este identificarea fenomenelor si elaborarea solutiilor pentru procesarea in conditii de non-vid a materialelor, exemplele reprezentative fiind procesele care conduc la modificarea suprafelor, depunerea controlata de filme subtiri (metalice, ceramice, organice), sinteza unor materiale nanostructurate de interes pentru nanotehnologii, fabricarea si procesarea nanopulberilor, realizarea de dispozitive cu plasma versatile pentru aplicatii. Cercetarile au grad inalt de integrare cu ingineria materialelor.

### **PP3. PLASMA DE INTERES TERMONUCLEAR**

Fuziunea Termonucleara Controlata este si va ramane in perioada urmatoare cel mai important obiectiv de cercetare al omenirii. Reusita fuziunii va schimba radical lumea economica si implicit cea politica, deoarece o sursa sigura si curata de energie, practic nelimitata, reprezinta un ideal devenit in ultimul timp o necesitate urgenta. Cercetarea de fuziune concentreaza la nivel mondial resurse impresionante. Cercetarea de fuziune este privita diferit in comparatie cu alte eforturi de cercetare stiintifica : participarea factorilor politici este directa si energica, cu institutii create special (cum ar fi Directoratul DG K Energy, K4 ITER in Europa) si contand pe un sistem de Acorduri politice la scala planetara, cum este ITER Organization.

Faza in care se afla azi cercetarea de fuziune este decisiva. Ea se caracterizeaza prin distribuirea eforturilor pe doua directii principale: (i) Constructia instalatiei Tokamak de tip reactor termonuclear experimental ITER si pregatirea exploatarei acesteia in conditii care pana acum au fost inaccesibile; (ii) depasirea nivelului de cunostiinte care s-a incorporat in proiectul ITER si avansarea conceptului de reactor catre un nivel superior, realizabil prin instalatia Tokamak DEMO.

Cercetarea Europeana din acest domeniu implica toate tarile membre UE si se desfasoara integrat prin intermediul Asociatiilor Euratom conduse de Directoratul DG K Energy in cadrul acordului multilateral EFDA (The European Fusion Development Agreement). Asociatiile reunesc aproximativ 2500 cercetatori si sunt puternic conectate printr-o retea de colaborari.

Romania a devenit membru cu drepturi depline si a fondat Asociatia Euratom-MEdC pentru Fuziune in anul 1999, mult inainte de integrarea in UE. Asociatia MEdC este un sistem flexibil care cuprinde grupuri din mai multe institute (numarul maxim a fost atins in 2010 cand au participat patru institute nationale, INFLPR, IFIN-HH, ICSI si INFM, si trei universitati, Universitatea din Craiova, Universitatea AI. Cuza din Iasi si Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca). S-a ajuns in 2010 la peste 130 persoane din care cu studii superioare 92 dar care sunt partial implicati in cercetarile de fuziune (aproximativ 30 norme complete).

Strategia EFDA in scopul pregatirii exploatarei potentialului stiintific ITER selecteaza cateva domenii prioritare.

❖ **PP3.1: Fizica turbulentei si a organizarii turbulentei**

Motivatie: Aspecte importante ale proceselor neliniare si ale evolutiei turbulentei in plasma tokamak de interes termonuclear nu sunt intelese (suprimarea turbulentei sau reducerea lungimii de corelatie radiala a turbulentei de drift, formarea curgerilor zonale si a structurilor cuasicoerente).

Scop: Reducerea pierderilor energetice si de particule.

❖ **PP3.2: Fizica regimurilor de confinare inalta (modul H), a barierelor de transport si a rotatiei plasmei**

Motivatie: Intelegerea fizicii pedestalului creat in zona periferica a sectiunii meridionale, datorata modului H ("high confinement") si a conexiunii sale cu rotatia plasmei, a modului de declansare a regimurilor cu confinare inalta si a caracteristicilor sale.

Scop: Conceperea scenariilor pentru atingerea regimului de reactor.

❖ **PP3.3: Fizica componentei electronice in zona centrala a descarcarii**

Motivatie: Componenta electronica devine dominanta in regim de reactor in zona axei magnetice.

Scop: Determinarea regimurilor eficiente din punctul de vedere al reactorului si limitelor instabilitatilor periodice.

❖ **PP3.4: Stabilitatea și moduri MHD în plasma instalațiilor tokamak**

Motivatie: Regimul de functionare al ITER va fi in vecinatatea excitarii unor instabilitati magnetice de scala larga care pot distruge plasma.

Scop: Stabilirea domeniului de parametri si controlul profilului de curent.

❖ **PP3.5: Interacțiunea plasmă-perete și modele integrate**

Motivatie: Cunoasterea eroziunea elementelor primului perete si migrarea materialelor sub forma de impuritati (contaminare si redepunere) este esentiala pentru descarcari de lunga durata.

Scop: Estimarea duratei de viata a reactorului.

❖ **PP3.6: Diagnoza plasmei de interes termonuclear**

Motivatie: Determinarea evolutiei parametrilor plasmei in regim de reactor.

Scop: Controlul in timp real al proceselor.

**PP4: PLASME PRODUSE ÎN CAMPURI OPTICE INTENSE SI ULTRAI NTENSE GENERATE PRIN FOCALIZAREA FASCICULELOR LASER**

Cercetarile din domeniul plasmelor produse în campuri optice intense si ultraintense generate prin focalizarea fasciculelor laser s-au concentrat in ultimii 10 ani, in principal, la Institutul National de Fizica Laserilor, Plasmei si Radiatiilor, Magurele-Bucuresti, Universitatea Tehnica "Gh. Asachi" si Universitatea "Al. I. Cuza" din Iasi.

Personalul implicat in cercetare este de 60 persoane, dintre care 12 doctoranzi, 3 conducatori de doctorat, la care se adauga in fiecare an 4 studenti la diploma si 4 masteranzi.

Colaborarile internaționale au fost realizate cu specialiști din Institute și Universități din SUA, Rusia, Franta, Italia, Elvetia, Danemarca, Spania, Bulgaria, Serbia, Cehia, Israel, Moldova, Grecia si Cipru.

S-au realizat 7 teze de doctorat în cotutela în domeniul generării și aplicării plasmelor laser în opto-, nano-electronica, biologie, medicina, procesarea 3D a materialelor, generare de nanoparticule.

În ultimii 10 ani s-au publicat 307 lucrări științifice pentru care s-au înregistrat 1050 citări.

Principalele subiecte asociate acestei teme sunt prezentate pe scurt în continuare.

- ❖ **PP4.1: Dinamica plasmelor generate laser în regim nano, pico și femtosecunde (dinamica temperaturii, densității și ionizării, unde și instabilități generate în pluma de plasmă, plasma de fuziune, metode de diagnoză, generare de oglinzi cu plasmă)**

Motivație: Elucidarea proceselor fizice implicate în interacțiunea pulsurilor laser de mare strălucire cu materiale solide, lichide, gazoase și cu plasma.

Scop: Evidențierea rolului duratei pulsului laser și stabilirea regimului optim pentru generarea de plasma de temperatură, densitate și ionizare controlate.

- ❖ **PP4.2: Procese și fenomene de generare a fotonilor energetici, a ionilor multiplu ionizați și a fasciculelor de particule la interacția radiației laser de mare intensitate cu ținte solide**

Motivație: Realizarea de surse intense de radiații și particule în domenii spectrale limitate (inclusiv radiații X).

Scop: Generarea de plasmă laser cu emisie intensă de radiații și particule pentru aplicații medicale, în tehnologii de vârf și cercetări avansate de fizica plasmei.

- ❖ **PP4.3: Procese liniare și neliniare în plasmă produse cu radiație laser**

Motivație: Generarea și studiul undelor și instabilităților în plasmă laser.

Scop: Obținerea unei înalte eficiențe de cuplaj a radiației laser în țintele solide, lichide și gazoase și în plasma.

- ❖ **PP4.4: Generarea, caracterizarea și utilizarea plasmelor laser pentru tehnologii (filme subțiri prin „Plasma Laser Deposition”, generare de nanoparticule, analiză prin „Laser Induced Breakdown Spectroscopy”)**

Motivație: Elucidarea proceselor fizice implicate în depunerea laser pulsată și generarea de nanoparticule în medii gazoase și lichide; folosirea plasmei laser în spectroscopia de strâpungere optică.

Scop: Fabricarea de nanostructuri, generarea de nanoparticule și analize LIBS; stabilirea de protocoale pentru analiză spectroscopică a unor nanostructuri.

## **PP5: FENOMENE NELINIARE ȘI PROCES DE AUTOORGANIZARE ÎN PLASMĂ. EXTENSII ALE SISTEMELOR FIZICE CU PROPRIETĂȚI SIMILARE PLASMEI**

Plasma este un sistem statistic cu foarte multe grade de libertate în care interacțiunile dintre particule și fenomenele colective conferă acestei stări de agregare proprietăți speciale. Atât plasma produsă în laborator cât și plasmă naturală sunt sisteme neliniare și disipative, în general instabile, care pot conduce la apariția unor structuri complexe auto-organizate cum ar fi spre exemplu

straturile duble de plasmă. Fiind una dintre problemele complexe ale fizicii plasmei, studiul acestor sisteme de plasmă reprezintă o temă de maximă importanță pentru comunitatea științifică din România și nu numai. Aceste studii prezintă importanță atât din punct de vedere al cercetării fundamentale cât mai ales al cercetării aplicative (plasma de fuziune nucleară). Sistemele complexe auto-organizate multifuncționale și-au găsit aplicații de interes pentru o varietate largă de ramuri ale științei contemporane, cum ar fi, spre exemplu, cel al nanotehnologiilor (obținerea de noi surse ionice la scara nano, etc) sau cel al noilor tehnologii de propulsie spațială cu plasmă („*Helicon Thruster Plasma Double Layers*”). Studiile teoretice și experimentale ale acestor structuri de plasmă prezintă, de asemenea, un interes deosebit pentru înțelegerea fenomenelor fizice legate de dinamica și proprietățile plasmei din magnetosferă. În spațiul cosmic plasmă se pot găsi în stări extreme de la plasmă extrem de rarefiate cu particule magnetizate, cum este cazul plasmelor norilor cosmici, până la plasmă degenerată, super densă din interiorul piticelor albe și probabil a gărilor negre. În natură este dificil de găsit starea de plasmă din modelele teoretice actuale. În mod frecvent plasmă naturală conține, pe lângă electroni, ioni și fotoni, nano și/sau microparticule din diferite materiale care conduc la proprietăți cu totul noi.

Toate aceste elemente precizate mai sus au fost abordate relativ recent de comunitatea științifică internațională și studiile sistematice sunt relativ la început. Din fericire, mai mulți specialiști din țară au abordat cel puțin o parte din problemele precizate și au reușit să obțină rezultate care sunt apreciate de comunitatea științifică internațională. În prezent există deja colective formate în Universitățile din București, Politehnica București, Universitatea „Alexandru Ioan Cuza” și Universitatea Tehnică „Gh. Asachi” din Iași care alături de colective din INFLPR și Institutul de Științe Spațiale din București au publicat un număr de 41 de lucrări științifice cu referire la fenomene de auto-organizare, fenomene și procese neliniare în plasmă, structuri quasi-ordonate în plasma prăfoasă, propulsia spațială cu plasmă, respectiv participări la studiul plasmei din ionosferă.

Aceste preocupări ne conduc la considerarea următoarelor subiecte de interes pentru viitor:

❖ **PP5.1: Autoorganizare în plasmă (structuri de sarcini spațiale, reconectare magnetică)**

Acest subiect este atât de interes fundamental cât și aplicativ, cu rezultate importante de așteptat pentru programul de fuziune nucleară.

❖ **PP5.2: Instabilități, turbulență comportamente stohastice și haotice în plasmă**

Acest subiect are referire directă la plasma de interes termonuclear fiind de maxima importanță și actualitate. Reușita programului de fuziune nucleară ar putea fi determinată, într-o mare măsură, de înțelegerea mecanismelor principalelor instabilități din plasmă magnetizată. Studiul acestor fenomene în plasmă și instalații de laborator de mici dimensiuni, cu costuri reduse, pot contribui substanțial la înțelegerea fenomenelor similare care au loc în instalațiile mari de interes termonuclear sau în plasmă naturală.

❖ **PP5.3: Plasme cu „impurități” (dusty plasmas)**

O problemă sensibilă, întâlnită frecvent în aplicațiile plasmei produse pentru aplicațiile din tehnologia semiconductorilor și a microprocesoarelor, este apariția de impurități sub forma de nano și/sau microstructuri care compromit calitatea produselor. Evitarea producerii acestor artefacte sau îndepărtarea lor este un obiectiv prioritar.

#### ❖ PP5.4: Plasma spațială (space plasma)

Propulsia spațială cu plasmă („*Thruster Plasma*”). Cercetarea diferitelor fenomene de auto-organizare cât și a proceselor neliniare din plasmă, participarea României la programele internaționale de studiu ale ionosferei, ale vântului solar, fizica plasmei aurorale, fizica straturilor frontieră și interfețelor în plasmă spațiale, simulări și modelări pentru procese fizice fundamentale din plasmă spațială sau de diagnoză a plasmei de propulsie spațială (Agenția Spațială Europeană, programe tip PECS. „*Pivoine-ICARE, Orleans, France; GDR-Propulsion par plasma dans l'espace*”) crează premisele inițierii unei noi direcții de cercetare, de interes național, prin dezvoltarea unor tehnologii moderne și a unei baze materiale competitive.

### III.7.2 Impact

Ținând seama de urgențele din domeniile surselor energetice, protecție a mediului și creșterea calității vieții și a sănătății populației, continuarea și dezvoltarea cercetărilor în domeniul fizicii plasmei și a aplicațiilor acesteia se impune ca o necesitate. Starea de plasmă oferă avantaje nete în găsirea unei surse de energie inepizabilă (fuziunea nucleară), sigură și printr-o tehnologie nepoluantă. Impactul acestei tehnologii nepoluante asupra mediului este evident și esențial. Sinteza unor materiale noi și tratarea, prin procedee „uscate” și nepoluante a materialelor existente pentru diferite scopuri practice, mai ales în domeniul biologiei și medicinei, constituie de asemenea un avantaj net al materiei în stare de plasmă. Experiența câștigată până în prezent și dezvoltarea școlilor de fizica plasmei existente reprezintă o garanție pentru menținerea și întărirea poziției României în rândul țărilor capabile să dezvolte și să utilizeze tehnologiile noi.

### III.7.3 Analiză SWOT

#### Puncte Tari

- 1) Existența școlilor de fizica plasmei cu o experiență în domeniu de peste 80 de ani începând cu lucrările efectuate în domeniul descărcărilor în gaze de Th. Ionescu și C. Mihul la Iași și E.Badarau la Cernăuți și apoi la București. Ei au fost fondatorii colectivelor și apoi a institutelor care au efectuat studii în domeniul descărcărilor în gaze și apoi a fizicii plasmei.
- 2) Recunoașterea internațională a școlii românești de descărcări în gaze și a fizicii plasmei atestată de colaborările internaționale la care cercetătorii din țară participă în prezent (programul EURATOM, rețele COST, acorduri bilaterale).
- 3) Perspectiva unor colaborări de lungă durată în cadrul temelor de cercetare la care participă cercetătorii români din domeniul fizicii plasmei (Asociația EURATOM și în perspectivă laserii de mare putere, proiectul ELI). Exemple: fuziunea nucleară controlată (membri ai F4E - ITER și EFDA); aplicațiile tehnologice ale plasmelor de temperatură joasă (bio-medical, chimie, micro și nanoelectronica, tratamentele de suprafață, etc.).
- 4) Existența unei infrastructuri performante în domeniul laserilor de putere.
- 5) Existența liniilor de pregătire la nivel de master și doctorat în principalele Universități (București, Iași, Craiova și Constanța).

### **Puncte Slabe**

- 1) Colaborarea slabă între colectivele care lucrează în domeniu.
- 2) Absența unei strategii la nivel național în domeniu.
- 3) Micșorarea numărului celor interesați de acest domeniu de cercetare.
- 4) Modificările dese și neprevăzute suferite în programele școlare de pregătire a elevilor, în ciclurile gimnazial și liceal, în științe executate dar mai ales în domeniul fizicii.
- 5) Subfinanțarea atât a educației cât și a cercetării științifice.
- 6) Mediul economic în schimbare fără o informare și pregătire corespunzătoare, atât a specialiștilor cât și a populației, în vederea perceperii valențelor și importanței fizicii plasmei în tehnologiile actuale.

### **Oportunități**

- 1) Necesitatea găsirii de surse energetice alternative. Fuziunea nucleară fiind soluția ideală ce corespunde cunoașterii științifice și tehnologiilor actuale.
- 2) Necesitatea păstrării mediului natural și dezvoltării de tehnologii nepoluante.
- 3) Necesitatea depoluării mediului în condițiile unei perioade de tranziție în care se mențin unele tehnologii poluate.
- 4) Utilizarea metodelor și mijloacelor moderne de informare științifică și de formare în domenii de specialitate.
- 5) Valențele specifice domeniului fizicii plasmei care pot constitui elemente de atracție și de interes pentru generațiile ce vin (Ex. astrofizica, energetica, etc).
- 6) Existența unei infrastructuri performante în domeniul laserilor de putere și perspectiva dezvoltării proiectului ELI pe platforma Măgurele.

### **Amenințări**

- 1) Diminuarea numărului colectivelor și al specialiștilor din domeniul fizicii plasmei și riscul trecerii unui prag critic de la care ar putea fi imposibilă revigorarea acestui domeniu în România.
- 2) Subfinanțarea în domeniul cercetării științifice.
- 3) Modificarea programului de pregătire a elevilor din învățământul gimnazial și liceal care cere o abordare nouă a sistemului de pregătire în domeniul științelor și în special al fizicii. Această abordare nouă trebuie elaborată cât mai rapid.
- 4) Absența în universități a unor laboratoare modernizate de pregătire a studenților și a viitorilor specialiști din domeniul fizicii plasmei capabili să lucreze în viitoarele centrale energetice de fuziune nucleară și în general în utilizarea și dezvoltarea de noi tehnologii cu plasmă.

## **III.7.4.Obiective pe termen scurt și mediu**

- Consolidarea participării României la programul EURATOM prin implicarea cercetătorilor în temele prioritare ale EFDA și prin identificarea, evaluarea și angajarea realistă a capacităților de cercetare și a entităților economice din țară la programul F4E de realizare a ITER-ului.

- Evaluarea capacității actuale de cercetare și a problematicii abordate în centrele existente din București, Iași, Timișoara, Craiova și Cluj – Napoca în domeniul plasmei produse prin ablație laser și identificarea modului în care aceste centre vor putea colabora în realizarea proiectului ELI
- Constituirea de rețele naționale de cercetare științifică pe tematicile și subiectele de interes prioritar pentru utilizarea extensivă a infrastructurii existente în entitățile de cercetare și de învățământ superior din România. Rețelele naționale vor avea un caracter interdisciplinar și vor fi deschise colaborarilor cu specialiști din domenii conexe: inginerie (energetică și electronică), fizica materialelor, chimie, biologie și medicină, știința mediului.
- Elaborarea unui subprogram de cercetare în domeniul fizicii plasmei și al aplicațiilor acesteia ca parte integrantă a viitorului Plan Național de Cercetare al României din perioada 2014 - 2020. Programul va avea în vedere dezvoltarea, în colaborare cu Ministerul Educației și Cercetării a unui sistem național de pregătire a specialiștilor în domeniul fizicii plasmei și al aplicațiilor acesteia.

### III.7.5 Recomandări

- Elaborarea unei strategii naționale privind informarea și "culturalizarea" societății în vederea receptării și înțelegerii dezvoltărilor tehnologice oferite de materia în stare de plasmă.
- Reconsiderarea programelor școlare în care să se acorde importanța cuvenită științelor exacte și crearea unui sistem de învățământ diversificat și flexibil care să ofere șanse egale tuturor copiilor funcție de calitățile lor fizice și intelectuale. Sistemul de învățământ trebuie să asigure pregătirea tuturor funcție de calitățile sale intelectuale, fizice și materiale idiferent de vârsta la care are loc calificarea sau recalificarea sa.
- Crearea unor masterate naționale în domenii specifice fizicii plasmei cu participarea principalelor centre universitare și de cercetare din țară.

