

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

V. STRATEGIA DE PARTICIPARE A ROMÂNIEI LA MARI COLABORĂRI INTERNAȚIONALE ÎN DOMENIUL FIZICII

Director proiect: Florin D. BUZATU

31 August 2011



Raportul prezintă rezultatele obținute în cadrul etapei a V-a (ultima) a proiectului ESFRO finanțat de Autoritatea Națională pentru Cercetare Științifică în cadrul Planului Sectorial al Ministerului Educației, Cercetării, Tineretului și Sportului (Contract Nr. 2S/31.08.2009).

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

Director proiect și responsabil etapă:

Florin-Dorian BUZATU, Institutul de Fizică Atomică, Măgurele

Responsabili rapoarte:

1. **EURATOM Fuziune** – Florin SPINEANU
INCD pentru Fizica Laserilor, Plasmei și Radiației, Măgurele
2. **CERN** – Ioan URSU,
INCD pentru Fizică și Inginerie Nucleară Horia Hulubei, Măgurele
3. **FAIR** – Nicolae MĂRGINEAN,
INCD pentru Fizică și Inginerie Nucleară Horia Hulubei, Măgurele
4. **SPIRAL2** – Florin NEGOIȚĂ,
INCD pentru Fizică și Inginerie Nucleară Horia Hulubei, Măgurele
5. **KM3NET** – Vlad POPA,
Institutul de Științe Spațiale, Măgurele
6. **IUCN** – Gheorghe ADAM,
INCD pentru Fizică și Inginerie Nucleară Horia Hulubei, Măgurele
7. **ELI** – Nicolae Victor ZAMFIR,
INCD pentru Fizică și Inginerie Nucleară Horia Hulubei, Măgurele

Cuprins

| | |
|---|----|
| I. Strategia participării României la EURATOM-Fuziune | 4 |
| II. Strategia participării României la CERN | 10 |
| III. Strategia participării României la FAIR..... | 26 |
| IV. Strategia participării României la SPIRAL2..... | 35 |
| V. Strategia participării României la KM3NET..... | 43 |
| VI. Strategia participării României la IUCN | 46 |
| VII. Strategia participării României la ELI | 62 |

ANEXA: Estimarea resurselor necesare marilor colaborări internaționale pe termen scurt și mediu

I. Strategia participării României la EURATOM-Fuziune

Natura specifica a colaborarilor Asociatiei EURATOM – MEdC Romania

Cercetarea desfasurata in Romania in domeniul fuziunii termonucleare controlate se afla sub auspiciile unor decizii strategice adoptate de factori politici la nivelul intregii Europe.

Destinata a obtine, in caz de succes, o sursa de energie cu productie masiva, ecologica si sigura, cercetarea de fuziune termonucleara controlata a fost tratata de catre structurile Europene intr-un mod particular : spre deosebire de alte domenii stiintifice, in care se limiteaza la un rol de sustinator, in problema fuziunii Comisia Europeana s-a plasat in postura de organizator si de leader. Obiectivul este federarea eforturilor nationale in acest domeniu, armonizarea ariilor de expertiza si integrarea intr-o unica structura, cu reguli si proceduri uniforme, transnationale. Pentru aceasta au fost semnate si implementate patru acorduri intre state. Fireste, in ordinea insamnatatii, primul este Contractul de Asociere la Euratom, semnat de Romania in 1999, cu sapte ani inainte de a deveni membra a Comunitatii Europene. S-a creat Asociatia Euratom-MEdC Romania, o structura nationala destinata realizarii obiectivelor stabilite in Contractul de Asociere. Partea profesionala este organizata pe baza a trei conventii care implica in prezent 27 state membre si Elvetia : (1) European Fusion Development Agreement ; (2) JET (Joint European Torus) Implementing Agreement ; (3) Staff Mobility Agreement.

La baza functionarii sistemului European integrat de cercetare in domeniul fuziunii se afla Unitatea de Cercetare a fiecărei Asociatii, care consta din grupuri de cercetare din Institute Nationale si Universitati. Rolul de leader al Comisiei Europene se exprima prin elaborarea (de catre Directoratul General DG K Energy) a unui Plan de Cercetare, unic pentru toate Asociatiile. In functie de aria lor de expertiza, Asociatiile participa la componente ale acestui plan, iar Planul de Lucru al fiecărei Asociatii este aprobat direct de Comisia Europeana (DG K Energy). Intr-o reprezentare echivalenta, Unitatile de Cercetare ale Asociatiilor devin astfel laboratoare ale unui unic Institut, a carui conducere este DG K Energy. In aceeasi reprezentare euristica dar strict conforma realitatii, fiecare cercetator roman in domeniul fuziunii este *coleg* si *colaborator* cu fiecare alt cercetator din celelalte Asociatii, avand obiective comune si avand instrumente pentru a-si combina sinergetic capacitatile creatoare. Din acest punct de vedere, termenul de colaborare este poate neadecvat, starea de conlucrare fiind obligatorie si ne-lasand alternativa. Desigur, exista in unele state activitati de cercetare in fuziune care nu se afla integrate in structura Asociatiilor si sunt sustinute integral din resurse nationale. Acest aspect, de altfel periferic, nu este de interes pentru documentul de fata.

Pentru a proceda la o analiza a relatiilor in cadrul sistemului de Asociatii nationale, vom adopta totusi termenul conventional de colaborare, cu rezerva ca vom admite natura sa speciala asa cum a fost descrisa mai sus.

Obiectivele generale ale participarii Romaniei la colaborarea in domeniul fuziunii termonucleare controlate

Mentionat si in alte documente anterioare, obiectivul principal este deosebit si poate parea straniu : *obiectivul central este punerea de catre Romania la dispozitia efortului European integrat a tuturor resurselor de competenta, de inteligenta creatoare, de resurse materiale pe care le poate aloca cercetarii de fuziune termonucleara controlata.*

Nu exista nici un obiectiv vizibil de profit imediat prin schimb echivalent cu ceea ce investim.

Aceasta pentru ca, prin semnarea Contractului de Asociere, Romania (si celelalte tari membre) si-au asumat ca obiectiv „personal” reusita acestei cercetari, rezolvarea cuasi-definitiva a problemei mondiale a energiei. Indiferent de conjuncturi si de eventuale reorientari ale altor state, Romania isi mentine acest obiectiv ca pe o alegere proprie si oferta sa de participare nu este negociata in sensul echilibrarii episodice a investitiei si a foloaselor imediate. Adevarata rasplata este rezolvarea problemei energiei, de care va beneficia Romania si de care va beneficia intraga planeta.

Este insa evident ca acest angajament cu valoare morala exceptionala nu actioneaza in sens restrictiv pentru nici unul dintre demersurile care sunt compatibile cu el si care ofera importante posibilitati de beneficiu, uneori imediat. Cateva dintre acestea sunt:

- Cresterea competentei in domeniu in vederea viitoarei exploatari a unui sistem energetic bazat pe fuziune
- Cresterea competentei industriale si adoptarea unor tehnologii legate de instalatiile de fuziune
- Obtinerea de contracte prin care resurse alfate la dispozitia comuna se atribuie pe baza competitiva a celor care ofera solutiile cele mai bune. Aceasta poate chiar compensa partial contributia si, cu toate ca nu este un obiectiv exclusiv, este favorabil Asociatiei Romane, tot ata cat este favorabil oricarei alte Asociatii.

Sarcina de a urmari aceste obiective revine Unitatii de Cercetare. Numeroasele forme de verificare au confirmat, in anii precedenti, ca s-au inregistrat in mod constant succese in urmarirea acestor obiective.

De mare importanta este si urmatorul obiectiv:

- Obtinerea, prin rigoare si competenta, a unei pozitii respectate si corect referentiata in cadrul general al colaborarii. Nu un rol periferic, lipsit de originalitate, in care sa fim *alaturati* demersurilor stiintifice originare in alte Asociatii. Nu doar o contributie corecta dar fara inventivitate; ci participare cu idei noi, sustinute cu forta sistematica (fenomenologie, analitic, simulare numerica, diagnostica, experiment).