## III.8 FIZICA PĂMÂNTULUI

Misiunea domeniului constă din înțelegerea comportării și evoluției planetei pe care trăim și creșterea capacității de a prevedea modificările acestui sistem și impactul acestor modificări asupra vieții pe Pământ. Cercetările de Fizica Pământului implică un grad ridicat de interdisciplinaritate ce rezultă atât din mediile diverse supuse cercetării, cât și al metodelor de abordare. Domeniul are un impact important și direct asupra desfășurării activităților economice și sociale pe teritoriul României prin monitorizarea și prevederea unor fenomene naturale cu impact major asupra societății.

### III.8.1 Teme și subiecte

#### GP1: SEISMOLOGIE

Realizări recente și perspective la nivel internațional: simulări dinamice ale procesului seismic, modelări tridimensionale de rupere în medii neomogene, modelarea câmpului de deformare a scoarței terestre și a dinamicii plăcilor tectonice, evaluarea hazardului seismic la scară regională și locală (microzonare), analizele de risc și vulnerabilitate.

Realizări interne și expertiza. Contribuțiile majore din țară în domeniul fizicii sursei seismice: (1) determinarea parametrilor de sursă, simularea procesului seismic, proprietățile de scalare ale sursei, dinamica neliniară și proprietățile seismicității; (2) rețea de stații complet automată, destinată achiziției digitale și procesării în timp real a datelor seismologice, precum și schimbului rapid de informații cu alte centre seismologice din Europa și de pe Glob; (3) participarea la experimente internaționale de refracție și tomografie seismică în vederea determinării structurii litosferei și evoluției geodinamice în aria Carpato-Panonică; (4) evaluarea hazardului seismic prin metode deterministe și probabiliste; (5) microzonarea seismică a centrelor urbane; (5) analiza riscului seismic; (6) dezvoltarea normelor și standardelor naționale pentru securitate în caz de cutremure

#### ❖ GP1.1: Fizica sursei seismice

Motivație: Preocupare fundamentală a cercetării în domeniul Fizicii Pământului, indispensabilă tratării problematicei procesului seismic, cu multiple aplicații de interes pentru societate, cum ar fi predicția mișcării solului, reducerea riscului seismic sau discriminarea exploziilor de cutremure. Scop: Cunoașterea proceselor care conduc la generarea undelor seismice.

#### ❖ GP1.2: Seismicitate și seismotectonică

Motivație: Monitorizarea și analiza seismicității în context seismotectonic oferă datele de intrare fundamentale pentru cercetarea seismologică. Scop: Bază de date, catalog, forme de seismicitate și caracteristici seismotectonice la scara țării noastre.

#### ❖ GP1.3: Structura interioară a Pământului

Motivație: Structura interiorului Pământului este factorul principal care controlează forma și amplitudinea mișcării solului. Modelarea propagării undelor seismice prin structuri complexe tridimensionale reprezintă una din cele mai dificile obiective în seismologie. Scop: Modelarea tridimensională la scară regională și locală a structurii litosferei.



#### ❖ GP1.4: Hazard seismic

Motivație: Evaluarea hazardului seismic este crucială pentru orice strategie de reducere a riscului la cutremure și îmbunătățire a managementului de prevenire în caz de dezastre. Scop: Hărți de hazard seismic la scară locală și regională și în cazul unor obiective strategice (centrale nucleare-electrice, baraje, etc.).

#### ❖ GP1.5: Seismologie inginerască

Motivație: Seismologia trebuie să răspundă necesității creșterii securității societății umane la impactul cutremurelor. Un element cheie în reducerea riscului îl reprezintă siguranța structurilor construite. Scop: Studii de vulnerabilitate, coduri pentru proiectare și soluții tehnice pentru protejarea rezistenței clădirilor la acțiunea undelor seismice.

### GP2: CÂMPURILE NATURALE ALE PĂMÂNTULUI

Realizări recente și perspective la nivel internațional: Modelarea câmpului geomagnetic prin măsurători la sol și satelitare; Studiul conductivității electrice a mantalei terestre; Dinamica nucleului; Investigarea curenților ionosferici și magnetosferici; studiul variațiilor pe termen lung ale câmpului geomagnetic (paleomagnetism). Modelarea regimului termic al interiorului Pământului; Determinări de flux termic; Paleoclimatologie.

Realizări interne și expertiza: Variația seculară a câmpului magnetic principal; Investigarea magnetosferei; Modelarea structurii electrice și magnetice a litosferei; Cercetări de paleomagnetism. Studii asupra proceselor interne și paleoclimatice din date geotermice; Distribuția fluxului termic pe teritoriul României.

#### ❖ GP2.1: Câmpul geomagnetic

##### *Câmpul geomagnetic principal*

Motivație: Variația seculară a câmpului magnetic principal reprezintă un subiect de actualitate în cercetarea mondială din domeniul geomagnetismului întrucât cunoașterea acesteia este indispensabilă în modelarea dinamului terestru din nucleul extern al Pământului. Scop: Studii sistematice asupra variației seculare prin măsurători repetate în Rețeaua națională de stații geomagnetice de repetiție și prin analiza datelor furnizate de rețeaua mondială de observatoare geomagnetice.

##### *Câmpul de variații geomagnetice*

Motivație: Câmpul geomagnetic principal este perturbat semnificativ în exteriorul globului terestru (magnetosferă) datorită interacției cu emisia solară de particule (vânt solar), radiație și câmp magnetic (câmpul magnetic heliosferic). Aceste variații induc răspunsuri specifice în interiorul globului terestru care dau informații legate de proprietățile magnetice și electrice ale crustei și mantalei. Scop: Analiza variabilității activității geomagnetice la diferite scări de timp pentru modelarea structurii magnetice și electrice a interiorului la diferite scări geografice.

## *Paleomagnetism*

Motivație: Cercetările de paleomagnetism permit studiul variațiilor spațiale și temporale ale câmpului geomagnetic produs de sursele interne și înregistrate de roci dincolo de perioada de măsurători instrumentale. În același timp proprietățile magnetice ale rocilor pot fi utilizate ca indicatori în paleoclimat, evoluția mediilor de sedimentare sau poluare. Scop: Studiul paleomagnetic al rocilor în vederea modelărilor de paleovariație seculară și instabilități ale câmpului geomagnetic, tectonică regională, paleoclimat, arheomagnetism.

### ❖ **GP2.2: Câmpul geotermic**

#### *Modelarea geotermică a proceselor tectonice*

Motivație: Toate procesele care se petrec în interiorul Pământului și care determină structura și evoluția în timp a planetei depind esențial de temperatură și de modul de transfer al căldurii în interior. Scop: modelarea geotermică a proceselor tectonice.

#### *Paleoclimatologie din date geotermice*

Motivație: Procesele de schimb de temperatură de la suprafața Pământului joacă un rol important în evaluările de paleoclimatologie. Scop: măsurători de temperatură în foraje și observatoare geotermice pentru modelări paleoclimatice.

## **GP3: FIZICA ATMOSFEREI**

Realizări recente și perspective la nivel internațional: Modelarea dinamică în vederea prognozei meteorologice; Aplicarea tehnicilor avansate de monitorizare și investigare a atmosferei; Climatologie; Studii de poluare a aerului

Realizări interne și expertiză: Sistem meteorologic național integrat pentru elaborarea diagnozelor și prognozelor meteorologice în timp real; Detectarea și urmărirea fenomenelor periculoase pe teritoriul României; Participarea la consorțiile europene pentru prognoza numerică a vremii; Cercetarea în nowcasting, meteorologie radar, meteorologie satelitară, electricitatea atmosferei (detectori de fulgere) și a fenomenelor meteorologice periculoase; Investigarea atmosferei prin metode clasice și teledetecție lidar și satelitară. Monitorizarea și modelarea și poluării aerului.

### ❖ **GP3.1: Meteorologie dinamică și prevederea vremii**

Motivație: Creșterea intensității și frecvenței fenomenelor extreme va grăbi vulnerabilitatea multor comunități. În acest context, informațiile legate de vreme, climă și apă sunt din ce în ce mai necesare în sprijinul activităților socio-economice, cum sunt: agricultura, transporturile, producția de energie și managementul resurselor de apă, toate acestea având potențialul de a oferi beneficii considerabile mai mari în domeniul dezvoltării, chiar și cu investiție moderată în formarea profesională. Prognoza meteorologică este rezultatul unei munci complexe de analiză a unui volum enorm de date, fiind foarte utilă, de multe ori chiar esențială. Scop: îmbunătățirea calității prognozei numerice a vremii pentru teritoriul României, mai ales în situații de vreme severă.

- ❖ **GP3.2: Tehnici moderne de investigare a atmosferei** (Sateliti, Radar, Lidar, Aplicații specializate utilizate în investigarea atmosferei și evaluarea impactului asupra mediului)

Motivație: Dezvoltarea și perfecționarea metodologiilor de evaluare și predicție a proceselor din atmosferă în vederea reducerii riscului la producerea fenomenelor extreme și investigării schimbărilor climatice având ca finalitate protecția vieții și a bunurilor față de dezastrele meteorologice. Scop: determinarea structurii verticale și studierea fenomenelor și proprietăților fizice ale atmosferei libere; monitorizarea radiației solare; monitorizarea stratului de ozon; teledetecția satelitară și laser în investigația atmosferei.

- ❖ **GP3.3: Climatologie**

Motivație: Această direcție ar trebuie recunoscută ca una strategică din următoarele considerente. Studiile privind aspectele climatice aduc în sincronie comunitatea științifică românească cu cea internațională, cu efect benefic inclusiv asupra tinerilor cercetători, care pot fi astfel stabiliți în comunitatea academică românească. Transferul rapid și eficient al cunoașterii științifice spre domeniile socio-economice înseamnă minimizarea efectelor fenomenelor climatice extreme asupra societății și fructificarea unor noi oportunități socio-economice. În cazul României, datorită atât cadrului natural (un sistem complex determinat de o topografie complexă, care influențează semnificativ circulația atmosferică la scară mare, de vecinătatea mării, de sistemul hidrologic complex) cât și particularităților socio-economice (e.g. o agricultură dependentă într-o măsură mult mai mare de aspectul climatic) cercetările privind variabilitatea și predictibilitatea climatică au o relevanță sporită pentru societate în ansamblul ei, dar și pentru nivelurile succesive de administrare a treburilor publice, ajungând până la comunitățile locale. Scop: Variabilitate și predictibilitate climatică, predicție climatică multianuală și decenală. Estimări în condițiile prezente și în cele ale schimbărilor climatice ale impactului climatic asupra sistemelor fizice (hidrologice), ecosistemelor și asupra dezvoltării socio-economice.

- ❖ **GP3.4: Poluarea aerului atmosferic**

Motivație: Poluarea aerului a devenit o problemă de interes global din cauza creșterii concentrațiilor de poluanți atmosferici care afectează sănătatea oamenilor și a mediului lor înconjurător. Modelarea dispersiei poluanților în atmosferă este singurul mijloc pentru: stabilirea unui control legislativ al emisiilor de poluanți prin determinarea ratelor de emisie admisibile; definirea de strategii de intervenție pentru evitarea episoadelor de polare severă într-o zonă dată; stabilirea responsabilității pentru nivelele existente de poluare prin evaluarea contribuției diferitelor surse de poluare într-un receptor. Scop: Parametrizarea stratului limită atmosferic stabil; Evaluarea dispersiei poluanților atmosferici în medii urbane; Evaluarea calității aerului; Efectele poluării asupra sănătății umane și a mediului.

#### **GP4: FIZICA INTERACȚIEI SOARE-PĂMÂNT**

Realizări recente și perspective la nivel internațional: Interacția vântului solar cu magnetosfera terestră; Elaborarea unor metode de prognoză de scurtă durată a intensității unei furtuni geomagnetice produse de curenții coronali de mare viteză; Analiza ejecțiilor coronale de masă (CME): reconstrucție 3D, propagare în spațiul interplanetar, impactul asupra magnetosferei terestre;

construirea unui model de Meteorologie Cosmică pentru prognoza sosirii CME-urilor și a particulelor solare de înaltă energie la Pământ.

Realizări interne și expertiză: Vânt solar; Studiul activității solare pe termen lung; Fizica și evoluția ejecțiilor de masă coronală; Analiza curenților coronali de mare viteză și a regiunilor co-rotationale interplanetare; Forcing solar/geomagnetic asupra climei terestre; Clima/meteorologia cosmică; hazard asociat.

#### ❖ **GP4.1: Efecte solar-terestre**

##### *Vânt solar*

Motivație: Vântul solar - fluxul de particule încărcate electric și de câmp magnetic emis aproape continuu în toate direcțiile de Soare – reprezintă o componentă importantă a relației Soare-Pământ.

Scop: Înțelegerea schimbului energetic între vântul solar și magnetosferă.

##### *Forcing solar/geomagnetic asupra climei terestre*

Motivație: Soarele determină clima pe Terra prin energia furnizată, însă rolul variabilității solare în producerea variațiilor climatice este încă departe de a fi fost clarificat. S-au efectuat studii statistice, cu corelații robuste între parametrii activității solare și parametrii climatologici, precum și studii de modelare cauză-efect. Scop: corelarea dintre parametrii climatologici, pe de o parte, și activitatea solară pe termen lung, la scara ciclului magnetic solar (~22 ani) și la scara ciclului solar secular (~88 ani), pe de alta, pe înregistrări de la stații meteorologice și pe modele de date reanalizate în rețea, la diferite scări geografice.

##### *Clima/ meteorologia cosmică. Hazard asociat*

Motivație: Disciplină de sine stătătoare în cadrul Fizicii relațiilor Soare-Pământ, reprezintă o componentă aplicativă importantă a domeniului, cu aplicații în reducerea hazardului natural provocat de fenomenele eruptive solare și consecințele acestora în heliosferă și magnetosferă. Scop: Investigarea schimbărilor de termen lung ce au loc în Soare și efectele acestora asupra heliosferei; analiza activității solare și geomagnetice de termen lung (decadal, interdecadal și centenial); analiza impactului vântului solar și al fenomenelor eruptive solare asupra rețelelor tehnologice de transmitere a energiei electrice, de transport al petrolului și gazelor prin conducte, și nu în ultimul rând, asupra tehnologiei spațiale și astronauticii; evaluarea hazardului geofizic asociat; contribuție la îmbunătățirea prognozelor de space weather.

#### ❖ **GP4.2: Fizica fenomenelor eruptive solare**

##### *Fizica și evoluția ejecțiilor de masă coronală*

Motivație: Ejecțiile coronale de masă (CME) - emisii enorme de plasmă magnetizată de pe Soare în spațiul interplanetar – reprezintă o componentă importantă a interacției solar-terestre, cu geoefectivitate ridicată (consecințe asupra sistemelor tehnologice). Scop: Investigarea sursei ejecțiilor, viteza și direcția de propagare în spațiul interplanetar și interacția lor cu vântul solar și cu magnetosfera terestră.

## Fizica și evoluția erupțiilor solare cu radiație seismică

**Motivatie:** Erupțiile cu radiație seismică reprezintă unul dintre cele mai energetice fenomene solare analizate în ultimul deceniu (descoperit în 1996) în conexiune cu evoluția câmpurilor magnetice solare. Extinderea studiului acestor erupții în conexiune cu CME-urile pe baza celor mai noi observații din spațiu, de foarte buna rezoluție, este tendința curentă. **Scop:** Investigarea geoefectivității erupțiilor cu radiație seismică.

### III.8.2 Impact

Domeniul fizicii Pământului este legat de multe probleme prioritare ale societății umane, cum sunt securitatea la dezastre, schimbările climatice, poluarea, problema resurselor, calitatea vieții. Având în vedere impactul deosebit pe care procesele din interiorul planetei și din atmosferă îl au asupra sistemelor fizice (hidrologice, relief), ecosistemelor și asupra societății umane precum și asupra dezvoltării socio-economice, cunoașterea acestor procese și ale implicațiilor lor și transferul cunoașterii sunt esențiale pentru dezvoltarea durabilă a societății umane și calitatea vieții pe Pământ.

### III.8.3 Analiză SWOT

<b>PUNCTE TARI</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• baze de date de înaltă calitate</li><li>• infrastructuri avansate</li><li>• rețele permanente și portabile</li><li>• parteneriate</li></ul>	<b>PUNCTE SLABE</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• gradul de pregătire a absolvenților în domeniu</li><li>• nivelul scăzut al infrastructurii de cercetare din universități</li><li>• gradul scăzut de stimulare a activității de cercetare</li><li>• lipsa unor strategii multidisciplinare integratoare adecvate</li></ul>
<b>OPORTUNITATI</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Interesul și presiunea din partea societății</li><li>• Susținere la nivel guvernamental</li><li>• Acces la tehnici avansate de modelare și inversie</li><li>• Acces la sisteme de calcul performante</li><li>• Avantajele comunicării rapide prin internet</li><li>• Particularitățile geotectonice ale teritoriului (zona Vrancea)</li></ul>	<b>RISCURI</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• diminuarea suportului financiar de la Guvern pentru instalații de interes național</li><li>• monitorizarea și întreținerea rețelelor existente necesită investiții mari din partea statului</li><li>• atractivitatea scăzută pentru tinerii absolvenți; exportul de inteligență</li><li>• birocrația excesivă; cadru legal neadecvat</li><li>• degradarea infrastructurii datorită reducerii finanțării</li><li>• nesiguranța finanțării unor activități de cercetare permanente</li></ul>

### III.8.4 Obiective pe termen scurt și mediu

#### Obiective pe termen scurt (2012-2014):

##### **GP1. Seismologie**

- evaluarea parametrilor de sursă prin diverse tehnici de analiză
- modelare seismotectonică
- proprietăți ale undelor seismice: atenuare și anizotropie
- studii de hazard seismic prin metode probabiliste și neo-deterministe
- efecte locale
- vulnerabilitate

##### **GP2. Câmpurile Naturale ale Pământului**

- modelare proprietăți electrice și magnetice ale interiorului Pământului
- cercetări de paleomagnetism
- modelare transfer energetic la interfața aer-sol

##### **GP3. Fizica Atmosferei**

- îmbunătățirea calității prognozei numerice a vremii pentru România
- cercetări asupra proceselor atmosferice
- variabilitate și predictibilitate climatică
- monitorizarea și modelarea dispersiei poluanților din atmosferă

##### **GP4. Fizica interacției Soare-Pământ**

- modelarea propagării ejecțiilor coronale de masă (CME) și analiza curenților solari de mare viteză în relație cu perturbațiile geomagnetice
- efecte solare în clima terestră

#### Obiective pe termen mediu (2015-2020):

##### **GP1. Seismologie**

- modelarea zonelor seismogene prin sisteme ierarhice complexe
- monitorizarea seismicității din România
- modelarea tridimensională a structurii litosferei
- dinamica mișcărilor crustale
- hazard dependent de timp și de frecvență
- modernizarea codurilor de construcții existente

##### **GP2. Câmpurile Naturale ale Pământului**

- monitorizarea evoluției spațio-temporale a câmpului geomagnetic
- cercetări de paleomagnetism
- modelare transfer energetic la interfața aer-sol

##### **GP3. Fizica Atmosferei**

- prognoza numerică a vremii pentru România
- dezvoltarea metodologiilor de evaluare și predicție a proceselor atmosferice
- schimbări climatice și scenarii de evoluție
- evaluarea calității aerului și strategii de intervenție

##### **GP4. Fizica interacției Soare-Pământ**

- model empiric pentru sosirea CME-urilor la magnetosfera terestră
  - catalog complex de HSS și perturbații geomagnetice pentru ciclul solar 24
- îmbunătățirea metodelor existente de prognoză în meteorologia cosmică

### III.8.5 Recomandări

- Suport permanent pentru cercetarea cu caracter fundamental
- Suport permanent pentru monitorizare și observații pe termen lung și integrarea în rețelele internaționale
- Integrarea și aplicarea rezultatelor în industrie, discipline științifice conexe, mediul decizional, societatea civilă; Transferul rapid și eficient al cunoașterii științifice din domeniu spre domeniile socio-economice.
- Exploatarea unor noi tehnici de analiză și măsură
- Crearea unor platforme flexibile pentru schimbul de date și cunoaștere între diferite discipline; creșterea capacității de a trata probleme globale și critice pentru societatea actuală; susținerea echipelor de cercetare interdisciplinare; suport financiar pentru studii pilot pe domenii interdisciplinare
- Creșterea capacității de a reacționa rapid și eficient în cazul evenimentelor cu impact major
- Creșterea nivelului de pregătire în general și în domeniu, revizia și actualizarea programelor de studii, dezvoltarea unor module îndreptate către cerințele societății și piață, atragerea studenților străini.
- Aducerea în sincronie a comunității științifice românești cu cea internațională, cu efect benefic inclusiv asupra tinerilor cercetători, care pot fi astfel stabiliți în comunitatea academică românească.

## III.9 BIOFIZICĂ

Biofizica reprezintă, probabil, cel mai convingător exemplu de domeniu de cercetare interdisciplinară, în care sunt integrate, în mod coerent, conceptele și metodele folosite de către: fizică, matematică, biologie, biochimie, chimie coloidală, chimie fizică și fiziologie.

O tendință accentuată, la care asistăm pe plan mondial, este aceea de a se asocia cercetările de biofizică cu dezvoltarea unor tehnici fizice care se află în vârful tehnologiei actuale. După descifrarea Genomului Uman, explorarea și cercetarea Proteomului Uman constituie următorul obiectiv major al cercetarilor de perspectivă ale biofizicii.

Menționăm încă trei domenii de biofizică în care abilitățile biofizicienilor, pot fi folosite maximal în viitor: 1) imaginarea unor tehnici fizice de determinare a proprietăților fizice și biochimice ale unei singure molecule (single molecule biophysics) sau ale unui singur complex de macromolecule; 2) interpretarea și înțelegerea datelor complexe și a multitudinii de procese implicate în dezvoltarea și diferențierea celulară, adică în procesul de morfogeneză (de ex., de ce și când unele celule evoluează spre celule musculare, în timp ce, alte celule identice cu primele la un moment dat, evoluează spre celule nervoase); 3) găsirea unei “explicații fizice radicale” (în sensul lui Delbrück, biofizician, laureat al Premiului Nobel) a funcțiilor celulare complexe.

### III.9.1 Teme și subiecte

#### BP1: PROBLEME MODERNE DE BIOFIZICĂ MOLECULARĂ ȘI COMPUTAȚIONALĂ

La ora actuală, de mare interes se bucură cercetările de biofizică la nivel molecular, privind atât structura cât, mai ales, proprietăților și deci, funcțiile biomoleculelor în celulă (de ex. interacțiile specifice la care ele participă). Cercetări, realizări și expertiză în domeniu: Univ. București, Fac. Fizică; Univ. București, Fac. Biologie; INC-D pentru Științe Biologice; Univ de Vest, Timisoara Fac. Chimie-Biologie-Geografie; Univ. “Babes-Bolyai” Fac. Fizică, Cluj-Napoca; INCDTIM Cluj-Napoca; UMF “Victor Babeș” (MFVBT) Timișoara; Univ. A. I. Cuza Iași, Fac. Științe.

##### ❖ **BP1.1: Mecanisme de interacție și asocieri moleculare specifice moleculelor de interes biologic**

Motivație: Studiul funcțiilor celulare ale unor proteine reglate de către liganzii care stimulează sau inhibă activitatea acestora; utilizarea metodelor ab initio, DFT și semiempirice în calculul structurii și proprietăților moleculare. Scop: cunoașterea mecanismelor de interacție și asocieri biomoleculare specifice; dezvoltarea unor programe de calculul cuantic destinate sistemelor moleculare, folosind un hamiltonian simplificat și un set de parametri externi, în cazul unor proteine și acizi nucleici.

##### ❖ **BP1.2: Studii informatice vizand structura unor macromolecule biologice și a unor procese fizico-chimice care decurg la nivel molecular**

Motivație: Cunoașterea structurii și funcției unor moleculelor de interes biologic. Scop: Construirea și validarea modelelor pentru biomolecule cu structura necunoscută, identificarea caracteristicilor fractale ale acestora, modelarea tranzițiilor conformationale ale proteinelor.



❖ **BP1.3: Modele teoretice și computaționale (*ab initio*, DFT și semiempirice) pentru studiul dinamicii macromoleculelor biologice și al unor structuri supramoleculare**

Motivație: Studii bioinformatică asupra macromoleculelor biologice. Scop: Simularea dinamicii moleculare în cazul unor biomolecule și ansambluri supramoleculare.

❖ **BP1.4: Ingineria tisulară asistată de calculator**

Motivație: clarificarea legăturii dintre parametrii de model și mărimile măsurabile. Scop: dezvoltarea unor programe de calcul eficiente pentru realizarea unor structuri multicelulare destinate înlocuirii, reparării și regenerării țesuturilor lezate.

❖ **BP1.5: Calculul structurii și proprietăților moleculare prin metode *ab initio*, DFT și semiempirice**

Motivație: utilizarea metodelor *ab initio*, DFT și semiempirice în calculul structurii și proprietăților moleculare. Scop: dezvoltarea unor programe de calcul cuantic destinate sistemelor moleculare, folosind un hamiltonian simplificat și un set de parametri externi, în cazul unor proteine și acizi nucleici.

## **BP2: CERCETĂRI AVANSATE DE BIOFIZICĂ CELULARĂ**

Studiile actuale de biofizică celulară vizează, mai ales, elucidarea mecanismelor de acțiune a unor factori (stres, medicamente, agenți citotoxici) la nivel celular și subcelular (mai ales, membrane) și bioenergetica celulară. Cercetări, realizări și **expertiză în domeniu**: Univ. Al. I. Cuza, Iași, Fac. Fizică, Catedra de Biofizică UMF „Carol Davila”, București, Colectiv biofizică IFIN HH, Univ. București, Fac. Biologie.

❖ **BP2.1: Caracterizarea cuplajelor energetice, electrice și mecanice dintre structurile lipidice auto-organizate (membrane planare, lipozomi) cu proteine, peptide antimicrobiene, peptide anti-cancerigene, pigmenți, agenți farmaceutici, antioxidanți naturali**

Motivație: Dezvoltarea unor aplicații biofizice în industria farmaceutică; elucidarea mecanismelor moleculare ce determină efectul litic al unor peptide și proteine antimicrobiene. Scop: Obținerea unor terapii inovatoare în domeniul tratamentelor infecțiilor microbiene, bolii canceroase; controlul profilului electric membranelor și a condițiilor fiziologice în care au loc procesele de inserție membranală.

❖ **BP2.2: Semnalizarea celulară mediată de ioni și receptori membranari și transportul prin membrane naturale sau artificiale**

Motivație: Studii privind rolul ionilor și receptorilor membranari în semnalizarea celulară; mimarea și îmbunătățirea structurilor membranare naturale, cu aplicații în domeniul biotehnologiei. Scop: Modelări și simulări numerice în cazul unor procese fiziologice: fertilizarea, proliferarea celulară, contracția musculară, secreția și memoria; identificarea agenților citotoxici și realizarea de biosenzori specifici foarte sensibili.

### ❖ **BP2.3: Dinamica răspunsului celular la diferiți factori de stres**

Motivație: Cunoașterea mecanismelor celulare și moleculare implicate în răspunsul celular la diverși factori de stres. Scop: Cunoașterea parametrilor celulari semnificativi și a cineticii acestora în urma acțiunii unor agenți oxidanți; determinarea gradului de inducere a apoptozei, necrozei și a efectelor stresului asupra ciclului celular.

## **BP3: METODE ȘI TEHNICI FIZICE UTILIZATE ÎN INVESTIGAREA BIOSISTEMELOR, BIOCUMPOZITELOR ȘI BIOMATERIALELOR**

Domeniul bio-medical reprezintă un debușeu important pentru cele mai noi și performante metode și tehnici fizice. Metodele spectroscopice sunt extensiv folosite în studiul biosistemelor și al unor noi biomateriale sau biocompozite, dar metodele care permit detecția și manipularea, la nivelul unei singure molecule, sunt de mare actualitate. Cercetări, realizări și expertiză în domeniu: Universitatea BB Cluj-Napoca - Facultatea de Fizică, - Centrul de Cercetare a Radicalilor Liberi, Univ.București, Fac. Biologie, Catedra de Biofizică UMF „Carol Davila”, București, INCDTIM Cluj, I. Cercet. Biologice Cluj-Napoca.

### ❖ **BP3.1: Tranziții structurale și procese de relaxare moleculară în complecși biomoleculari cu rol în chemoterapie, investigate prin spectroscopie vibrațională, rezonanță magnetică nucleară și difracție de raze X pe monocristale**

Motivație: Studii structurale, prin metode fizice avansate, a complexelor biomoleculari cu rol în chemoterapie. Scop: Realizarea de culturi celulare pentru producția în masă de proteine și posibila inițiere a procedurii de testare clinică și a acreditării de produs medicamentelor.

### ❖ **BP3.2: Metoda RES (capcane și marcări de spin) în studiul modificărilor conformaționale ale unor sisteme biologice și în detecția și caracterizarea radicalilor liberi în sisteme biologice, *in vivo* și *in vitro***

Motivație: utilizarea RES în studii privind efectul radiațiilor asupra alimentelor, medicamentelor și proceselor metabolice. Scop: analiza alimentelor sterilizate prin radiații ionizante sau a medicamentelor supuse stresului farmaceutic; studiul proceselor metabolice, fiziologie și biochimice *in vivo*.

### ❖ **BP3.3: Metode neinvazive de determinare a statusului celular și de detecție și manipulare la nivelul unei singure molecule**

Motivație: Utilizarea metodelor spectroscopice (luminiscenta întârziată) în evaluarea stării de stres celular; extinderea aplicării metodelor de studiere a unei singure molecule sau a unui singur complex macromolecular și la alte molecule/complexe macromoleculare de interes biofizic. Scop: Evaluarea capacității pro-apoptotice a anumitor tratamente chimice în leucemia acută; înregistrarea activității electrice a neuronilor senzitivi, în culturi primare, pentru cuantificarea nivelului de expresie a receptorilor/canalelor.

## BP4: STUDIUL STRUCTURILOR ȘI PROCESELOR BIOFIZICE LA SCARĂ NANOMETRICĂ

Cercetările fundamentale de biofizică vizează, în general, structuri și procese care sunt la nivel „nano”. Mai moderne sunt cercetările cu caracter aplicativ: realizarea și studiul unor sisteme biomimetice, biosenzori, biocompozite. Cercetări, realizări și expertiză în domeniu: Univ. Al. I. Cuza, Iași, Fac.Fizică, Univ.BB Cluj-Napoca – Fac.Fizică, - Fac. . Chimie și Ing. Chemică, Univ. București – Fac. Fizică, Institutul de Biodinamică, Colectiv biofizică IFIN HH; UMF Carol Davila, Cat. de Biofizică; Facultatea de Medicina, Oradea; UMF Cluj-Napoca, Cat. de Biofizică Farmac.

### ❖ **BP4.1: Biocompozite nanometrice cu aplicatii bio-medicale. Detectia nanoscopica și evaluarea interacțiunilor unor biomolecule cu sisteme biomimetice**

Motivație: Dezvoltarea ingineriei canalelor ionice prin studii referitoare la interacțiunile dintre ciclodextrine și porii membranari; realizarea unor nanobiomateriale, utilizând nanotuburi de carbon funcționalizate cu biomolecule. Scop: Construcția unor biosenzori care să mimeze sistemele naturale; utilizarea micro și nano-particulelor în livrarea controlată a medicamentelor.

### ❖ **BP4.2: Dezvoltarea unor noi sisteme cu biosenzori, bazate pe nanostructuri sau nanomateriale**

Motivație: Dezvoltarea unor platforme de analiză a sistemelor biomimetice pentru perfecționarea procedurilor analitice de detecție a agenților nocivi și pentru aplicații farmaceutice. Scop: Capabilități, la standarde internaționale, de monitorizare a culturilor de celule (aderente și în suspensie) prin analize electro-optice.

### ❖ **BP4.3: Obținerea și caracterizarea unor nanostructuri fotonice și plasmonice multifuncționale pentru utilizarea lor ca senzori optici în biologia moleculară, medicină și monitorizarea mediului**

Motivație: Studiul interacției luminii cu sisteme ordonate de nanoparticule metalice, care pot amplifica randamentul de emisie a surselor elementare de lumină. Scop: utilizarea nanoparticulelor de metal nobil pentru optimizarea biodetecției și monitorizarea optică a agenților biologici, chimici, farmaceutici și din mediu.

### ❖ **BP4.4: Studiul interacțiilor unor nano-obiecte și a unor nano-structuri cu mediile celulare normale și tumorale**

Motivație: Studiul fenomenelor nanometrice de interfață care își au originea în interacția diferitelor specii moleculare cu suprafețele pe care au fost depuse. Scop: dezvoltarea unor noi tehnici microscopice în câmp apropiat (STM și AFM) care să permită recunoașterea biomoleculară.

## BP5: INTERACȚIA FACTORILOR FIZICI CU MATERIA VIE

La ora actuală, se întreprind cercetări intense privind acțiunea factorilor fizici (îndeosebi, radiații ionizante și câmpuri electromagnetice) asupra biomoleculilor, celulelor, țesuturilor și organismelor, care suscită un mare interes medical și ecologic. Cercetări, realizări și expertiză în domeniu: INCDTIM Cluj-Napoca; UMF “Victor Babes”, Timisoara; Spit. Univ. de Urgenta Bucuresti, Clinica de Hemat.;

UMF Carol Davila; Univ. "Al. I. Cuza" Iași; INCDTIM Cluj-Napoca ; UMF „ Carol Davila” București; Acad. Fortelor Terestre Sibiu « Nicolae Balcescu ».

❖ **BP5.1: Interacția radiației laser cu nanoparticule, biomolecule și celule. Efectul radiațiilor și a agenților oxidanți asupra macromoleculilor și celulelor**

Motivație: Studiul proceselor de transport și structurare, la scara micro/nanometrică, în biomedicină și știința materialelor; studiul radiosensibilității celulare la iradierea cu protoni. Scop: Caracterizarea cantitativă a dinamicii agregării celulare prin metoda împrăștierii coerente a radiației laser la unghiuri mici; caracterizarea potențialului pro-apoptotic al quercetinei, în tratamente de iradiere cu protoni accelerați a suspensiilor celulare.

❖ **BP5.2: Magnetosensibilitatea în raport cu nanoparticule magnetice, lichide magnetice și câmpuri electromagnetice**

Motivație: Investigarea răspunsului diferitelor medii biologice și organisme, în urma expunerii la câmpuri de frecvență foarte joasă și la microunde. Scop: Identificarea mecanismelor celulare și moleculare care generează modificarea unor parametri biologici.

❖ **BP5.3: Interacțiunea câmpurilor electromagnetice cu organismele vii - studii biofizice la nivel membranal, celular și tisular**

Motivație: Evidențierea efectelor câmpurilor electromagnetice, din domeniul microundelor, asupra organismelor vii, utilizând lipozomi ca modele de membrane. Scop: Monitorizarea modificărilor structurale (fluiditatea membranei, potențialul transmembranar) induse de câmpurile electromagnetice din domeniul microundelor.

## III.9.2 Impact

Temele și subiectele vizează, mai ales, cercetări cu caracter fundamental cu impact științific multidisciplinar, dar și cu un mare potențial aplicativ, în diferite direcții: 1) în domeniul bio-medical, legate de noi metode terapeutice (genomice, proteomice), de metode foarte sensibile și neinvazive de diagnostic medical, de concepere a noi medicamente (intelligent drug design) și de înțelegere a mecanismului de acțiune al acestora, la nivel molecular; 2) dezvoltarea și perfecționarea unor tehnici fizice (metode spectroscopice vibrationale, de rezonanță magnetică nucleară și electronică, de difracție a razelor X etc.); 3) evaluarea riscurilor biologice (necunoscute, dar bănuite) și de mediu ale unor compuși extensiv implicați în nanotehnologii (ex.: nanoparticule, nanomateriale).

Unele subiecte vizează cercetări cu caracter aplicativ cu impact economic, la nivel local și național, cum ar fi: 1) dezvoltarea unor noi metode și tehnologii bazate pe interacția radiației laser de mare putere, cu biomoleculele și celulele; 2) protecția împotriva radiațiilor ionizante și neionizante, cu implicații în igiena muncii și a mediului; 3) studierea efectelor câmpurilor electromagnetice asupra activității centrilor vizuali din sistemul nervos central.

### III.9.3 Analiză SWOT

<p><b>Puncte tari</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Existenta, in Romania, a unui personal cu înaltă calificare (studii superioare in domeniul biofizicii, doctori in stiinta, conducatori de doctorat in biofizica);</li> <li>-In majoritatea cazurilor, competența este exclusivă, instituțiile sau grupurile de cercetare posedând un număr mare de experți recunoscuti, pe plan national si mondial, in domenii particulare de biofizica;</li> <li>-Activități de cercetare științifică valorificate prin numeroase lucrări științifice recunoscute internațional, publicate in reviste cotate ISI; lectii invitate si comunicări la conferințe naționale si internaționale;</li> <li>-Recunoasterea internationala a calitatii cercetarii reflectate in marele numar de colaborari internationale;</li> <li>-Dotare cu echipamente de cercetare, la nivelul apropiat de cel mondial;</li> <li>-Activitati educationale, constând in: programe de invatamant in domeniul Biofizicii (Licenta, Masterat si Doctorat), scoli de vară, conferințe nationale;</li> </ul>	<p><b>Puncte slabe</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Nu a existat un Plan national de cercetare in domeniul Biofizicii. Consecinta: un numar relativ mare de teme si subiecte sunt abordate de grupuri mici, care au cooperari internationale si mai putin nationale;</li> <li>-Publicatiile apar in reviste, pe un spectru foarte larg de titluri, avand in vedere caracterul interdisciplinar al biofizicii. Consecinta: analiza comparativă scientometrică este foarte dificilă, multe contributii scăpând interogării, folosind mijloacele uzuale (ISI Web of Knowledge, domenii, teme, nume).</li> </ul>
<p><b>Oportunitati</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Existenta unei asociatie profesionale de Biofizica: Societatea Romana de Biofizica Pura si Aplicata (SRBPA), recunoscută european de catre European Biophysical Societies' Associations (EBSA si international, de catre International Union of Pure and Applied Biophysics (IUPAB), la care este afiliata cu drepturi depline.</li> <li>-Existenta unei pagini WEB a SRBPA: <a href="http://www.biophysicsnet.ro">www.biophysicsnet.ro</a></li> <li>-Organizarea, de catre SRBPA, de conferinte nationale cu caracter international (la interval de doi ani) si de simpozioane ale filialelor regionale de biofizica.</li> <li>-Existenta unei publicatii nationale periodice in</li> </ul>	<p><b>Riscuri</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Caracterul interdisciplinar al domeniului ar putea avea consecinte negative, datorita dificultatii de stabilire a unui limbaj comun intre specialistii din domenii diferite, care participa in cercetarile de biofizica.</li> <li>-Pe plan educational, finantarea invatamantului per capita, si nu pe domeniu, va duce la scaderea calitatii exigentei educatiei in domeniul biofizicii (observatie valabila, de altfel, pentru orice domeniu stiintific) si, posibil, chiar la extincția treptata a educatiei universitare, la facultatile de fizica, in domeniul biofizicii.</li> </ul>

domeniu: Romanian Journal of Biophysics, recunoscuta CNCSIS, cu aparitie electronica, in curs de acreditare ISI.	
--	--

-Relații extinse și active de cooperare internațională: programe europene, acorduri interguvernamentale și colaborări bilaterale cu institute și universități din Europa și din lume.	
---	--

### III.9. 4 Obiective pe termen scurt și mediu

#### Obiective termen scurt (2012-2014):

- Realizarea unui plan național de formare și cercetare în domeniul biofizicii, prin care să se coreleze și concentreze eforturile colectivelor de biofizică, pe direcții mai puține, dar definitorii și de perspectivă, pe plan internațional.
- Introducerea formării și educației în biofizică, pe lista disciplinelor strategice ale universităților și a MECTS, acolo unde această specializare este deja acreditată (la nivel de Licență și Masterat).
- Intensificarea colaborărilor internaționale bilaterale, la nivel de instituții și prin implicarea în programe de cercetare finanțate europene.
- Creșterea vizibilității, pe plan internațional, a cercetărilor de biofizică, din România, prin publicarea de lucrări, în reviste cu Factor de Impact ridicat și prin participarea la evenimente științifice internaționale.

#### Obiective termen mediu (2015-2020):

- Crearea unor consorții care să cuprindă centre de cercetare, în domeniul biofizicii, deja existente sau noi, dotate cu aparatură specifică, de ultimă generație, care să atragă și doctoranzi și cercetători din străinătate.
- Stimularea cercetărilor fundamentale cu potențial aplicativ în chimioterapie, biotehnologie, farmacologie, nanomedicina etc.
- Acordarea de facilități și stimulente cercetătorilor, în general și biofizicienilor, în particular, pentru a evita brain draining-ul de inteligență românească spre țări care știu să aprecieze materia cenușie formată și educată, cu eforturi umane și materiale considerabile ale României.