Este inutil sa spunem ca tendinta comoda este de a se asocia unei idei deja enuntate, cu leadership asigurat (cel mai adesea de catre o Asociatie dintr-o tara mai mare), asumandu-ne rolul de subordonat corect cu arie de raspundere limitata si in general ne-creativ, constand in executie de componente, etc.

Alternativa la aceasta tendinta comoda va deveni un criteriu dupa care trebuie sa orientam in viitor participarea Asociatiei romane.

Asa cum s-a explicat mai sus, insasi participarea Romaniei la efortul European integrat in domeniul fuziunii este echivalent cu o colaborare, in sens larg. Este necesar ca, in cele ce urmeaza, sa introducem o distinctie explicita intre „colaborare” ca participare a Romaniei la efortul European de cercetare de fuziune si „colaborarea” (in sens restrans) intre grupurile de cercetare in interiorul sistemului de Asociatii. Aceasta ne va permite sa examinam eventuale evolutii intr-o strategie.

Observatie generica privitoare la costul practic al colaborarilor in Euratom

Partea care consta in deplasari ale cercetatorilor romani in alte Asociații precum și primirea vizitatorilor *nu costa nimic*. Prin semnarea conventiei „Staff Mobility Agreement” toate cheltuielile de deplasare sunt suportate de Comisia Europeana.

Cu toate acestea, Asociația este informata in fiecare an de valoarea limitei superioare a cheltuielii admisibile pe Mobilitati (adica suma pe care Comisia Europeana o va plati Asociației). Deoarece adeseori necesitatile sunt mai mari decat aceasta limita, o ierarhie trebuie stabilita.

Exista inca doua aspecte: sumele pentru deplasari trebuie initial avansate de Asociația Romana, care este apoi rambursata prin Call for Funds. Deoarece resursele sunt limitate, o ierarhie trebuie avuta in vedere. In al doilea rand, deplasarile pe termen scurt necesita acoperirea transportului din resurse provenind din tara, ceea ce incarca substantial contractele. Trebuie reduse la minimum aceste deplasari, in favoarea celor lungi, destinate cu deosebire tinerilor.

Rezumat al colaborarilor stabile si definirea unor obiective specifice acestora

In cursul timpului (incepand cu anul 2000) au devenit relativ stabile cateva relatii de colaborare directa. Temel sunt mentionate in lb. Engleza fiind preluate denumiri cat mai apropiate de cele din Task Agreements.

Commissariat a l’Energie Atomique, France

- Study of the transport induced by instabilities and stochastic magnetic field.
- Development of the cleaning method by Plasma Torch
- Participation to the development of the computer code Gysella

Primul subiect a devenit obiectiv de colaborare in 1992 si s-a extins fara intrerupere. A condus la realizarea celei mai semnificative contributii teoretice pe care o poate arata in prezent Asociația romana: „Decorrelation Trajectory Method”, devenita o metoda recunoscuta pe scala larga si preluata pentru aplicatii de diverse centre din lume. A fost realizata in principal de Madalina Vlad si Radu Balescu (celebru profesor belgian de origine romana).

Colaborarea (extinsa la Universitatea „St. Charles” Marseille) trebuie sa continue, este in prezent cea mai productiva conlucrare stiintifica, aducand cele mai substantiale valori prin indici de impact ai publicatiilor, si plasand Asociația noastra intr-o postura de creatoare de valoare originala.

Universite Libre de Bruxelles

- Physics of transport in plasmas
- Participation to a common project of fluid simulation at High Performance Computer for Fusion Physics

Colaborarea a inceput in realitate in 1992 si s-a desfasurat in contextul unei relatii speciale cu CEA-Franta, grupand adica trei centre (Bucuresti, Cadarache, Bruxelles). In 1997 au inceput participarea colegii din Craiova.

In perioada urmatoare participarea ULB – Belgia va cunoaste o schimbare (Dr. Daniele Carati va avea alte atributii, conducerea sectiei va fi preluata de Dr. Knaeppen).