### III.9.5 Recomandări

- Concentrarea eforturilor grupurilor de cercetare pe problemele strategice, de amploare, cu impact major asupra dezvoltării domeniului;
- Asigurarea unei bune coordonări, a cercetărilor în domeniul biofizicii, prin menținerea unei comunicări permanente, între membrii comunității de biofizică, prin întâlniri regionale și bilaterale, sesiuni pe grupuri de lucru;
- Sporirea gradului de aplicabilitate a cercetărilor de biofizică;
- Îmbunătățirea condițiilor de acces la informațiile științifice mondiale, prin acces la baze de date și, nemijlocit, la reviste științifice;
- Dezvoltarea unor activități destinate diseminării informațiilor prin mass-media: dezvoltarea modernă a comunicării rezultatelor științifice remarcabile, marketing științific în domeniu;
- Reevaluarea și stimularea, de către MECS și universități, a programelor de formare, a viitorilor specialiști în biofizică, la nivel universitar și post universitar.

### III.10 FIZICĂ APLICATĂ

Fizica aplicata este definita prin totalitatea fenomenelor fizice utilizate in sisteme si dispozitive pe baza unor materiale adecvate care sa sustina implementarea in practica a acestora. Fizica aplicata este un domeniu larg si fecund al fizicii contemporane. Ea se dezvoltă mână în mână cu fizica materialelor al cărei vâstar viguros este fizica nanomaterialelor.

O clasificare a fizicii aplicate in subdomenii este foarte greu de facut avand in vedere interpătrunderea fenomenologiilor și varietatea extrem de bogata a materiei sub multiplele ei forme de existentă. Trebuie să avem în vedere faptul că fizica aplicată se referă la toate activitățile direcționate către multiple tehnologii. Spre deosebire de inginerie în general, fizica aplicată este ancorată în cunoștințele fundamentale de fizică, pe care le utilizează pentru rezolvarea unor probleme practice, tehnologice. Din acest motiv, fizica aplicată include practic toate domeniile din fizică cu excepția celor pur teoretice, dar și cercetările teoretice din fizică au de foarte multe ori în vedere rezolvarea unor probleme tehnologice, deci pot fi cercetări de fizică aplicată.

Domeniile fizicii aplicate sunt foarte vaste și numeroase – Fizica Materiei Condensate, Fizica Laserilor, Fizica Semiconductorilor, Control Nedistructiv, Acustică, Electromagnetism, Fizica Materialelor, Fizica Vidului, Astrofizică, etc. Fizica aplicată nu este numai un domeniu transversal, care acoperă și reunește toate celelalte domenii din fizică, dar se interpătrunde cu multe alte discipline, cum ar fi de exemplu Ingineria Electrică, Știința Materialelor, Chimia și Biologia.

Pe baza datelor din raportul de la etapa a II-a a proiectului ESFRO se pot selecta direcțiile mari de fizică aplicată, care presupun existența unor resurse pe măsură (umane și infrastructură) și care au demonstrat și existența unui potențial mare de a obține rezultate importante la nivel internațional. Astfel, cele mai importante date le găsim în capitolele III și IV ale raportului menționat. Avem cele opt direcții mari cu cele mai bune rezultate prezentate în capitolul III (nu mai menționăm Fizica Aplicată, dat fiind faptul că le include pe toate celelalte), dintre care evidentiem Optica, Fizica Materiei Condensate, Fizica Nucleară, Fizica Particulelor, Fizica Atomică și Moleculară, Fizica Plasmei. Exista și o direcție mare de interpătrundere cu alte discipline (Inginerie Electrică, Știința Materialelor, Chimie, Biologie, Medicină, etc.) care poate să acopere și alte domenii mai mici din fizică (în sensul de „cu rezultate anterioare mai puține”), respectiv Fizica Multidisciplinară. Aceste șapte direcții mari de fizică aplicată au un potențial ridicat de cooperare internă și internațională, după cum este arătat în raport, și totodată beneficiază încă de o resursă umană competentă, care le asigură masa critică necesară continuării și dezvoltării activității specifice. În ceea ce privește infrastructura, aceasta a fost dezvoltată semnificativ în ultimii ani și se afla in continuare in plin proces de dezvoltare.

Putem să intrăm mai adânc în detalii folosindu-ne de una dintre cele mai utilizate clasificari a fizicii și anume Physics and Astronomy Classification Scheme (PACS). Conform PACS, întreaga Fizică este împărțită în zece domenii sau direcții mari (detaliile se regăsesc la adresa de internet [http://www.aip.org/pacs/pacs2010/individuals/pacs2010\\_regular\\_edition/index.html](http://www.aip.org/pacs/pacs2010/individuals/pacs2010_regular_edition/index.html)). În PACS există un grad de detaliere mai mare, astfel în fiecare subiect se regăsesc probleme mai detaliate și mai concrete. Putem așadar să ne folosim de clasificarea PACS pentru a detalia temele și subiectele, si a evita formularea unor teme și subiecte care nu se regăsesc în clasificări internaționale.



In ceea ce priveste tehnologiile si aplicatiile laser intr-un domeniu moderat de energii si pulsuri relative scurte, propunerile se bazeaza pe:

- a) existenta unei competente solide in arii conexe: optica, materiale, corp solid, chimie fizica, biofizica, laser, interactie laser-materie;
- b) existenta unei infrastructuri laser in modul pulsat si in domenii de fs-ps-ns- $\mu$ s;
- c) existenta unei baze semnificative de rezultate de cercetare in domeniul interactiunii laser-materie;
- d) un efort sustinut pe plan international de dezvoltare si implementare a tehnologiilor laser de inalta precizie;

Propunerile au componente atat in aplicatii care tind sa devina astazi (sau intr-un orizont de 5 ani) tehnologii cat si in procese standard. Ele pot fi utilizate in mod singular (tehnici intr-un stadiu de emergenta ce pot constitui o baza pentru procese mai complexe –add-on) sau in relatie cu alte tehnologii. O componenta semnificativa de cercetare fundamentala exista in toate subdomeniile propuse.

### III.10.1 Teme și subiecte

#### AP1: STRATURI SUBTIRI, SUPRAFETE, INTERFETE, MATERIALE STRUCTURATE SI NANOSTRUCTURI

State of the art: Tehnologiile de depunere, crestere si procesare au progresat foarte mult in ultimele decenii, datorita in primul rand progreselor tehnologice in domeniul surselor de incalzire, al dispozitivelor de productie a vidului, al surselor de radiatii utilizate in depunere si procesare (lasere, tunuri de electroni, fascicule ionice). Homo si heteroepitaxia straturilor subtiri, studiul suprafetelor si interfetelor reprezinta prioritati pe plan international atat la nivel experimental (tehnici de depunere si caracterizare) cat si predictional (modelare teoretica). Totodata, directii noi de cercetare sunt legate de producerea nano-obiectelor prin diverse metode fizico-chimice, mecanice sau litografice, precum si de dezvoltarea aparaturii specifice pentru caracterizarea si metrologizarea nanomaterialelor si nanostructurilor.

Realizari interne si expertiza: Progresele cele mai importante inregistrate la nivel national au fost in materie de depunere si procesare straturi subtiri policristaline si nano-obiecte (prin metode fizico-chimice in special de precipitare din solutie, sputtering si PLD). Achizițiile recente de echipamente de ultima generatie in materie de depunere (printre care MBE, CVD), procesare si caracterizare straturi subtiri, suprafete si interfete deschid perspective noi pentru cercetarea romaneasca in domeniu si abordarea subiectelor noi de cercetare la nivel mondial.

- ❖ **AP1.1: Tehnologii de depunere, crestere, procesare metale, oxizi, semiconductori, nanostructuri**

Motivatie: Dezvoltare si optimizare tehnologii de depunere, crestere si procesare.

Scop: Crestere si procesare de materiale functionale.

- ❖ **AP1.2: Nucleere straturi subtiri; homo- si hetero-epitaxie; structura si forte de legatura, interfete solid-solid, solid-lichid**

Motivatie: Intelegerea proceselor de nucleere, crestere si formare a interfetelor.

Scop: Obținerea de straturi homo- și hetero-epitaxiale, controlul formării interfețelor în structuri multistrat și materiale nanostructurate.

❖ **AP1.3: Tehnici de caracterizare și computazionale**

Motivatie: Caracterizare și modelare straturi subțiri.

Scop: Optimizare parametrii de depunere, creștere și procesare.

❖ **AP1.4: Tehnologii de creștere, inginerie de defecte**

Motivatie: Înțelegerea rolului defectelor și impurităților în structura materialelor, a straturilor subțiri și a materialelor nanostructurate asupra proprietăților fizice de interes aplicativ.

Scop: Dezvoltare și optimizare tehnologii de depunere, creștere și procesare.

❖ **AP1.5: Straturi și multistraturi pentru senzori de gaze și lichide**

Motivatie: Descoperirea a noi materiale sensibile la lichide și gaze și explicarea fizicii care stă la baza sensibilității electronice la interacțiunea cu mediul lichid sau gazos.

Scop: Crearea de noi senzori funcționali, care să poată determina procentul unui gaz într-un amestec, cu mare precizie și cu înaltă selectivitate. Crearea unor senzori multifuncționali care să determine mai multe mărimi simultan. Obținerea de senzori biologici.

**AP2: MATERIALE PENTRU APLICĂȚII ÎN ELECTRONICĂ, BIOLOGIE, MEDICINĂ, OPTICĂ, COMUNICĂȚII, ENERGIE, AUTOMATIZĂRI, MEDIU, METODE DE STUDIU**

State of the art: O arie de larg interes la nivel internațional este dezvoltarea de materiale și structuri funcționale și multifuncționale cu aplicabilitate directă în electronică, comunicații, medicină, energie, mediu, etc. Provocarile actuale necesită abordări multidisciplinare care includ și dezvoltarea de noi materiale capabile să înlocuiască materiile prime în curs de epuizare, să crească eficiența energetică, să protejeze mediul inconjurator sau să se interfateze ușor cu sistemele vii. De mare viitor sunt materialele complexe de tip nanocompozite, metamateriale, super-rețele și heterostructuri care pot dobândi funcționalități noi sau mult îmbunătățite față de cele ale fazelor componente. Câteva exemple: materiale dielectrice low-k și high-k pentru electronică și telecomunicații; materiale de tip multiferic artificial pentru memorii cu stări multiple și pentru electronică de spin; materiale nanofuncționalizate utilizate în industria textilă, cosmetică sau farmaceutică pentru protecția termică, la radiații UV, etc.; diferite materiale și structuri utilizate în conversia energiilor termice, mecanice, luminoase în energie electrice; materiale pentru stocare de informație și energie și multe altele.

Știința biomaterialelor cunoaște o dezvoltare impetuoasă determinată de dorința de prelungire a vieții și creșterea calității ei prin mijloace biomedicale și biomateriale avansate. Alături de industria farmaceutică și cea de aparatură medicală, prinde contur industria biomaterialelor. Cercetările sunt predominant orientate spre biomateriale cu proprietăți influențabile la nanoscală, fie ele biomateriale metalice, izolatoare, structuri de carbon, polimeri, bionanostructuri, sisteme hibride cu aplicații în domeniul nanotehnologiilor biomedicale și al toxicologiei.

Realizari interne si expertiza: La nivel national au fost obtinute rezultate semnificative in obtinerea si caracterizarea unor materiale si structuri multifunctionale cu aplicabilitate in electronica, energetica, medicina, comunicatii. Au fost dezvoltate si caracterizate o serie de biomateriale suport pentru ingineria tesuturilor, nanoparticole de metal nobil pentru diagnostic si terapie/nanobiofarmaceutice, materiale feroelectrice/piezoelectrice, dielectrice, semiconductoare atat sub forma de cristal sau ceramica cat si sub forma de straturi subtiri, multistraturi sau compozite, fie policristaline fie amorf. In ultimul timp au aparut realizari si in domeniul compozitelor de tip organic-inorganic sau in ceea ce priveste electronica cu polimeri. Noile infrastructuri de cercetare dezvoltate in ultimul timp vor permite aprofundarea studiilor in domeniul materialelor si structurilor multifunctionale, permitand o corelare mai buna intre analizele structurale, de compozitie si rezultatele investigarii proprietatilor fizice, cu feedback direct catre tehnicile de preparare.

#### ❖ **AP2.1: Biomateriale**

Motivatia: Actualitatea subiectelor abordate si validarea rezultatelor obtinute prin publicarea lor in reviste internationale consacrate.

Scop: Mentinerea/intarirea grupurilor de cercetare care si-au castigat vizibilitate internationala.

#### ❖ **AP2.2: Materiale feroelectrice si multiferoice**

Motivatia: Dezvoltarea de materiale si metode de investigare pentru intelegerea si controlul proceselor de memorie in dielectrics neliniari si multiferoici.

Scop: Obtinerea structurilor cu stari de memorie multiple si/sau alte posibile aplicatii pe baza de materiale feroelectrice si/sau multiferoice.

#### ❖ **AP2.3: Materiale dielectrice**

Motivatia: Dezvoltarea de materiale dielectrice si aplicatii pentru electronica, comunicatii, mediu, energie.

Scop: Obtinerea de materiale dielectrice cu performante ridicate in stocarea de sarcina, operarea la temperaturi, campuri electrice, frecvente mari si sau i campuri de radiatii.

#### ❖ **AP2.4: Cristale lichide, moleculare si polimeri**

Motivatia: Dezvoltarea unor structuri bazate pe cristale lichide, moleculare sau polimeri, pentru dispozitive fotonice, senzori chimici si biologici.

Scop: Identificarea conditiilor in care alinierea moleculara este modificata de prezenta agentilor chimici /biologici precum si a campurilor electromagnetice intense, dezvoltare de aplicatii.

#### ❖ **AP2.5: Nanocomposite, multistraturi, super-retele**

Motivatia: Obtinerea de materiale structurate, heterostructuri, nanocompozite si nanostructuri, caracterizare si modelare pentru intelegerea si optimizarea proprietatilor fizice de interes aplicativ.

Scop: Obtinerea de materiale cu functionalitati noi sau mai bune decat ale fazelor componente, identificarea si dezvoltarea de aplicatii.

#### ❖ AP2.6: Materiale semiconductoare

Motivatie: Dezvoltare de materiale si structuri pe baza de semiconductori (jonctiuni, MOS, MOSFet, etc.) pentru operarea la temperaturi ridicate, campuri electrice mari si/sau in campuri de radiatii.

Scop: Obtinerea de materiale si structuri pentru senzori si detectori.

#### ❖ AP2.7: Solide in stare amorfa: fenomene si aplicatii

Motivatie: Starea dezordonata a materiei solide, starea amorfa, este un domeniu cu mari perspective aplicative. Electronica si opto-electronica moderna se bazeaza pe materiale precum siliciul amorf si numerosi calcogenici in stare vitroasa. Se utilizeza sticlele oxidice complexe dopate cu elememnte de pamanturi rare pentru inregistrarea informatiei.

Scop: Crearea de medii de memorare tridimensionale, de mare densitate. Obtinerea de memorii cu mai multe trepte (memorii inteligente). Crearea de masini inteligente operand cu algebra neboleana.

### **AP3: MATERIALE MAGNETICE: PROPRIETĂȚI ȘI APLICAȚII ÎN BIOLOGIE, MEDICINĂ, TEHNOLOGII INFORMAȚIONALE, COMUNICAȚII, ELECTRONICĂ, ENERGIE, MEDIU ȘI INDUSTRIA AUTO**

Dezvoltarea de noi materiale magnetice, studiul proprietăților acestora și a fenomenelor ce au loc în astfel de materiale, precum și realizarea de noi aplicații care utilizează astfel de materiale, aplicații care au o paletă largă de utilizare în domenii ca biologia, medicina, IT, comunicații, electronică, energie, mediu, industria auto, constituie preocupări de vârf la nivel mondial.

State of the art. Cercetările realizate recent în cadrul acestei teme (perioada 2008-2011) au rezultat într-un număr semnificativ de articole publicate pe plan mondial în domeniul materialelor și proprietăților magnetice, respectiv peste 40.000 (rezultat al căutării efectuate pe Web of Science după cuvântul cheie „magnetic properties”).

Realizări interne și expertiză. În cadrul temei există un număr de subiecte în care activitățile cercetătorilor din România sunt la nivelul cercetărilor din centre internaționale consacrate. Aceste subiecte acoperă întreaga gamă începând cu materialele (materiale magnetice cu structuri speciale – amorse și nanostructurate; materiale pentru spintronică), proprietățile și fenomenele de interes (fenomenele de magnetotransport – magnetorezistența și magnetoimpedanța gigant; fenomenele de rezonanță magnetică), și terminând cu cele mai reprezentative aplicații pentru domeniile de utilizare avute în vedere (senzorii și actuatorii magnetici, inclusiv cei biomedicali). Pentru specialitățile menționate, indicele Hirsch al articolelor științifice publicate de autori români are o pondere importantă în indicele Hirsch al articolelor publicate pe plan mondial, acesta fiind cuprins între 20 și 35% în perioada 2008-2011.

Numele principalelor instituții cu contribuții/activități în această tematică: Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Fizică Tehnică – IFT Iași; Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica Materialelor - INCDFM București; Universitatea “Alexandru Ioan Cuza” Iași; Universitatea Tehnică “Gheorghe Asachi” Iași; Universitatea Babeș – Bolyai Cluj Napoca; Universitatea de Vest din Timișoara; Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca; Universitatea Politehnică din Timișoara; Universitatea Transilvania din Brașov; Institutul Național de Cercetare-

Dezvoltare pentru Inginerie Electrică ICPE-CA București; Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Microtehnologii – IMT București; Universitatea de Medicină și Farmacie Cluj-Napoca; Universitatea de Medicină și Farmacie din Iași; Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați.

#### ❖ **AP3.1: Materiale magnetice cu structuri speciale (inclusiv amorfe și nanostructurate)**

Motivație: Materialele magnetice amorfe și nanostructurate, inclusiv cele magnetostrictive, sunt materiale versatile, sub formă de benzi, pulberi, fire, microfire, nanofire, materiale masive, straturi subțiri, care oferă suportul necesar studiului unui număr foarte mare de efecte și fenomene specifice, și care pot constitui elemente sensibile în numeroși senzori pentru aplicații în domeniile vizate.

Scop: Dezvoltarea de noi astfel de materiale, studiul caracteristicilor lor structurale și magnetice și a corelației dintre acestea din perspectiva aplicabilității în domeniile de vârf avute în vedere; dezvoltarea unor aplicații biomedicale de mare interes, cum ar fi, de exemplu, implanturile cohleare.

#### ❖ **AP3.2: Fenomene de magnetotransport**

Motivație: fenomenele de acest tip prezintă particularități care le fac deosebit de utile pentru aplicații în senzori foarte sensibili, cu aplicabilitate inclusiv în magneto-cardiografie, o preocupare care a luat o amploare deosebită în ultimii 5 ani.

Scop: controlul fenomenelor de magnetotransport în diverse materiale magnetice; mărirea sensibilității fenomenelor; găsirea de noi fenomene de magnetotransport; aplicarea directă în domeniile vizate.

#### ❖ **AP3.3: Senzori și actuatori magnetici (inclusiv bio)**

Motivație: există o necesitate majoră legată de dezvoltarea unor noi tipuri de senzori foarte sensibili și rezistenți, inclusiv cu funcționalitate multiplă, dar și realizarea unor rețele de senzori pentru monitorizarea stării de sănătate a oamenilor, pentru monitorizarea unor procese și sisteme complexe industrie, energie, mediu.

Scop: realizarea unor senzori și rețele de senzori pe bază de materiale magnetice având autonomie ridicată (inclusiv cu componentă de „energy harvesting”) care să asigure determinarea unei stări complexe a unui sistem sau a unei anumite stări umane (oboseală, funcții vitale, etc.).

#### ❖ **AP3.4: Materiale pentru spintronică**

Motivație: aplicațiile în spintronică s-au dezvoltat extraordinar de mult în ultima perioadă. Această dezvoltare necesită realizarea de noi materiale cu caracteristici îmbunătățite pentru astfel de utilizări.

Scop: Realizarea de noi materiale care se pot produce mult mai ieftin, cu caracteristici similare sau îmbunătățite față de materialele spintronice existente.

#### ❖ **AP3.5: Rezonanță magnetică**

Motivație: Studiul acestui fenomen permite dezvăluirea unor aspecte specifice materialelor magnetice, aspecte dificil de descoperit prin alte tehnici.

Scop: Dezvoltarea unor noi tehnici de caracterizare a materialelor magnetice prin utilizarea rezonanței magnetice și dezvoltarea unor noi tipuri de senzori biomedicali pe baza acestui fenomen.

#### AP 4: SUPRAFETE MICRO- SAU NANO-STRUCTURATE DE LARGI DIMENSIUNI

**State of the art, Realizari interne si expertiza:** Aria de aplicatie a laserilor de putere in domeniul procesarilor de materiale cunoaste o dezvoltare accelerata, evolutia fiind dictata de aparitia unor tehnici de precizie si randament. O tendinta de integrare a sistemelor laser in procese industriale poate fi identificata, cu implicatii in prelucrarea suprafetelor pentru modificarea caracteristicilor mecanice, optice, tactile. Aplicatiile se regasesc in domenii industriale esentiale: transport, mecanica (tribologie), cataliza, sanatate si energii alternative. Aplicatiile laser reprezinta un domeniu principal de cercetare in laboratoare romanesti, cu note specifice in ingineria suprafetelor. Analiza WOS indica o expertiza solida atit in numar de publicatii (3-8%) cât si in factor h (10-30%).

- ❖ **AP4.1: Dezvoltare de tehnologii laser de mare precizie pentru prelucrarea/texturarea suprafetelor cu topologii complexe (non-planare)**
- ❖ **AP4.2: Interactii de suprafata, activarea laser a suprafetelor**
- ❖ **AP4.3: Procese fundamentale de interactie laser cu suprafete si interfete. Metode computationale de analiza a interactiei laser cu materia**
- ❖ **AP4.4: Nanoprosesare de filme subtiri si interfete**
- ❖ **AP4.5: Tehnici standard de prelucrare de materiale cu laser (tratamente termice, decupaje, separare, asamblare de materiale nesimilare, curatare laser, dopaj laser, aplicatii in conservare etc). Dezvoltare de noi procese de productie.**
- ❖ **AP4.6: Suport: Tehnologii de monitorizare si diagnostic, Tehnologii de control de fascicol, Tehnologii laser, metrologie, Tehnici de observatie si caracterizare de suprafete.**

Motivatie, Scop: Posibilitatea de a functionaliza suprafete cu topologii complexe cu precizie, pe zone de dimensiuni largi si intr-un mod eficient, compatibil cu un proces industrial, are implicatii profunde in domenii conexe (mecanica, tribologie, energie etc). Asistenta financiara necesara este legata de dezvoltarea infrastructurii laser si promovarea unor studii specifice, conform subiectelor anuntate, de interactie radiatie-suprafata.

#### AP5: TRANSFER DE MATERIE ASISTAT LASER

State of the art, Realizari interne si expertiza: Fabricarea de materiale noi, straturi subtiri functionale cu aplicatii in optica, microelectronica sau mecanica a cunoscut incepind din anii 80 o dezvoltare accelerata. Implicatiile sint multiple, de la crearea de straturi cu proprietati relevante in optica si aplicatii fotovoltaice pina la heterostructuri in electronica sau straturi cu caracteristici tribologice in domeniul mecanicii. Acest domeniu este bine reprezentat in cercetarea romaneasca in cimpul de aplicatii laser. Zona de interes acopera diverse arii; de la generarea de materiale compozite noi, plasmonica, pina la bio-aplicatii. Infrastructura existenta este adecvata pentru o activitate performanta, bine incadrata in noile tendinte de cercetare la nivel international si asistata de un sistem de colaborari internationale solide si participari la programe europene.

- ❖ **AP5.1: Depuneri de straturi subtiri constituite din materiale complexe. Aplicatii in electronica (senzori, etc), bioaplicatii**
- ❖ **AP5.2: Imprimare prin transfer de material**
- ❖ **AP5.3: Metode de diagnostic, Metode numerice de modelare**
- ❖ **AP5.4: Metode de analiza prin ablatie laser (MALDI, LIBS)**
- ❖ **AP5.5: Suport: Tehnologii de monitorizare si diagnostic, tehnologii de control de fascicol, tehnologii laser, metrologie**

Motivatie, Scop: Motivatia este legata in primul rind de generarea de materiale si structuri functionale structurate la nivel micro si nano, si potential lor de functionare intr-o gama larga de aplicatii, in special in electronica si bioaplicatii in sinergie cu domeniul nanostiintelor si nanotehnologiilor. Acest scop implica si dezvoltarea de tehnici de caracterizare si profilare laser cu rezolutie micro si sub-micrometrica.

#### **AP6: PRELUCRARI LASER IN TREI DIMENSIUNI**

State of the art, Realizari interne si expertiza: Un efort considerabil este depus astazi in domeniul opticii integrate pentru aplicatii in telecomunicatii si informatie, tehnici analitice (micro-fluidica, lab-on-chip), instrumentatie optica (astrofotonica, procesarea de informatie, etc). In speciale tehnicile de procesare 3D pot deschide aplicatii noi si grade de libertate suplimentare de functionare a dispozitivelor, cu impact socio-economic in special in domeniul IMM-urilor de inalta tehnicitate. De aici deriva o nevoie de dezvoltare de tehnici de procesare 3D ce implica utilizarea radiatiei laser (in mod particular pulsuri de durata scurta), in special pentru aplicatii si functionalizari de materiale unde dimensiunea de structurare are o importanta critica. Primul domeniu de aplicatii este cel al dispozitivelor fotonice integrate cu extensie in zona micro si nano-sistemelor, in care au fost lansate deja actiuni de pionierat vizind metode si dispozitive analitice precum si surse laser si statii de procesare. De asemenea, domeniul de aplicatii laser in manipulare de materie, tehnici de microscopie de super-rezolutie si interactia cu sisteme biologice cunoaste acum o dezvoltare rapida, raspunzind unor necesitati imediate ale societatii. Acesta reprezinta un domeniu emergent cu mari posibilitati de dezvoltare. Cercetarea romaneasca vizeaza atat domeniul de aplicatii optice, optica integrata si procesare laser, cit si aplicatii in biologie, medicina si productia de micro-nanosisteme.

- ❖ **AP6.1: Functionalizare optica a materialelor transparente: aplicatii fotonice, tehnologia informatiilor, criptaj**
- ❖ **AP6.2: Asamblare laser 3D, generare de dispozitive complexe (fotopolimerizare, sinteza 3D, etc). Prototipaj rapid**
- ❖ **AP6.3: Micro, nano-sisteme, sisteme de analiza optico-chimica, opto-biologica**
- ❖ **AP6.4: Aplicatii in biologie si medicina. Metode de analiza si reconstructie 3D.**

Aplicatiile se referă la nanochirurgie celulara, manipulări optice, interacții locale asistate de nanoparticule, metode calitative și cantitative de microscopie rapidă, analiză dincolo de limita de difracție. Ca metode de analiză menționăm OCT, holografie digitală, etc.

❖ **AP6.5: Suport: tehnologii de monitorizare și diagnostic, tehnologii de control de fascicol, tehnologii laser, metrologie**

Motivație, Scop: Obiectivele sunt legate de dezvoltarea de procedee de interacție și modificare de materiale în 3D pentru aplicații în optica integrată, tehnici analitice și, mai ales, aplicații emergente în biologie și tehnologie medicală.

**AP7: SINTEZA ȘI CARACTERIZAREA MATERIALELOR ORGANICE, BIO-ORGANICE ȘI NANOMATERIALE HIBRIDE PENTRU DISPOZITIVE DE DETECTIE ȘI APLICATII BIOMEDICALE**

State of the art: Dispozitivele de senzori care includ în compoziția lor materiale organice au devenit în ultimii ani primordiale pentru detectia de molecule analitice în faza de vapori. Studiile recente indică posibilitatea de a adapta și a utiliza acești senzori pentru detectia de molecule biologice complexe. Dezvoltarea acestei linii de cercetare pentru obținerea de senzori flexibili și miniaturizați bazati pe electronica organică poate să aducă beneficii importante în detectia compusilor chimici și biologici. Pe de altă parte, senzorii biologici care includ în compoziția lor molecule biologice asigură identificarea selectivă a compusilor chimici în produse industriale, substanțe chimice, mediu, sau a moleculelor biologice pentru diagnostic medical. Acest tip de senzori rămâne prima alegere pentru dispozitive de detectie miniaturizate datorită amplificării lor înalte și a selectivității. Dezvoltarea tehnologiilor pentru imobilizarea moleculelor biologice ca elemente de recunoaștere în biodetectori reprezintă un factor crucial în construcția biosenzorilor. În ultimii ani s-a acordat o atenție specială optimizării strategiilor pentru imobilizarea biomoleculelor. Nanomaterialele hibride care includ în compoziția lor atât compuși organici cât și inorganici reprezintă de asemenea o linie de cercetare importantă în ultimii ani atât pentru proiectarea de noi dispozitive de detectie cât și pentru aplicații terapeutice. Aceste nanomateriale au avantajul că includ proprietățile individuale ale componentelor organice și inorganice dar oferă și posibilitatea de acordare a caracteristicilor finale.

Realizări interne și expertiză: Pe plan național liniile de cercetare cu cele mai importante rezultate publicate în ultimii ani sunt în domeniul polimerilor și biopolimerilor pentru aplicații medicale, terapeutice și administrare controlată de medicamente. Alte linii de cercetare semnificative sunt cele din domeniul biosenzorilor enzimatici și al sistemelor hibride organic-inorganic. Finantarea trebuie să includă fonduri pentru achiziționarea infrastructurii performante necesare acestor studii, atât pentru procesele de sinteză cât și cele de caracterizare.

❖ **AP7.1: Dispozitive de detectie**

Motivație: dezvoltarea de structuri organice, bio-organice și inorganice, crearea de noi cunoștințe, de importanță strategică pentru aplicații în domeniul detectiei compusilor chimici și biologici.

Scop: crearea de noi materiale complexe pentru testarea calității hranei, mediului și controlul siguranței.

❖ **AP7.2: Dispozitive de diagnostic medical**

Motivație: Dezvoltarea de structuri organice, bio-organice și hibride care includ în compoziția lor atât compuși organici cât și inorganici pentru recunoașterea de molecule de analit. Studiile de interacție



moleculara au o importanta cheie in diagnosticarea oricarui tip de boala, incluzand cancerul si disfunctiile genetice.

Scop: testarea raspunsului structurilor organice, bio-organice si hibride in prezenta unui grup specific de materiale sau substante, investigarea mecanismelor bolilor, dezvoltari de noi medicamente.

#### ❖ **AP7.3: Aplicatii terapeutice**

Motivatie: intelegerea influentei materialelor bio-organice asupra formarii tesuturilor si viabilitatea celulelor este fundamentala pentru dezvoltarea de noi materiale biocompatibile.

Scop: modificarea biomaterialelor cu includerea in compozitia lor molecule bio-organice bioactive pentru ingineria tesuturilor si medicina regenerativa.

#### ❖ **AP7.4: Administrare controlata de medicamente**

Motivatie: principalul avantaj al moleculelor biologice cu proprietati terapeutice sunt toxicitatea foarte redusa si posibilitatea eliminarii efectelor secundare. Identificarea posibilitatilor de a utiliza acesti "natural born killers" poate sa aduca beneficii clinice importante.

Scop: terapii pe baza de molecule bioactive prin incapsularea lor in materiale biocompatibile.

### **AP8: TEHNICI INOVATIVE PENTRU PROCESAREA SI CARACTERIZAREA MATERIALELOR LA SCARA NANOMETRICA (SUB-MICROMETRICA)**

State of the art: Materialele la scara nanometrica se afla in atentia comunitatii stiintifice datorita proprietatilor specifice care permit dezvoltarea de noi aplicatii in electronica, medicina, mediu si energie, chimie, farmaceutica, biotehnologie. Aceste proprietati pot fi foarte diferite de cele ale materialelor analoage in forma de "bulk" si sunt determinate de morfologia, forma si dimensiunea nanostructurilor. In consecinta, obiectivul principal al cercetarilor il reprezinta dezvoltarea de noi tehnici efective pentru fabricarea de materiale cu o morfologie controlata si astfel cu proprietati acordabile. Prin aceste tehnici si noi metode de caracterizare materialele nanostructurate se afla in centrul cercetarilor in domeniul fizicii aplicate, stiinta materialelor si inginerie.

Realizari interne si expertiza: Cercetarea romaneasca in acest in domeniu include in ultimii ani atat dezvoltarea de noi metode de nanostructurare a materialelor, oxizi, metale, materiale polimerice, carbon, materiale hibride organice-inorganice, cat si caracterizarea lor pentru aplicatii medicale, optice, sau in domeniul senzorilor de gaz. Analiza WoS arata prezenta semnificativa a contributiilor romanesti in acest domeniu. Resursele financiare ar trebui sa asigure efectuarea acestor studii prin proiecte de cooperare intre institutii cu preocupari in domeniu si sa faciliteze accesul la infrastructura existenta, atat nationala cat si internationala.

#### ❖ **AP8.1: Tehnici de procesare, mecanisme de formare si autoasamblare**

Motivatie: dezvoltarea de noi metode de nanostructurare si procesare a materialelor la scala nanometrica asigurand reproductibilitate si control asupra dimensiunii, morfologiei, structurii si compozitiei chimice.

Scop: aplicatiile nanostructurilor de inalta performanta includ dispozitive de detectie si monitorizare, dispozitive biomedicale, generare si stocare de energie, electronica si fotonica la scara nanometrica.

#### ❖ AP8.2: Metode de caracterizare

Motivație: caracterizarea obiectelor nanometrice este un domeniu de interes dar cu limitari si inconveniente tehnice si metrologice semnificative. Identificarea solutiilor care sa permita inlaturarea acestor limitari constituie obiectivul principal in dezvoltarea de noi tehnologii pentru testarea si controlul nano-materialelor.

Scop: dezvoltarea de noi tehnici de caracterizare versatile pentru evaluarea proprietatilor morfologice, chimice si functionale, optice, electrice, magnetice, mecanice ale materialelor la scara nanometrica.

### III.10.2 Impact

Numarul mare de implanturi realizate in scopuri medicale, precum si dezvoltarea continua a domeniului ingineriei tesuturilor indica importanta acestora pentru ingrijirea sanatatii si impactul economic al industriei biomaterialor. Functionalizarea suprafetei implanturilor cu biomolecule reprezinta un domeniu de interes atat pentru crearea unor materiale si structuri bioactive cat si pentru administrarea controlata de medicamente. Pe de alta parte, studiul materialelor organice, bio-organice si hibride vor avea un impact semnificativ pentru viitoare dispozitive de detectie, diagnostic clinic si terapie, industria alimentara, precum si sisteme de analiza si monitorizare de mediu.

Având în vedere perspectivele de utilizare deosebit de favorabile pe care materialele magnetice le au în domenii precum tehnologia informațiilor și comunicațiile, industria automobilistică, medicină, energie, bioinginerie și alte domenii conexe, precum și rapiditatea transferului rezultatelor din cercetare în aceste domenii, se estimează că în următorii 10-15 ani astfel de preocupări vor avea un impact important asupra creării de noi activități economice.

Dezvoltarea de noi procese de sinteza si tehnici de caracterizare la scara nanometrica sunt linii de cercetare de interes datorita proprietatilor specifice ale nanomaterialelor care permit utilizarea lor in dispozitive electronice, biomedicale, medicina, mediu, energie, si industria farmaceutica.

Procesarea suprafetelor si crearea de noi functii mecanice, optice, senzoriale este un domeniu in care implicatiile industriale ale tehnologiilor laser indica un cimp de oportunitati remarcabil. Functionalizarea materiale prin ablatie laser are un potential important pentru dezvoltarea de noi procedee eficiente de productie, la pragul aplicatiilor industriale.

Dezvoltarea de materiale noi cu caracteristice performante in forma de straturi si acoperiri are deja un impact semnificativ in aplicatii electronice, analitice, mecanice. Performanta dispozitivelor depinde de ingineria materialelor atat pe scara macro cit si in micro si nanotehnologii, unde sistemele laser pot deveni atat instrumente de fabricatie avantajoase cit si instrumente de investigatie analitica.

Aplicatiile rezultate din capacitatea de procesare 3D cu flexibilitate si precizie maxima indica un impact considerabil in tehnologii optice directe ce permit dezvoltari in domenii conexe, in special cel al transportului de informatie si al tehnicilor medicale, raspunzind unor necesitati societale.

### III.10.3 Analiză SWOT

#### PUNCTE TARI:

- experiența și rezultatele validate internațional prin publicații și parteneriate;
- existența unor echipe multidisciplinare de cercetători cu experiență în domeniile abordate;
- dotările cu echipamente performante;
- tineri cercetători care doresc să se angajeze în proiecte dacă li se asigură condiții financiare decente;
- experiență în participarea la proiecte naționale și internaționale de anvergură;
- existența unei infrastructuri moderne de comunicare.

#### PUNCTE SLABE:

- finanțarea deficitară la nivel național a activităților;
- întreținerea echipamentelor exclusiv din fonduri obținute prin contracte;
- lipsa de personal tehnic înalt calificat / manageri de instalații cu contract permanent și salariu de bază garantat;
- îmbătrânirea personalului de cercetare.

#### OPORTUNITĂȚI:

- interesul nou arătat pentru cercetare este perceput ca o circumstanță favorabilă;
- entuziasmul cercetătorilor - de toate vârstele și, în special, al multor cercetători tineri;
- potențial ridicat de participare la proiecte din Programele Cadru ale UE;
- potențial ridicat de creștere a vizibilității internaționale prin publicarea unor articole științifice de mare interes în reviste științifice de largă circulație.

#### AMENINȚĂRI:

- neîncrederea tinerilor cercetători în perspectivele cercetării în România și renunțarea la proiecte acceptate dar finanțate cu întârziere;
- fenomenul de „brain-drain”;
- fluctuațiile în finanțarea la nivel național a activităților de cercetare datorită schimbărilor dese a priorităților politice;
- criza economică.

Cercetarea românească joacă un rol vizibil în competiția internațională cu un potențial semnificativ de a mari această pondere prin parteneriate științifice și economice. Rezultatele obținute vizează în mod dominant fenomenul ablației laser, cu o componentă astăzi mai modestă în domeniul direct al procesării de suprafețe. Dezvoltarea infrastructurii laser și expertiza existentă în instituțiile tehnice de educație creează premise bune pentru relansarea unei activități competitive în domeniu. Se poate remarca un potențial de structurare orizontală prin cooperări naționale ce implică industria de profil, în special (auto, mecanică, tribologie, microelectronică, industria energetică) și universitățile tehnice. Activitatea locală de cercetare este bine integrată în actualele tendințe atât grație unei infrastructuri de cercetare de calitate cât și unei serii de colaborări internaționale de succes, indicând un potențial remarcabil de dezvoltare. Existența unor programe europene în domeniu a permis dezvoltarea unor rețele de cooperare în interiorul UE precum și un rol de conducere în domeniul R&D conex.

Analiza rezultatelor WOS arată că, în relație cu oportunitățile de procesare existente, potențialul de cercetare în laboratoare din România poate fi crescut semnificativ, precum și masa critică.

### III.10.4 Obiective pe termen scurt și mediu

#### Obiective termen scurt (2012-2014)

În general, obiectivele sunt prinse în mai multe contracte de cercetare în derulare:

- realizarea de senzori și rețele de senzori pe baza magneto-impedanței gigant;
- realizarea de noi materialele magnetice amorfe și nanostructurate ce pot fi utilizate ca elemente sensibile în senzori pentru aplicații în domeniile vizate;
- realizarea de noi nanomateriale și nanocompuși pentru dispozitive de detecție optică.

#### Obiective termen mediu (2015-2020)

Urmărim să rămănem în relații de cooperare cu instituții prestigioase de cercetare din Europa, dar un număr, să păstrăm interesul pentru teme de vârf, să valorificăm rezultatele cercetărilor în aplicații.

- Dezvoltarea de noi senzori și rețele de senzori ultrasensibili și cu autonomie ridicată pe bază de materiale magnetice, biomolecule, materiale organice;
- Utilizarea materialelor magnetostrictive și nanomateriale hibride organice-inorganice pentru dezvoltarea de noi aplicații biomedicale, diagnostic medical și terapie;
- Dezvoltarea de noi materiale magnetice pentru utilizarea în aplicații biomedicale și în IT și telecomunicații;
- Utilizarea rezonanței feromagnetice pentru caracterizarea materialelor magnetice și dezvoltarea unor noi senzori biomedicali.

Procedeele performante de structurare a suprafețelor sunt legate de dezvoltarea unei infrastructuri performante de tehnologii laser cu instalații de observație și control al lanțului tehnologic și continuarea unui efort de înțelegere de proces combinat cu implementare aplicativă.

Obiectivele transferului de materie asistat laser sunt legate de ameliorarea tehnicilor existente și generarea de noi materiale cu proprietăți funcționale controlate la scară nanometrică pentru aplicații emergente, dezvoltarea capacităților de caracterizare.