Ne propunem continuarea acestei colaborari, in special in domeniul simularilor numerice, fiind singura forma actuala prin care Asociatia noastra participa la High Performance Computer for Fusion Physics.

Totusi, conditia exclusiva este realizarea de publicatii semnificative.

IPP Garching, Germany

- MHD processes and Resistive Wall Modes
- Analysis of coated samples for studies of material migration

Colaborare inceputa in 1997 si continuata pe aria tematica a proceselor MHD studiate numeric. La origine s-a gasit profesorul Lackner si apoi colaboratori ai acestuia.

Colaborarea trebuie sa continue, cu conditia realizarii de publicatii semnificative.

Institute of Plasma Microfusion (Poland Association)

- Calibration of neutron attenuators prepared for gamma-ray measurements at JET

Aceasta este o colaborare episodica, determinata de necesitatea de a se efectua calibrarea unui dispozitiv de diagnostica destinat JET-ului. Pe de alta parte Grupul din Polonia s-a aflat de multa vreme in relatie cu diverse grupuri din Romania, in particular Plasma Focalizata.

Trebuie cautata o tema stabila de colaborare, pe termen mai lung. Decizia de a se continua aceasta colaborare va depinde de aceasta.

Institute of Plasma Physics, FOM Netherlands

- Diagnostics of edge plasma and development of Langmuir probes and studies on the plasma evolution in Magnum device.

Este o colaborare de mai multi ani si a permis pe de o parte exercitiul competentei participantilor romani si dezvoltarea de mijloace de diagnostica pe care le vom putea utiliza in viitor.

Colaborarea trebuie sa continue, marcata insa de aceeasi conditionare ca mai sus: realizarea de publicatii reflectand contributiile originale.

Karlsruhe Institute of Technology, Germany

- Common work on tritium technology (extended to a project for Fusion for Energy)
- Training of a young Romanian engineer in the area of Tritium technology

Nu este limpede in ce situatie se afla aceasta colaborare din punctul de vedere al obiectivului Asociatiei. Este posibil ca aceasta colaborare sa continue sub forma contractului comun pentru Fusion for Energy.

Institute of Plasma Physics of the University of Milano, Italy

- Upgrade of diagnostics at JET: Gamma Ray Spectroscopy

Colaborarea exista de mai multi ani si a condus la realizarea in comun a unui proiect din cadrul „Enhancement Project 2 at JET”.

Colaborarea trebuie sa continue, eventual in exploatarea la JET a acestei diagnostici.

Obligatiile pe care le-a asumat Asociatia romana pentru anii urmatori si impactul lor asupra strategiei colaborarilor in cadrul sistemului Asociatiilor Euratom

In Documentul „Options for the fusion programme roadmap for 2012 – 2020” realizat de catre Comitetul Consultativ Euratom – Fuziune (CCE-FU) , discutat intr-o intalnire preliminara si transmis Asociatiilor pentru examinare in vederea aprobarii, se precizeaza:

„... high-level objectives have been set-up to structure the 2012 – 2020 European fusion roadmap:

- Objective 1 – Delivering the EU procurements for ITER and the broader Approach
- Objective 2 – Preparing ITER operation
- Objective 3 – Training „ITER Generation”
- Objective 4 – Laying the Foundations for Fusion Plants”

Aceste obiective trebuie sa modeleze strategia noastra de colaborare. Primul obiectiv este legat de participarea Romaniei la Fusion for Energy, distincta de participarea prin Contractul de Asociere la Euratom.

In schimb, Obiectivul 2 arata ca trebuie sa favorizam dezvoltarea colaborarilor directe cu grupuri din alte Asociatii pentru *simularea numerica a scenariilor*. Un sub-obiectiv este acela de a cauta sa obtinem o participare directa la ITPA (International Tokamak Physics Activity) unde se concentreaza toate cunostiintele derivate din teorie si experiment, in scopul stabilirii regimurilor de functionare ITER. Grupuri care ar trebui asociate se afla in Franta (CEA – Cadarache, IRFM), Germania (IPP Garching), Suedia (Chalmers). Trebuie sa avem o cat mai larga participare la Campaniile Experimentale de la JET.

Obiectivul 3 este foarte important dar mijloacele actuale de a-l realiza sunt modeste: un numar da tineri pregatiti in cadrul colaborarilor Romania – Belgia, au plecat deja din Romania pentru a se stabili in Elvetia si SUA. Avem pregatita o colaborare stabila de termen lung in problema depunerilor de Beryllium, cu IPP Garching si este sustinuta pe Mobility Agreement. Se vor rezerva in fiecare an resurse pentru aceasta colaborare, deoarece este vorba de un tanar care va incepe proiect de doctorat. Exista posibilitatea de a se face o colaborare in afara Asociatiei CEA – Franta, in probleme de Tungsten. Pe de alta parte este financiar greu de sustinut un proiect GOT (Goal Oriented Training) fiind foarte costisitor. European Fusion Development Agreement (EFDA) va lansa un set de proiecte GOT. Vor fi examinate cu atentie si ne vom alatura acelora pentru care dispunem de tineri cu proiect stabil in Asociatie.

Obiectivul 4 este deja avut in vedere prin lansarea proiectului „Power Plant Physics and Technology under EFDA” (PPPT – EFDA) si adoptarea lui de catre Asociatia noastra, sprijinita de Autoritatea Nationala pentru Cercetare Stiintifica. Primele solicitari de proiecte au fost deja transmisa Asociatiilor dar un raspuns adecvat din partea grupurilor de cercetare din Romania se lasa asteptat. Nu toate temele anuntate de EFDA se regasesc in aria noastra de competenta. Pe de alta parte Asociatia este expusa conditiei de a aloca peste 5% din resursele sale catre proiectul PPPT – EFDA. Se vor cauta ingineri tineri care sa accepte sa lucreze in echipe de proiectare create de catre expertii EFDA.

Un alt fel de a raspunde la acest obiectiv este colaborarea in vederea DEMO (instalatia care va urma ITER-ului). Grupuri care lucreaza in domeniul materialelor primului perete vor fi incurajate sa colaboreze cu alte grupuri din Task Force Materials. Este o arie in care colaborarile pot fi benefice pentru Asociatia romana.

Directiile principalelor colaborari in cadrul strategiei

Acestate sunt:

- Campaniile Experimentale de la JET (Joint European Torus, Culham, Anglia). Va trebui sa pregatim o propunere proprie de experiment.
- Exploatarea instalatiilor europene care solicita colaborari in sistemul Asociatiilor:
 - o ASDEX (IPP Garching).
 - o Reversed Field Pinch Padova, Italia
 - o Tokamakul FTU, Frascati, Italia
- Power Plant Physics and Technology under EFDA: participare la proiectare
- Integrated Tokamak Modeling (EFDA Task Force ITM). Trebuie o propunere proprie de simulare numerica ampla.
- Colaborari cu caracter preponderent bilateral, bazate pe cele descrise mai sus.
- Colaborari din cadrul grupurilor agregate in arii tematice stabilite de EFDA - Topical Groups (Transport, MHD, Diagnostica, Materiale)

Dupa incheierea in 2012 a implementarii componentelor realizate de Asociatia noastra pentru ameliorarea diagnosticii la JET se va evalua costul in resurse interne si rezultatul stiintific pentru a se stabili daca si in ce mod se va continua. Dupa incheierea programului Integrated Tokamak Modeling pentru anul 2011, se va stabili directia de evolutie si posibilitatea implementarii unui program propriu de simulari la HPC-FF. Programele de Materiale, Plasma Wall Interaction, Topical Groups se vor examina pe baza rapoartelor conducatorilor de proiect din partea EFDA.

Se va introduce din 2012 evaluarea eficientei participarii la activitatea Asociatiei prin implementarea regulilor de clasificare prin factor de impact (si echivalente) ISI, etc.