Se preconizează dezvoltarea de metode și aplicații legate de funcționalizare 3D a materialelor pentru crearea de dispozitive optice, analitice, micro și nano-sisteme. Aceste obiective vizează și necesitatea dezvoltării unor tehnici rapide (în timp-real) de analiză și control de fascicul cu potențial în generarea unor procedee inteligente de iradiere.

### III.10.5 Recomandări

Se recomandă dezvoltarea activităților de cercetare pe temele selectate selectate, reprezentative pentru amploarea temei, și care sunt sugestive atât pentru ariile în care există o expertiză valoroasă în țară, cât și pentru ariile emergente, cu grad ridicat de nouitate, în care este de așteptat o explozie a preocupărilor și rezultatelor semnificative abia pe termen mediu (de exemplu: senzori biomagnetici cu aplicații în magneto-cardiografie, implanturi biomedicale). Este recomandabilă mai ales organizarea de rețele tematice, pentru o mai bună exploatare a infrastructurilor existente, apte să dezvolte aplicații concrete ale materialelor multifuncționale în domenii de interes pentru economia și societatea românească.

Interesul stiintific si tehnologic impune interconexiuni intre unitati de cercetare, de educatie superioara si unitati economice (industria mecanica, automobile, aviatie marcaj/securitate) in structuri parteneriale cu obiective comune. Este recomandata sprijinirea dezvoltarii infrastructurii laser (dezvoltarea unor componente de pulsuri scurte) si favorizarea caracterului interdisciplinar si al interactiei cu potentiali beneficiari de aplicatii laser. Aceasta interactie poate contribui la maturizarea tehnicilor propuse, catre o implementare aplicativa directa.

In mod concret, tema dedicata transferului de materie asistat laser ar trebui sprijinita in continuare deoarece corespunde unor activitati de mare vizibilitate internationala si este generatoare de rezultate importante. Aceasta se poate face in paralel cu un efort de structurare si coordonare a subiectelor propuse.

Se recomanda si dezvoltarea unor platforme eficiente de studiu si initierea de tematici noi in domeniul prelucrarilor laser in trei dimensiuni. Este necesara dezvoltarea colaborarilor cu grupuri cu experienta in domeniu, precum si o interactie intertematica (e.g. tema optica si fotonica).

Prelucrarea 3D reprezinta un domeniu emergent in care asistenta pentru dezvoltarea si integrarea in continuare a infrastructurii in noile tendinte poate genera un motor de dezvoltare pentru noi serii de aplicatii.

#### **Tema AP1: Straturi subtiri, suprafete, interfete, materiale structurate si nanostructuri**

Sinteza cautari cuvinte cheie pentru tema AP1 inregistrate in materie de depunere si procesare straturi subtiri si nano-obiecte, perioada 2008-2011:

Cuvânt cheie	Total articole în lume 2008-2011	h-index	Nr. mediu citări/articol	Total articole RO 2008-2011	h-index RO	Nr. mediu de citări/articol RO	Nr. articole RO cu mai mult de 5 citări
crystal growth	19.373	N/A	N/A	116	6	1.47	10
ceramic synthesis	1837	18	2.03	40	5	1.62	5
materials synthesis	10034	N/A	N/A	105	7	1.48	10
amorphous materials synthesis	2817	26	3.18	32	6	2.5	6
thin film deposition	14.236	N/A	N/A	152	6	1.18	12
materials processing	8437	38	2.14	155	5	0.63	5
epitaxy	9.961	37	2.35	17	3	1.47	1
nanowires,	1384	33	5.69	4	2	3.25	1

synthesis							
nanotubes, synthesis	1881	33	4.63	16	5	3.56	5
nanostructures, synthesis	6.386	47	4.9	45	5	1.89	6
as grown defects	2624	23	2.33	20	3	3.2	3
Impurities	9457	45	2.84	102	7	1.58	8
nucleation and growth	9785	41	3.05	34	4	1.32	3
self assembling	2328	41	5.26	33	4	1.79	4
surface structure	66.690	N/A	N/A	452	10	1.44	47
surface properties	79.427	N/A	N/A	649	11	1.33	58
surface interactions	21.629	N/A	N/A	103	7	1.62	14
interface structure	14.236	N/A	N/A	81	5	1.19	5
interface properties	16272	N/A	N/A	118	7	1.21	8
nanostructured materials, structure	1381	26	3.93	18	4	1.89	4
nanostructured materials, properties	2382	38	5.06	42	4	1.36	4
plasma simulation	4893	26	2.19	18	5	5.06	5

**Tema AP2: Materiale pentru aplicatii in electronica, biologie, medicina, optica, comunicatii, energie, automatizari, mediu, metode de studiu**

Sinteza cautari cuvinte cheie pentru tema AP2 inregistrate in materie de depunere si procesare straturi subtiri si nano-obiecte, perioada 2008-2011:

Cuvânt cheie	Total articole în lume 2008-2011	h-index	Nr. mediu citări/articol	Total articole RO 2008-2011	h-index RO	Nr. mediu de citări/articol RO	Nr. articole RO cu mai mult de 5 citări
biomaterials	6.664	44	3.72	141	6	1.46	10
biocompatibility	6885	44	3.65	155	7	1.26	11

organic materials	16.500	N/A	N/A	185	7	1.37	12
oxides	28.071	N/A	N/A	582	9	1.17	41
ceramics	21.237	N/A	N/A	254	9	1.75	36
glasses	13.760	N/A	N/A	274	12	2.22	41
chalcogenides	1.326	20	2.73	16	2	1.88	1
ferromagnetic	15.231	N/A	N/A	155	8	1.47	44
ferroelectric	9.408	39	2.6	60	7	1.8	9
multiferroic	381	18	5.13	5	2	1.60	1
sensors	52.553	N/A	N/A	453	10	1.21	26
magnetic sensor	2.827	26	1.98	34	3	1.18	3
spintronics	1946	39	4.51	10	3	8.5	2
liquid crystals	8.083	40	2.96	112	6	1.79	14
molecular crystals	6.993	42	3.65	43	5	2.12	6
polymers	58.340	N/A	N/A	716	13	1.68	71
nanocomposite	11.311	N/A	N/A	137	7	1.15	13
multilayers	5.614	39	3.3	58	5	1.03	6
semiconductors	20.010	N/A	N/A	118	6	1.92	12

**Tema 3 (AP 3): Materiale magnetice: proprietăți și aplicații în biologie, medicină, IT, comunicații, electronică, energie, mediu și industria auto**

Analiza WOS (perioada 2008-2011).

Cuvinte cheie căutate pe WoS	Nr. total articole	h-index	Nr. articole RO	Procent articole (%)	h-index RO	Procent h- index (%)
magnetotransport	1044	19	13	1.25	2	10.53
magnetoimpedance	279	6	7	2.51	2	33.33
magnetic domain walls	737	18	5	0.68	2	11.11
magnetic nanostructures	2314	37	27	1.17	3	8.11
spin transport	4353	41	28	0.64	4	9.76
spin valve	647	21	12	1.85	2	9.52
amorphous magnetic materials	629	14	17	2.70	3	21.43
nanostructured magnetic materials	603	22	6	1.00	0	0.00
nanocrystalline magnetic materials	465	14	10	2.15	1	7.14
amorphous wires	372	9	18	4.84	3	33.33

magnetic nanowires	1913	28	22	1.15	3	10.71
magnetic wires	1641	21	37	2.25	4	19.05
magnetic domain effects	686	17	9	1.31	2	11.76
magnetization curves	1019	16	26	2.55	1	6.25
magnetic hysteresis	3574	23	69	1.93	3	13.04
magnetization dynamics	1409	25	16	1.14	4	16.00
magnetostriction	1080	13	21	1.94	3	23.08
ferromagnetic resonance	1558	20	10	0.64	4	20.00
nanoscale materials	1626	38	5	0.31	1	2.63
magnetic device	4465	38	31	0.69	2	5.26
magnetic sensors	2256	29	39	1.73	4	13.79
biomagnetic sensor	17	2	0	0.00	0	0.00

#### **Tema 4 (AP 4): Suprafete micro sau nano structurate de largi dimensiuni**

Analiza WOS (perioada 2008-2011).

Cuvinte cheie căutate pe WoS	Nr. total articole	h-index	Nr. articole RO	Procent articole (%)	h-index RO	Procent h-index (%)
Laser ablation	6953	33	216	3%	8	24%
Laser structuring	303	10	10	3%	3	33%
Laser processing	4875	32	58	1%	3	10%
Ultrafast OR femtosecond laser ablation	1150	16	18	2%	4	25%
Laser surface interaction	1126	19	19	2%	2	10%
Laser surface structuring/processing	1371	19	19	1%	2	10%
Laser surface activation	329	13	2	0.6%	1	8%
Laser film processing	418	12	7	2%	2	30%
Laser treatment	9589	36	72	2%	4	11%
Laser assembling	135	9	3	2%	1	10%
Laser surface nanostructuring, nanopatterning, periodic patterns	170	11	3	2%	1	10%



### **Tema 5 (AP 5): Transfer de materie asistat laser**

Analiza WOS (perioada 2008-2011).

Cuvinte cheie căutate pe WoS	Nr. total articole	h-index	Nr. articole RO	Procent articole (%)	h-index RO	Procent h-index (%)
Pulsed laser deposition	5096	29	179	3.5%	7	25%
Laser material transfer	1210	20	19	1.5%	4	20%
Laser assembling	135	9	3	2%	1	10%
Laser nanoparticles	4158	37	67	1.5%	4	11%
Analitical laser methods LIBS, MALDI	7038	36	15	0.2%	3	8%

### **Tema 6 (AP 6): Prelucrari laser in trei dimensiuni**

Analiza WOS (perioada 2008-2011).

Cuvinte cheie căutate pe WoS	Nr. total articole	h-index	Nr. articole RO	Procent articole (%)	h-index RO	Procent h-index (%)
Laser 3D processing	300	10	4	3%	1	10%
Laser waveguide writing Laser photonics	2700	20	4	-	1	5%
Laser photopolymerization	275	12	3	-	1	8%
Rapid prototyping	320	10	5		0	-
Laser assembling	133	9	3		1	-
Laser surgery	3717	24	13		1	-
Laser MEMS-MOEMS	625	11	5		0	-
Optical tweezers	1386	28	1		0	-
Laser Optofluidics Microfluidics	269 (3555)	15 37	0 16		1 0	-
Optical Coherence Tomography	6214	35	28		3	-
Digital holography Laser	135	9	1		1	-

Analiza WoS perioada 2000-2011:

Cuvinte cheie căutate pe WoS	Nr. total articole	h-index	Nr. articole RO	Procent articole (%)	h-index RO	Procent h- index (%)
enzyme biosensors	3.042	88	61	2.00	17	19.31
organic electronics based sensors	226	30	1	0.4	-	-
carbon nano-biosensors	2.022	88	11	0.54	3	3.40
biopolymers	4.849	94	33	0.68	6	6.38
nanoparticles therapy	4.817	106	31	0.64	5	4.71
polymeric drug delivery	8.865	137	65	0.73	9	6.56
organic inorganic drug delivery	260	33	7	2.69	3	9.09

**Tema 8: Tehnici inovative pentru procesarea si caracterizarea materialelor la scara nanometrica (sub-micrometrica)**

Analiza WoS perioada 2000-2011:

Cuvinte cheie căutate pe WoS	Nr. total articole	h-index	Nr. articole RO	Procent articole (%)	h-index RO	Procent h- index (%)
oxide nanostructures	8.025	118	45	0.56	10	8.47
metal nanostructures	7.418	130	40	0.53	8	6.15
carbon nanostructures	6.816	127	82	1.20	12	9.44
semiconductor nanostructures	4.331	111	21	0.48	5	4.50
polymer nanostructures	3.401	97	31	0.91	4	4.12
hybrid organic - inorganic nanostructures	1.660	73	18	1.08	4	5.47
colloidal nanostructures	1.338	80	11	0.82	2	2.50

### III.11 METODE COMPUTAȚIONALE ȘI TEHNOLOGII INFORMAȚIONALE PENTRU FIZICĂ

Utilizarea tehnologiilor informaționale și a metodelor computaționale avansate constituie o necesitate crescândă în cercetarea de fizică actuală, fiind indispensabilă pentru modelarea și simularea sistemelor complexe. Această evoluție a fost evidențiată, de exemplu, la nivel UE, de un studiu realizat în cadrul PRACE privind distribuția pe domenii științifice a puterii de calcul consumate în supercomputerele europene, care este dominată de Fizica Computațională (particule, materie condensată, plasmă), cu 40%, urmată de Chimia Computațională (22,1%), Dinamica Fluidelor (8,6%), Modelarea Pământului și a Atmosferei (7,8%), Astronomie și Cosmologie (5,8%), etc.

Această secțiune are drept scop prezentarea metodelor numerice și a tehnicilor de calcul pentru suportul la nivel național al cercetării în cele 10 domenii de activitate de mai sus, precum și a strategiei de asigurare a instrumentelor hardware și software necesare.

Un studiu efectuat recent sub coordonarea ANCS a relevat utilizarea tehnologiilor informaționale și a metodelor computaționale avansate pentru cercetarea de fizică în numeroase instituții din țară, dintre care amintim două institute ale Academiei Române (Centrul de Cercetări Tehnice Fundamentale și Avansate din Timișoara și Institutul de Chimie Fizică "Ilie Murgulescu" din București), șase institute de C-D (INCD pentru Fizică și Inginerie Nucleară Horia Hulubei (IFIN-HH), Institutul de Științe Spațiale (ISS), INCD pentru Fizica Laserilor, Plasmei și a Radiației (INFLPR), INCD pentru Fizica Materialelor (INCDFM), INCD pentru Fizica Pământului, INCD pentru Tehnologii Izotopice și Moleculare Cluj (INCDTIM-CJ)) și șase universități (Universitatea din București, Universitatea Alexandru Ioan Cuza din Iași, Universitatea Babeș-Bolyai din Cluj, Universitatea de Vest din Timișoara, Universitatea Politehnică din București și Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași).

Suportul hardware pentru calculul științific avansat, folosind procesoare multicore, se realizează atât în tehnologie grid (calcul distribuit, cu latență mare), cât și prin calcul de înaltă performanță (*High Performance Computing* - HPC), în care mai multe procese se desfășoară în paralel pe noduri diferite și pot comunica între ele cu latența scăzută.

Suportul software este în momentul de față în urma celui hardware, deoarece noile tehnologii cu CPU multicore creează probleme deosebite dezvoltatorilor. În acest context, Gartner Institute a ajuns în 2008 la concluzia că una din cele șapte provocări majore ale calculului numeric efectuat pe procesoare multicore este asigurarea performanței adecvate a codurilor de calcul care ar trebui să fie scalabile cu numărul de core-uri (nuclee) aflate pe un chip. Speranța prognozată de GI în rezolvarea acestei probleme este de 25 de ani.

Utilizarea sistemelor bazate pe procesoarelor grafice (GPGPU) este în creștere, în multe cazuri fiind convenabilă portarea pe acestea a unor aplicații paralele de pe sistemele CPU, deoarece oferă performanțe care pot fi cu ordine de mărime mai mari.

## III.11.1 Teme și subiecte

### IC 1: TEORIA CUANTICĂ A INFORMAȚIEI ȘI FIZICĂ COMPUTAȚIONALĂ

#### ❖ IC 1.1 Teoria cuantică a informației

Entanglement-ul este considerat o nouă resursă fizică fundamentală în teoria cuantică a informației. Unul din cele mai interesante aspecte ale stărilor entanglate (corelate) este că aceste stări manifestă corelații care nu au un analog clasic. Fizica informației cuantice oferă posibilități remarcabile pentru procesarea informației și a comunicării, care nu pot fi obținute prin metode necuantice.

Realizări românești recente remarcabile:

- entropia stărilor termice sau comprimate multimod;
- margini inferioare pentru informația mutuală a unui canal de transmisie cuantic (relevante pentru criptografia cuantică);
- extensia neclasică a definiției distanței între stările cuantice; fidelitatea stărilor cuantice;
- entanglement-ul (corelații cuantice nelocale); influența disipației asupra dinamicii entanglement-ului cuantic;
- decoerența cuantică și tranziția de la comportarea cuantică la cea clasică.

Probleme deschise și obiective:

- clasificarea completă a entanglement-ului bipartit al stărilor mixte;
- entanglement-ul în sisteme cu grade continue de libertate;
- clasificarea și cuantificarea entanglement-ului multipartit al stărilor cuantice arbitrare.

#### ❖ IC1.2 Metode numerice și software pentru fizică

Dezvoltarea de metode numerice este cerută practic de toate domeniile fizicii teoretice (modelare matematică a modelelor fizice pentru obținerea unei complexități polinomiale, dezvoltarea de metode numerice prin discretizare în spații lineare adecvate, implementarea de coduri de calcul capabile să folosească facilitățile hardware existente, precum și dezvoltările avansate ale paradigmatelor și limbajelor de programare), precum și de proiectele experimentale de scară mare (simularea trăsăturilor fundamentale ale noilor instalații experimentale, simularea Monte Carlo, sau prin alte metode, a rezultatelor așteptate de la noile experimente, prelucrarea datelor experimentale ținând seama de noile trăsături ale detectorilor, ale efectelor de corelație induse de interacțiile ce au loc în interiorul acestora, precum și de posibilitățile de parametrizare consistentă a interacțiilor așteptate).

Realizări românești recente remarcabile:

- rezolvarea ecuației Schroedinger prin metode numerice perturbative, care aduc un câștig de eficiență de câteva ordine de mărime;
- dezvoltarea consistentă a fitării exponențiale pentru o clasă largă de metode de aproximare care implică folosirea de baze de reprezentare mixte (polinomiale de puteri și trigonometrice);
- calculul numeric al observabilelor printr-o nouă abordare a rezolvării automate adaptive a integralelor folosind principiile analizei Bayesiene, pe intervale comparabile cu distanța dintre numerele mașinii;

- dezvoltarea de tehnici statistice bazate pe folosirea metodei ecuației de mișcare a funcțiilor Green pentru descrierea tranziției de fază supraconductoare de temperatură critică înaltă.

Probleme deschise și obiective:

- extensia abordării numerice perturbative pentru rezolvarea ecuației Schroedinger multidimensionale;
- paralelizarea algoritmilor existenți sau a noilor algoritmi pentru exploatarea eficientă a noilor trăsături ale hardware-ului;
- implementarea de algoritmi complianți la standardul IEEE 754.

## IC 2: TEHNOLOGII GRID

Infrastructura națională grid constă în prezent din 12 centre de resurse active care însumează peste 5400 de core-uri și care sunt conectate la Rețeaua Națională pentru Educație și Cercetare RoEduNet. Dimensiunea o situează, potrivit standardelor EGI, în rîndul sistemelor grid naționale medii din Europa.

Conform datelor internaționale de monitorizare, această infrastructură a fost utilizată în ultimii ani în proporție de 99% pentru cercetarea de fizică.

### ❖ IC2.1 Suportul grid pentru marile colaborări internaționale

Infrastructura grid existentă asigură baza IT necesară pentru derularea mai multor colaborări internaționale, dintre care se remarcă WLCG și procesarea datelor experimentelor ALICE, ATLAS și LHCb de la LHC-CERN. Pe lângă aceasta, sunt suportate colaborările FCAL/ILC, PANDA-FAIR și H1-Hera-DESY.

În urma activităților de achiziție de la acceleratorul LHC rezultă anual aproximativ 15 PetaBytes de date care necesită stocare și procesare numerică în vederea extragerii informațiilor relevante pentru programele de fizică derulate. Pentru a face acest lucru posibil, s-a propus și implementat gridul de calcul LCG, care constă dintr-o rețea distribuită de centre de resurse hardware și federații de centre dispuse ierarhic (Tier0-Tier1-Tier2) și interconectate prin intermediul unui software specific (middleware) care asigură disponibilitatea permanentă a furnizării serviciilor către comunitatea cercetătorilor interesați de fizica LHC.

Pentru coordonarea internațională a dezvoltării și exploatării gridului LCG, CERN a creat colaborarea Worldwide LHC Computing Grid (WLCG) - al cărei scop este furnizarea resurselor și serviciilor necesare pentru stocarea, procesarea și analiza datelor produse de acceleratorul LHC.

Principalele cerințe actuale și de perspectivă ale colaborării sunt asigurarea de către parteneri a creșterii capacității globale de procesare și stocare de date solicitate de experimentele LHC, precum și a disponibilității cuasi-permanente a serviciilor grid oferite utilizatorilor.

România este reprezentată în colaborarea WLCG prin Federația Română Tier-2 RO-LCG, din care fac parte 5 entități: IFIN-HH (coordonator), Institutul de Științe Spatiale (ISS), INCD pentru Tehnologii Izotopice și Moleculare din Cluj (ITIM), Universitatea Alexandru Ioan Cuza din Iași (UAIC) și

Universitatea Politehnica din Bucuresti (UPB). Aceste institutii participa la WLCG cu 9 centre de resurse grid conectate la reseaua RoEduNet, care contribuie la suportul de calcul necesar pentru experimentele (organizatiile virtuale) ALICE, ATLAS si LHCb cu peste 2800 procesoare logice (nuclee/*cores*) si o capacitate de stocare de 1,6 PetaBytes. Pentru asigurarea conditiilor de disponibilitate de minim 95% a serviciilor grid, conform prevederilor Memorandumului de Intelegere incheiat de ANCS cu CERN, centrele de resurse beneficiaza de tehnica avansata de calcul si de echipamente conexe (pentru climatizare, alimentare electrica, etc.) de ultima generatie. De asemenea RO-LCG dispune de un sistem propriu de monitorizare a resurselor si serviciilor grid, care semnaleaza in timp real abaterile de la functionarea normala a acestora. Organizatia virtuala ATLAS este suportata de catre doua centre grid din IFIN-HH (RO-02-NIPNE si RO-07-NIPNE), de centrul din ITIM-Cluj (RO-14-ITIM) si de centrul din UAIC (RO-16-UAIC). Suportul national pentru organizatia virtuala LHCb este asigurat de centrele grid RO-07-NIPNE, RO-11-NIPNE si RO-15-NIPNE din IFIN-HH. Conform datelor de monitorizare publicate de portalul EGI (<http://www3.egee.cesga.es>) RO-LCG a furnizat in ultimele 12 luni peste 98% din productia grid a Romaniei, fiind executate 2.538.233 de job-uri ATLAS in 2.227.643 de ore CPU (ceea ce reprezinta 1,3% din productia mondiala ATLAS a centrelor Tier-2) si, respectiv 52.801 job-uri LHCb, reprezentand 1,46% din productia globala LHCb a tuturor centrelor Tier-2.

Principalele obligatii pentru federatia RO-LCG sunt asigurarea resurselor de procesare si stocare de date in functie de cerintele experimentelor, precum si a conditiilor de calitate a serviciilor grid furnizate de catre centre la nivelul stipulat in Memorandumul WLCG.

#### ❖ IC2.2 Suportul grid pentru cooperarea științifică la nivel național

Începând cu 2010 a fost implementat, cu cofinanțare de la Fondul European de Dezvoltare Regională, Gridul Național pentru Fizică și Domenii Conexe – GriNFIC, care este dedicat suportului exclusiv al colaborărilor științifice la nivel național (<http://grid.ifin.ro>). GriNFIC oferă comunității științifice din cercetare si educație accesul la servicii de calcul distribuit si paralel, servicii de stocare de date, biblioteci software, instrumente electronice de colaborare. Accesul la serviciile de calcul distribuit se face prin organizația virtuala proprie *gridifin*, a cărei activitate din ultimele 12 luni a reprezentat peste 75% din activitatea tuturor organizațiilor virtuale naționale.

GriNFIC include site-uri grid ale institutiilor membre ale RO-LCG, site-ul MEDGRID al Universității de Medicină și Farmacie Carol Davila, site-ul grid HUTCB al Universității Tehnice de Construcții București, urmând ca alte centre, cum este cel al Facultății de Fizică a Universității București, să se afilieze în scurt timp.

### IC 3: CALCUL DE ÎNALTĂ PERFORMANȚĂ

Contribuția principală la infrastructura de calcul de înaltă performanță provine de la 10 sisteme de calcul paralel cu mai mult de 200 procesoare logice (nuclee/*cores*) fiecare, care sunt găzduite de 3 institute de cercetare-dezvoltare si 5 universități. Aceste sisteme însumează peste 7700 cores si aprox. 50 Tflops. Cu excepția supercomputerului BlueGene/P de la UVT (4096 cores), celelalte sisteme sunt clustere de calcul paralel de dimensiuni medii.

### ❖ IC3.1 Modelarea și simularea sistemelor complexe și a nanostructurilor

Câteva dintre activitățile din domeniul de expertiză al grupurilor din instituțiile amintite, care necesită și vor necesita în continuare metode de calcul paralel și resurse HPC:

- Simularea sistemelor granulare prin dinamica moleculară și rezolvarea ecuațiilor hidrodinamice în 2D și 3D, urmărindu-se formarea de neuniformități și structuri, diferite moduri de curgere, avalanșe, etc.
- Modelarea/simularea numerică a comportării fluidelor complexe (tranziții de fază, structuri și auto-organizare, microfluidică, aplicații) utilizând metode de tip "lattice Boltzmann".
- Simularea transportului de căldură în sisteme nanoscopice, pentru proiectarea și caracterizarea dispozitivelor nanoscopice, cum sunt detectorii ultrasensibili de radiație electromagnetică.
- Simularea numerică a dinamicii condensatelor Bose-Einstein folosind atât formalisme deterministe cât și modele de transport ce descriu deopotrivă condensatul Bose-Einstein și norul termic înconjurător.
- Simulări numerice în cadrul unor modele de transport a dinamicii gradelor de libertate nucleonice, a dinamicii nucleare în prezența unor câmpuri electromagnetice intense (ELI-NP) și a dinamicii plasmei de cuarci și gluoni în condițiile experimentale de la RHIC, Brookhaven, și LHC, CERN.
- Simulări stohastice pentru sisteme de fermioni și bosoni în interacție.
- Modelarea numerică a sistemelor mezoscopice și a nanodispozitivelor.
- Studiul numeric al defectelor în semiconductori.
- Fenomene de transport în semiconductori și structuri nanometrice pe bază de semiconductori.
- Investigarea generării, simularea, vizualizarea și reconstrucția evenimentelor seismice din regiunea Vrancea.
- Simulări de dinamică atomică și moleculară pentru modelarea interacțiunilor în sisteme mari de particule, cu aplicații în fizica atomică, moleculară și biofizică.
- Simularea magnetohidrodinamică radiativă a jeturilor stelare în cadrul astrofizicii computaționale.
- Investigarea formării plasmei de cuarci și gluoni și a hadronizării în ciocniri nucleu-nucleu și proton-proton la energii relativiste și ultrarelativiste.
- Studiul parametrilor termodinamici pentru tranzițiile de fază care apar în ciocniri nucleare la energii ultrarelativiste. Conexiuni cu evoluția cosmologică a Universului.
- Simulări pentru detectori de neutrini precum și procesele de interes ce au loc în volumul sensibil al detectorilor.
- Calcul de prototip pentru diversi detectori utilizați în fizica neutrinilor.
- Calcule privind influența neutrinilor eliberați din reactoarele nucleare asupra rezultatelor obținute în experimentele de fizică a neutrinilor.

### ❖ IC3.2 Suportul HPC pentru colaborări internaționale

Acest subiect se referă la *asigurarea suportului HPC pentru proiectele de cercetare de anvergură, desfășurate pe termen lung, la care România participă și/ sau va participa în baza unor acorduri sau convenții internaționale*, cum sunt:

- colaborările legate de experimentele efectuate la LHC (*Large Hadron Collider*) - CERN, care necesită metode de calcul paralel pentru analiza locală de date;
- proiectul european ELI-NP (*Extreme Light Infrastructure – Nuclear Physics*), pentru care se intenționează simularea interacției radiației laser și gama intense cu materia nucleară;
- experimentele de la FAIR-GSI (*Facility for Antiproton and Ion Research*), în special CBM - pentru recunoașterea traiectoriei particulelor și selectarea online a evenimentelor;
- proiectul ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*) din cadrul programului EURATOM pentru fuziune nucleară; participare la Integrated Tokamak Modelling Task Force (ITM-TF), pentru modelarea numerică a plasmelor tokamak descriabile prin modele MHD (instabilități de tip tearing, instabilități rezistive de perete RWM, echilibru MHD în medii magnetice neliniare, etc) în cadrul EFDA Topical Group MHD.

### III.11.2 Impact

Existența unei infrastructuri informaționale și a unor metode computaționale adecvate constituie cerințe sine qua non ale cercetărilor contemporane de fizică de cel mai înalt nivel și accelerează procesul descoperirii științifice. În particular, sistemul național grid este indispensabil participării românești la colaborarea cu CERN în marile experimente de la LHC. De asemenea, infrastructura de calcul de înaltă performanță este esențială pentru desfășurarea cu succes a unor proiecte FP7, cum este HP-SEE.

Asigurarea portabilității codurilor de calcul existente și sau dezvoltarea de noi coduri pe noile medii de programare (grid, hpc) cu procesoare multi-core necesită dezvoltarea de paradigme de calcul corespunzătoare. De asemenea, în efectuarea de experimente numerice pentru simularea așteptărilor unor experimente fizice noi este necesară garantarea relației de ordine existente în câmpul numerelor reale, atunci când acestea sunt approximate prin numere ale mașinii.

### III.11.3 Analiză SWOT

PUNCTE TARI	PUNCTE SLABE
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instituții de cercetare și de învățământ cu realizări recunoscute și vizibilitate remarcabilă la nivel internațional cooperează pe plan național în cadrul unor rețele grid și în domeniul HPC.</li> <li>• Participare activă în marile colaborări internaționale din domeniu, cu obligații precis specificate prin acorduri (memorandumuri)</li> <li>• Suport indispensabil al activităților de cercetare fundamentală și aplicativă, precum și al celor de dezvoltare tehnologică în domenii de relevanță științifică și interes societal major</li> <li>• Infrastructură de calcul avansată, atestată la nivel european.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infrastructura de calcul de înaltă performanță existentă a fost realizată până în prezent în condițiile unei coordonări insuficiente la nivel național, ceea ce a încurajat proliferarea centrelor de dimensiuni mici și medii în defavoarea centrelor mari.</li> <li>• Dificultatea acoperirii adecvate a costului forței de muncă de înaltă calificare necesară pentru dezvoltarea, administrarea și mentenanța infrastructurii.</li> <li>• Reorganizările repetate ale procesului educațional din ultimii ani au condus la eliminarea componentei informaționale din programele de instruire.</li> </ul>



OPORTUNITĂȚI	RISCURI
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesitatea suportului computațional pentru noi proiecte europene de anvergură cum sunt ELI-NP și KM3NeT</li> <li>• Organizarea comunității naționale de fizică computațională și promovarea cooperării interdisciplinare în cadrul <i>Asociației Române pentru Promovarea Metodelor Computaționale Avansate în Cercetarea Științifică - ARCAȘ</i></li> <li>• Înființarea Gridului Național pentru Fizică și Domenii Conexe – GriNFic</li> <li>• Posibilitatea aderării României la PRACE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Absența unei finanțări planificate a dezvoltării centrelor de resurse HPC poate conduce la imposibilitatea abordării unor proiecte de cercetare care necesită suport computațional major</li> <li>• Ne-aderarea la PRACE blochează accesul comunității naționale de cercetători la infrastructura HPC europeană de top</li> <li>• Absența educației și a training-ului în domeniul IT și al metodelor fizicii computaționale conduce pe termen lung la scăderea numărului specialiștilor, creșterea costurilor cu achiziționarea de software și creșterea decalajului științific</li> </ul>

### III.11.4 Obiective pe termen scurt și mediu

#### Obiective pe termen scurt (2012-2014):

- Gridificarea și paralelizarea pentru sisteme de calcul multicore și GPU a aplicațiilor de fizică existente care pot fi accelerate prin aceste metode
- Dezvoltarea de metode de analiză Bayesiană a aproximării polinomiale a funcțiilor aproape continue peste tot
- Stabilirea cerințelor de resurse hardware, software și aplicații pentru modelarea și simularea experimentelor ce se vor desfășura în cadrul proiectului ELI-NP
- Obținerea accesului comunității naționale de fizică la marile facilități de calcul europene prin aderarea la PRACE

#### Obiective pe termen mediu (2015-2020):

- Dezvoltarea de metode numerice noi, concepute astfel încât să corespundă în primul rând posibilităților de paralelizare oferite de hardware-ul nou (spre deosebire de metodele tradiționale, concepute pentru uz secvențial).
- Gridificarea și paralelizarea pentru sisteme de calcul multicore și GPU a aplicațiilor de fizică existente care pot fi accelerate prin aceste metode
- Asigurarea suportului hardware și software necesar derulării proiectului ELI-NP.
- Continuarea modelării și analizei structurii și proprietăților sistemelor fizice complexe și a nanostructurilor folosind metode de simulare Monte Carlo, ab-initio și de dinamică moleculară.
- Organizarea educației și training-ului continuu pentru crearea de specialiști în domeniul metodelor fizicii computaționale

### III.11.5 Recomandări

- *Sprrijinirea infrastructurii naționale grid și hpc existente și viitoare printr-un program de finanțare pe termen lung (minim 3 ani) a dezvoltării și întreținerii resurselor destinate suportului direcțiilor principale de cercetare în domeniile majore ale fizicii.*
- *Organizarea unei rețele naționale de competență pentru evaluarea aplicațiilor software și alocarea judicioasă a fondurilor și a timpilor de calcul, compusă din cercetători activi în diferite domenii științifice și cu experiență în calculul de înaltă performanță*
- *Includerea marilor centre de resurse în lista instalațiilor de interes național.*
- *Considerarea eligibilității cheltuielilor de întreținere a infrastructurii grid/HPC și cu utilitățile în proiectele CD care depind de această infrastructură*
- *Finanțarea completă și constantă a cercetărilor legate de marile facilități europene, în special cele în care România este țară membru: FAIR, CERN și IUCN-Dubna.*
- *Finanțarea continuă și predictibilă a dezvoltărilor de infrastructură IT pentru a evita efectele negative pe termen scurt sau lung, generate de fluctuații mari ale nivelului de finanțare, de la un an fiscal la altul.*
- *Întărirea participării la colaborările pan-Europene în domeniul IT, și aderarea la PRACE*
- *Orientarea planificată a forțelor existente în domeniul tehnologiilor informaționale și al metodelor numerice pentru participarea efectivă la rezolvarea problemelor specifice cerute de simularea așteptărilor unor eforturi experimentale majore, optimizarea proiectării unor noi tipuri de detectori, modelarea matematică a unor sisteme fizice complexe.*
- *Reintroducerea tehnologiilor informaționale și a metodelor numerice în programele educaționale de nivel superior, pentru stimularea interesului noilor generații și asigurarea necesarului de specialiști.*

## **IV. CERCETAREA DE FIZICĂ DIN ROMÂNIA: ANALIZĂ SWOT, OBIECTIVE ȘI RECOMANDĂRI**

### **IV.1 Analiza SWOT a cercetării de fizică din România**

Din analizele SWOT elaborate în cadrul celor 11 grupuri tematice la nivelul subdomeniilor respective rezultă aspecte comune care pot fi considerate caracteristice cercetării de fizică din România. O sinteză a acestora, completată cu contribuții ale reprezentanților partenerilor în proiect și ale membrilor Comitetului de Coordonare, este prezentată mai jos.

#### **Puncte tari:**

- Tradiție în domeniu, existența unor școli în domeniu
- Personal de cercetare cu performanțe la nivel internațional
- Influx în ultima perioadă de infrastructură de cercetare modernă, de nivel european.
- Participare la câteva mari proiecte europene în domeniu (EURATOM-Fuziune, CERN, FAIR, SPIRAL2, ELI)
- Numeroase acorduri bilaterale internaționale
- Numeroase parteneriate naționale
- Producție științifică bună, peste media națională a cercetării

#### **Puncte slabe:**

- Numar relativ redus de proiecte europene
- Numar redus de brevete și tehnologii aplicate
- Numar redus de parteneriate cu industria românească și lipsa transferului tehnologic
- Prezență scăzută în publicații științifice de top (Science, Nature, Phys. Rev. Lett., etc.)
- Acces limitat la documentare (reviste științifice și baze de date)
- Media de vârstă ridicată a personalului foarte performant și lipsa continuității
- Număr redus de absolvenți ai facultăților cu un grad de pregătire la standardul necesar începerii unei cariere în cercetare
- Lipsa unor proiecte de anvergură la nivel național și a unui mecanism de finanțare al acestora.
- Fragmentarea sistemului național de cercetare în domeniul fizicii și necorelarea programelor de cercetare instituționale
- Infrastructură de cercetare dispersată și lipsa unui management de exploatare optimă la nivel național
- Scăderea accentuată a atractivității muncii în cercetarea științifică, reflectată în numărul tot mai mic și în calitatea tot mai scăzută a resursei umane disponibile
- Incapacitatea sistemului (din motive legislative/financiare) de a atrage din exterior forță de muncă cu calificare corespunzătoare
- Finanțare greoaie și inconstantă a cercetării

#### **Oportunități:**

- Realizarea proiectului european ELI-NP la Măgurele
- Atragerea rapidă de colaborări externe bazate pe noua infrastructură achiziționată
- Acces la marile infrastructuri de cercetare existente sau în curs de realizare în Europa

- Acces la programe de finanțare externe (Programe Cadru ale UE, NATO, etc.)
- Acces la infrastructura și programele științifice ale organizațiilor internaționale la care România este țară membră sau în curs de aderare (CERN, IUCN Dubna, FAIR)
- Existența și inițierea unor parteneriate internaționale bilaterale (ANR, CEA, etc.)
- Strategia Europa 2020 – creșterea graduală a bugetului pentru cercetare
- Noul mecanism privind finanțarea de bază și a performanței instituționale
- Reintegrarea tinerilor cercetători la finalizarea stagiilor post-doctorale în străinătate
- Elaborarea prezentei strategii a cărei implementare poate avea un impact științific și tehnologic semnificativ

#### **Riscuri:**

- Modificarea condițiilor contractuale ale proiectelor de cercetare în derulare, fapt care poate conduce la o finanțare discontinuă și imprevizibilă
- Accentuarea efectului de "Brain Drain" prin neasigurarea unor condiții prielnice
- Riscuri asociate sistemului competițional actual, neprioritizat tematic și cu evaluare încă deficitară
- Schimbări legislative repetate în domeniul cercetării care pot conduce la instabilități (exemplu: modificarea continuă a criteriilor de evaluare a cercetării științifice)
- Accelerarea uzurii fizice și morale a dotărilor în lipsa unor finanțări ritmice de întreținere și modernizare
- Nedezvoltarea și neimplicarea corespunzătoare a sectorului industrial în preluarea rezultatelor cercetării și folosirea oportunităților existente
- Efecte ale crizei economice care pot conduce la o finanțare necorespunzătoare a domeniului, întârzierea sau stoparea unor proiecte, etc.
- Lipsa unor decizii politice luate în timp util referitoare la realizarea unor proiecte de anvergură
- Eventuala înțelegere insuficientă de către factorul politic a importanței strategice a educației și învățământului.
- Gradul scăzut de instruire și informare științifică a populației, fapt ce poate conduce la reacții nejustificate față de anumite cercetări.

## **IV.2 Obiectivele strategice ale cercetării de fizică din România**

Prezentăm mai jos atât o sinteză a obiectivelor cu caracter general, pe termen scurt și mediu, propuse la nivelul grupurilor tematice privind cercetarea de fizică din România cât și obiectivele strategice generale rezultate în urma consultării reprezentanților partenerilor în proiect și a analizei din cadrul Comitetului de Coordonare.

#### **Pe termen scurt (2012-2014):**

- a. Finalizarea proiectelor de investiții în infrastructura de cercetare, aflate în curs;
- b. Depunerea la Comisia Europeană a proiectului ELI-Nuclear Physics, obținerea aprobării de finanțare și demararea investiției.

- c. Intensificarea colaborării naționale prin proiecte de cercetare comune universități-institute concentrate pe direcțiile principale de dezvoltare ale domeniilor, simultan cu creșterea performanței.
- d. Creșterea vizibilității prin publicații în reviste de prestigiu și intensificarea colaborărilor internaționale.
- e. Consolidarea participării României la marile programe și proiecte europene și internaționale în domeniul fizicii (EURATOM/ITER, CERN, FAIR, etc.) prin implicarea cercetătorilor în teme prioritare și prin identificarea, evaluarea și angajarea realistă a capacităților de cercetare și a entităților economice din țară la oportunitățile oferite.

**Pe termen mediu (2015-2020):**

- A. Creșterea ponderii cercetărilor aplicative și valorificarea rezultatelor prin transfer tehnologic și servicii de specialitate acreditate.
- B. Finalizarea proiectului european ELI-Nuclear Physics.
- C. Consolidarea poziției instalațiilor de interes național și integrarea acestora într-o structură europeană de tip „Small-Scale European Facilities”.
- D. Realizarea, într-un parteneriat institute de cercetare – unități de învățământ de fizică, a unui potențial uman de cercetare, viabil pe termen lung, prin realizarea unui mediu științific atractiv precum și motivare economică și culturală credibilă.
- E. Implicarea mai consistentă și eficientă în proiectele europene și atingerea unui nivel de participare la proiectele programelor-cadru UE, în medie de 10% din volumul de activitate.
- F. Continuarea colaborării cu partenerii tradiționali, mai ales cu partenerii cu potențial strategic (CERN, JINR, FAIR, ș.a.), astfel încât să se asigure vizibilitatea și competitivitatea cercetărilor români în cadrul colaborărilor internaționale de anvergură.
- G. Promovarea resurselor de expertiză și a competențelor din domeniu.
- H. Continuarea eforturilor de creștere a numărului proiectelor de anvergură și valoare mare, de îmbunătățire a managementului lor și de maximizare a rezultatelor științifice.
- I. Încurajarea dezvoltării de spin-off-uri și start-up-uri în domeniu.
- J. Stimularea cercetărilor fundamentale cu potențial aplicativ în energii alternative, biotehnologie, farmacologie, nanomedicină, chimioterapie, etc.

**Obiective strategice generale:**

- 1) Consolidarea școlii românești de fizică prin crearea în instituții a unei atmosfere specifice cercetării, de emulație și atragere a tinerilor (începând cu vârsta liceului), precum și perfecționarea profesională continuă indiferent de gradul științific.
- 2) Pregătirea resursei umane necesară domeniului prin corelarea programelor de învățământ cu obiectivele pe termen mediu și lung ale cercetării precum și cu previziunile dezvoltării acelor sectoare tehnico-economice care pot prelua rezultate și atrage specialiști din cercetare.
- 3) Menținerea contactului cu dezvoltarea internațională a domeniilor/temelor/subiectelor.
- 4) Dezvoltarea de centre de cercetare de importanță regională, cu infrastructură modernă.
- 5) Stabilizarea și extinderea colaborărilor interne și externe pe baza interesului reciproc, formalizate sau nu, între instituții sau chiar persoane.
- 6) Extinderea inter- și multidisciplinară în conexiune cu alte discipline precum chimia, biologia, medicina, ingineria, cu menținerea și chiar creșterea calității cercetării.

- 7) Crearea de parteneriate cu unități industriale și economice care își pot dezvolta activitatea prin participare la mari proiecte naționale și internaționale de cercetare.
- 8) Creșterea gradului de comunicare a rezultatelor cercetării în societate și menținerea unui dialog cu publicul larg prin mijloace mass-media profesioniste.
- 9) Întărirea revistelor de fizică românești prin publicarea de rezultate originale, cu impact ridicat, care să asigure creșterea vizibilității domeniului.
- 10) Respectarea comportamentului etic în cercetarea științifică profesională și sancționarea abaterilor de la acesta.

### **IV.3 Recomandări privind implementarea strategiei**

*Sinteza recomandărilor cu caracter general, privind cercetarea de fizică din România, făcute la nivelul grupurilor tematice:*

- a) Aprobarea și finanțarea noului proiect ELI-Nuclear Physics.
- b) Sprijinirea infrastructurilor de cercetare performante existente în fizica din România, în primul rând a celor care urmează să fie recunoscute ca infrastructuri europene de cercetare, prin asigurarea fondurilor necesare funcționării în condiții optime (întreținere, operare, modernizare).
- c) Sprijinirea construirii de noi infrastructuri de cercetare în domeniu, pe baza unei politici de investiții care să aibă în vedere rezultatele deja obținute și potentialul echipelor de cercetare.
- d) Finanțarea integrală și constantă a participării românești la programele și proiectele marilor infrastructuri de cercetare europene și internaționale, în special la cele ale organizațiilor la care România participă ca stat membru.
- e) Asigurarea finanțării de către ANCS a accesului la literatura de specialitate în perioada ulterioară proiectului ANELIS, cu începere din 2012.
- f) Crearea unui cadru legislativ și a unui mecanism pentru atragerea forței de muncă calificate din străinătate.
- g) Acțiuni specifice de pregătire și dezvoltare a resursei umane, având în vedere natura inter-și multidisciplinară a domeniului; continua perfecționare a tinerilor absolvenți și a personalului angajat în activitatea de cercetare.
- h) Flexibilizarea accesării și utilizării bazei materiale din institute și universități atât la nivel local cât și național.
- i) Consolidarea colaborărilor internaționale bilaterale cu finanțare de ambele părți a activităților de cercetare (care să implice toate tipurile de cheltuieli), prin lansarea anuală de apeluri de proiecte comune.
- j) Susținerea organizării de conferințe internaționale importante pentru a facilita cunoașterea mai bună a capacităților de cercetare din România.
- k) Elaborarea unui protocol de evaluare și monitorizare obiectivă a rezultatelor cercetării (care să ia în considerare inclusiv rezultatele publicate până la 2 ani după finalizarea proiectului și să sancționeze, prin depunere la evaluarea următoarei propuneri de proiect, nerealizarea rezultatelor promise).

- l) Crearea la nivel național a unui fond din care să fie finanțată cu precădere cercetarea aplicativă, în vederea facilitării unui transfer eficient și rapid al rezultatelor cercetării către economia reală (mediul de producție și afaceri).
- m) Elaborarea unei strategii naționale privind informarea și „culturalizarea” societății în vederea receptării și înțelegerii dezvoltărilor tehnologice din fizică.
- n) Crearea unor platforme flexibile pentru schimbul de date și cunoaștere între diferite discipline; creșterea capacității de a trata probleme globale și critice pentru societatea actuală; susținerea echipelor de cercetare interdisciplinare; suport financiar pentru studii pilot pe domenii interdisciplinare.
- o) Concentrarea eforturilor grupurilor de cercetare pe problemele strategice, de amploare, cu impact major asupra dezvoltării domeniului.
- p) Dezvoltarea activităților de cercetare pe teme selectate, reprezentative pentru amploarea domeniului, și care sunt sugestive atât pentru ariile în care există o expertiză valoroasă în țară, cât și pentru ariile emergente, cu grad ridicat de noutate, în care este de așteptat o explozie a preocupărilor și rezultatelor semnificative abia pe termen mediu.
- q) Organizarea de rețele tematice, pentru o mai bună exploatare a infrastructurilor existente, apte să dezvolte aplicații concrete în domenii de interes pentru economia și societatea românească.
- r) Interesul științific și tehnologic impune interconexiuni între unități de cercetare, de educație superioară și unități economice (industria mecanică, automobile, aviație marcaj/securitate, etc.) în structuri partenoriale cu obiective comune.

*Recomandări privind educația în fizică:*

- (i) menținerea unui număr rezonabil de ore pe săptămână alocate Științelor exacte, în general, și Fizicii, în particular, fără comasări într-o unică disciplină, Științe;
- (ii) introducerea obligativității Fizicii la examenul de bacalaureat pentru licee cu profil real și tehnologic;
- (iii) refacerea programelor analitice pentru Științe exacte, în general, și pentru Fizică, în particular, pentru gimnazii și licee, într-o strânsă colaborare cu reprezentanții domeniului Fizică la toate nivelurile, precum și cu cei ai științelor înrudite;
- (iv) restructurarea manualelor în acord cu noile programe;
- (v) introducerea concursurilor de admitere la licee;
- (vi) reintroducerea studierii Fizicii la toate liceele cu profil tehnic, aplicativ, la toate clasele și introducerea orelor de laborator/experimente în cadrul programei de Fizică la toate nivelurile, în mod explicit și prin mărirea numărului total de ore, dar nu prin reducerea altor capitole;
- (vii) instituționalizarea unor activități care să crească gradul de informare și de pregătire al elevilor și al profesorilor, organizarea de dezbateri comune elevi-studenți despre Fizică și starea învățământului de Fizică;
- (viii) dezvoltarea ofertei de materii opționale predate de profesorii de Fizică cu discipline de tipul: Astronomie și Astrofizică, Fizica mediului și protecția mediului, Energii alternative, etc.;
- (ix) creșterea bursei studenților la un nivel în care să asigure cheltuielile de cazare în cămine și de masă la o cantină studențească;
- (x) continuarea modernizărilor în laboratoare și a spațiilor de educație;

- (xi) modernizarea și adecvarea programelor de studii și a planurilor de învățământ din facultățile de profil;
- (xii) extinderea duratei semestrului la 16-18 săptămâni pe semestru și reintroducerea practicii de cercetare cu o durată de 2-4 săptămâni pe semestru pentru toate cele 3 cicluri de studiu;
- (xiii) reintroducerea treptată a concursului de admitere cu probe de specialitate la facultăți, în condițiile reducerii constrângerilor financiare;
- (xiv) revenirea la un număr de studenți pe direcție de specializare la studii masterale în acord cu prevederile Statutului cadrelor didactice, anume minim 5;
- (xv) corelarea între direcțiile de specializare pe care fiecare facultate le deschide anual pentru studii masterale și organizarea de masterate comune;
- (xvi) deschiderea unor colaborări instituționalizate cu state cu populație numeroasă sau care nu au un învățământ superior de Fizică care să acopere toate cerințele;
- (xvii) trecerea la un sistem de studii cu structură nouă, de tipul 4 ani pentru studii de licență, 2 ani pentru studii masterale și 4 ani pentru studii doctorale;
- (xviii) stabilirea unei concepții unitare asupra conținutului învățământului românesc și unui mod coerent de aplicare în practică a legilor din domeniul învățământului;
- (xix) eforturi comune ale tuturor pentru o imagine corectă în societate a descoperirilor din Fizică și a realizărilor cercetării științifice de Fizică din România;
- (xx) continuarea eforturilor de dezvoltare a direcțiilor de cercetare științifică și deschiderea unor direcții noi de cercetare, cu o reflectare corectă în toate cele 4 etape de studiu, de la licență la studii post-doctorale.
- (xxi) păstrarea caracterului laic al învățământului de stat de toate gradele.

Principalele aspecte privind rolul educației în cercetarea de fizică din România și problemele cu care se confruntă învățământul superior de profil sunt prezentate în **Anexa 6**.

*Recomandări privind valorificarea rezultatelor cercetării de fizică în mediul economic:*

- Crearea unui oficiu privind acordarea de asistență tehnică specializată în managementul proprietății intelectuale, brevetare și transfer tehnologic (asemănător CNRS prin intermediul companiei asociate FIST SA – [www.fist.fr](http://www.fist.fr)).
- Crearea unei interfețe între cercetarea de fizică și companii industriale interesate în preluarea de idei brevetabile (asemănător companiei NineSigma - [www.ninesigma.com](http://www.ninesigma.com)).
- Incurajarea valorificării rezultatelor cercetării în cadrul spin-off-urilor prin crearea de condiții avantajoase și asigurarea de suport tehnic.
- Incurajarea la nivel instituțional a încheierii de contracte economice pentru furnizarea de servicii și de produse de înaltă tehnicitate prin microproducție.
- Stimularea transferului de produse realizate în cercetare prin vânzări de brevete, contracte de colaborare cu companii interesate și contracte cu beneficiari din economie.
- Crearea unui spațiu comun cercetare – economie/societate împreună cu asociații profesionale, unități de învățământ, mass media, etc. prin organizarea de activități de diseminare, demonstrare și promovare (eventual, chiar prin acordarea de sedii asociațiilor profesionale de profil).

Problema valorificării rezultatelor cercetării de fizică în mediul economic este abordată mai pe larg în **Anexa 7**.



*Recomandări privind comunicarea fizicii în societate:*

- **Porți deschise** – evenimente periodice organizate în fiecare institut, în cadrul cărora vizitatori de orice vârstă și profesie vor putea avea acces în laboratoare pentru a se familiariza cu activitățile specifice de cercetare, cu cercetătorii și, în egală măsură, cu viața și preocupările acestora.
- Continuarea evenimentelor (europene) **“Science Fest”**. Succesul deosebit al primelor ediții (câteva mii de vizitatori de fiecare dată) este un bun semn pentru permanentizarea și diversificarea acestor manifestări de știință. Necesită participarea tuturor Institutelor de la Măgurele, a celorlaltor Institute din București și a studenților de la Universitatea București și de la Universitatea “Politehnica”. Se poate extinde în primul rând în marile centre universitare (Iași, Cluj-Napoca, Timișoara, Craiova etc.) Este cel mai eficient canal de comunicare pentru promovarea fizicii - și în general a științei - la nivelul elevilor dar și al publicului general.
- **Pagină dedicată Q&A/Întrebați un expert** pe site-urile institutelor. Este ușor de realizat, fără cheltuieli suplimentare, cerând doar o bună urmărire, promptitudine în răspunsuri și implicarea cercetătorilor din institutul respectiv.
- **Agenție de știri de știință** (în general, fizică în particular). Nu este atât de dificil de realizat pe cât ar putea sugera titlul. Necesită o bună organizare, cu un grup de 3-5 persoane dedicate, folosind baza documentară existentă și accesul (liber) la marile agenții internaționale de știință. Investițiile necesare sunt minime.
- Organizarea anuală a unui **Workshop** (două-trei zile) **de Comunicarea Fizicii pentru Jurnaliștii de Știință**. (În parteneriat cu Asociația Jurnaliștilor de Știință)
- **Televiziune pe Internet**. Nu este ușor de realizat. Necesită o investiție inițială pentru streamer, pentru amenajarea unui spațiu de 2-3 camere pentru montaj, filmări, documentare. Soluția cea mai simplă și eficientă este externalizarea.
- **Pagină specială de fizică pentru copii**. Dificil de realizat. Necesită oameni dedicați, cu multă imaginație, care să se poată adapta la specificul vârstei, cunoștințelor și preocupărilor copiilor de vârstă preșcolară sau la nivelul școlii elementare.
- **Lecția de Fizică la Institut/Facultate**. Experiment convenit inițial cu 1-2 mari licee de a ține o dată pe lună ora de Fizică la unul dintre institutele de cercetare sau facultati de profil. În funcție de rezultate se generalizează experimentul.
- **“Partners in Physics”** – organizarea și formalizarea unor “proiecte” de cercetare implicând grupuri de elevi, adaptate preocupărilor și nivelului liceelor. Grupurile ar fi coordonate de profesori de liceu și de cercetători sau cadre universitare din instituțiile de profil.
- **Muzeul fizicii**: inițierea de către IFA a construirii în cadrul viitorului Hot Spot de Știință și Tehnologie de la Măgurele a unui muzeu al Fizicii.

Problema comunicării științei (în particular, a fizicii) în societate este abordată pe larg în **Anexa 8**.

*Propuneri de măsuri administrative în vederea implementării Strategiei:*

- 1) Înființarea unui **Consiliu Științific Național al Cercetării de Fizică**, format din experți recunoscuți în principalele domenii tematice evidențiate în cadrul Strategiei, care să facă recomandări instituțiilor de cercetare și învățământ de profil din țară și Autorității Naționale pentru Cercetare Științifică în vederea implementării, monitorizării și actualizării Strategiei.
- 2) Crearea unui **Oficiu de Legătură a Cercetării de Fizică cu Educația**, care să elaboreze un plan de măsuri menit să asigure în timp resursa umană necesară cercetării în domeniile prioritare, să urmărească implementarea planului și să-l actualizeze continuu.
- 3) Crearea unui **Oficiu de Legătură a Cercetării de Fizică cu Industria**, care să elaboreze un plan de măsuri menit să faciliteze transferul de cunoștințe și tehnologie între cercetare și mediul industrial, economic și de afaceri din România, să urmărească implementarea planului și să-l actualizeze continuu.
- 4) Crearea unui **Centru de Pregătire a Tinerilor Fizicieni pentru Cercetare**, cu activități organizate în centrele de cercetare și universitare de profil, care să asigure un nivel științific corespunzător încadrării absolvenților în colective de cercetare performante și să optimizeze asigurarea resurselor umane necesare realizării obiectivelor propuse în cadrul Strategiei.
- 5) Crearea unui **Centru de Comunicare a Fizicii**, în vederea atragerii copiilor și tinerilor către cercetarea științifică, în particular cea de fizică, și de informare a publicului larg despre realizările, perspectivele și impactul domeniului.
- 6) Crearea unui **Oficiu de Optimizare a Folosirii Infrastructurii de Cercetare în Fizică**, prin realizarea unei baze de date, actualizată continuu, și a unei interfețe corespunzătoare.
- 7) Formarea și atestarea unui **Corp de Evaluatori în Fizică** pentru competițiile de proiecte, actualizat periodic, pe baza competențelor demonstrate în subiecte specifice.
- 8) Lansarea unor **Programe de cercetare inter- și multidisciplinare cu tematică „top-down”**, în domenii cu impact socio-economic ridicat precum Energie Nucleară, Nanotehnologie, Energii Alternative, Tehnologii pentru Sănătate, Calitatea Mediului, etc.
- 9) Elaborarea și lansarea unui **Program de cercetare dedicat pregătirii participării la mari proiecte europene în domeniul atomic și subatomic** (EURATOM Fuziune și Fisiune, CERN, FAIR, etc.), asociat și complementar programelor actuale prin care se asigură finanțarea participării românești la aceste mari colaborări.
- 10) Elaborarea și lansarea unui **Program de cercetare dedicat viitoarei infrastructuri europene ELI-NP** care se va construi la Măgurele.

***Implementarea acestor recomandări și propuneri de măsuri necesită un cadru organizat, bazat pe un larg parteneriat la nivel național, care poate fi asigurat de Institutul de Fizică Atomică cu sprijinul Autorității Naționale pentru Cercetare Științifică și al instituțiilor partenere în proiect.***

## V. CONCLUZII

Prezentul raport descrie principalele activități desfășurate în cadrul etapei a IV-a a proiectului ESFRO și rezultatele obținute în stabilirea obiectivelor strategice privind cercetarea de fizică din România pe termen scurt (2012-2014) și mediu (2015-2020).

Metodologia de lucru a cuprins formarea a 11 grupuri tematice pe domenii corespunzătoare principalelor preocupări din cercetarea românească în fizică și domenii conexe. Grupurile tematice au fost alcătuite din 70 de experți (din țară și străinătate), recunoscuți în domeniu pentru contribuțiile aduse; selecția coordonatorilor s-a făcut de Comitetul de Coordonare al proiectului ținând cont de publicațiile ISI și realizărilor acestora. Fiecare grup tematic a elaborat, pe baza unor modele stabilite prin consens la nivelul întregii echipe, un material extins și un rezumat al strategiei corespunzătoare domeniului respectiv. Principalele aspecte urmărite la nivelul fiecărui grup tematic includ: teme și subiecte de cercetare în domeniu; resurse existente și necesare (umane și educaționale, infrastructură de cercetare, cooperare internă și internațională); potențial aplicativ și impact economic; analiză SWOT; obiective și priorități strategice pe termen scurt (2012-2014) și mediu (2015-2020); recomandări.

Folosind înregistrările din bazele de date ESFRO (realizată în etapele anterioare ale proiectului) și Web of Science, precum și prin consultarea celor 70 de experți ai grupurilor tematice cu specialiști și reprezentanți ai instituțiilor participante în proiect, au fost selectate 210 subiecte în cadrul a 53 de teme de cercetare acoperind cele 11 domenii tematice. Toate direcțiile de cercetare propuse au fost motivate prin realizări interne și perspective, resurse și impact; au fost de asemenea făcute estimări asupra resurselor umane și financiare necesare realizării obiectivelor propuse în cadrul temelor de cercetare respective.

Pe baza contribuțiilor primite de la grupurile tematice, s-a realizat o analiză SWOT la nivelul global al cercetării de fizică din România, au fost stabilite obiectivele strategice pe termen scurt și mediu și au fost făcute recomandări în vederea implementării strategiei. Recomandările includ și aspecte privind 3 tematici de interes general: educația în fizică, valorificarea rezultatelor cercetării de fizică în mediul economic și respectiv comunicarea fizicii în societate; la tratarea acestor subiecte, prezentate mai în detaliu în anexe, au participat 11 experți. La realizarea prezentului raport au participat direct, în total, aproximativ 80 de experți.

Raportul a fost discutat și aprobat în Comitetul de Coordonare și în Consiliul Reprezentanților partenerilor în proiect.

Rezultatele obținute în cadrul acestei etape vor fi prezentate și supuse dezbaterii publice în cadrul unei conferințe cu largă participare ce se va organiza pe data de 30 august 2011 la Biblioteca Academiei Române.