II. Strategia participării României la CERN

1. Prezentarea pe scurt a colaborării

CERN (European Organization for Nuclear Research), Organizația Europeană pentru Cercetări Nucleare, este unul dintre cele mai mari și mai prestigioase centre de cercetare științifică fundamentală ale lumii. Aici, cele mai mari și mai complexe instrumente științifice sunt folosite pentru studierea constituenților materiei — particulele fundamentale.

Convenția în baza căreia s-a înființat CERN a fost semnată la 29 septembrie 1954, de 12 state europene. Aflată la Geneva, de o parte și de alta a frontierei franco-elvețiene, CERN a ajuns în 2011 la 20 de state membre și reprezintă una dintre una din cele mai de succes colaborări de anvergură europeană.

La CERN lucrează aproximativ 2500 de oameni iar bugetul anual al instituției este de aproximativ 1,1 miliarde de CHF. Echipa științifică și tehnică a Laboratorului proiectează și construiește acceleratori de particule și sisteme de detecție și asigură funcționarea lor continuă. Ei contribuie de asemenea la pregătirea și desfășurarea experimentelor științifice complexe precum și la interpretarea datelor furnizate de aceste experimente. Circa 10.000 de utilizatori vizitează anual CERN, oameni de știință ce reprezintă jumătate din fizicienii lumii care lucrează în domeniul particulelor elementare, ale căror proiecte de cercetare se bazează pe programele CERN. În total, în proiectele CERN sunt implicate 580 de universități și institute de cercetare și 85 de naționalități. Între acestea se numără și instituții de cercetare și învățământ din România.

Activitățile de cercetare de la CERN sunt dedicate fizicii fundamentale, urmărindu-se descoperirea elementelor primordiale ale structurii universului și evidențierea legilor care îl guvernează. Pentru studierea particulelor elementare, constituienții de baza ai materiei, la CERN se folosește cel mai mare și mai complex instrument științific din lume – acceleratorul de particule LHC (Large Hadron Collider). Activitățile desfășurate la CERN cuprind patru mari categorii:

- **cercetare fundamentală:** Întrebări fundamentale despre natură sunt adresate de cercetările propuse: Ce este materia? Care este originea Universului? Cum se agregă materia în obiecte complexe (stele, planete, ființe vii,...) ?
- **dezvoltare tehnologică:** știința de avangardă impune extinderea frontierelor tehnologiei. Dedicat cercetării fundamentale, CERN a jucat și joacă un rol remarcabil în dezvoltarea tehnologiilor performante în știința materialelor, tehnologia informațiilor (aici a fost inventat web-ul și se dezvoltă GRID), medicină (diagnoza și terapie) etc.
- **colaborare științifică internațională:** stimularea colaborării între națiuni prin intermediul științei de înalt nivel.
- **educație:** formarea viitorilor specialiști, oameni de știință dar și ingineri și tehnicieni de înaltă competență.

2. Obiectivele generale ale participării României la colaborare

Deși România a fost acceptată abia în anul 2010 ca țară candidată pentru a deveni membru la CERN, participarea oamenilor de știință români la experimentele CERN datează încă din anii 1950. Cei peste

100 de oameni de știință din România ce participă la experimentele CERN provin din următoarele instituții de cercetare și învățământ:

- a. Institutul Național de Fizică și Inginerie Nucleară Horia Hulubei (IFIN-HH), București
- b. Institutul de Științe Spațiale (ISS), București
- c. Facultatea de Fizică, Universitatea București (UB-FF)
- d. Universitatea 'Politehnica', București (UPB)
- e. Institutul Național de Tehnologii Izotopice și Moleculare (ITIM), Cluj-Napoca
- f. Institutul Național de Fizica Materialelor (INFM), București.

Fizicienii români participă la următoarele experimente la CERN: ATLAS, ALICE, LHCb, ISOLDE, DIRAC, nTOF și RD50. Cele mai importante contribuții pentru susținerea participării României la CERN, sunt oferite de IFIN-HH :

- I. centrul de calcul Grid, la nivelul "Tier-2", pentru analize specifice de date ca și pentru alte aplicații interdisciplinare ;
- II. facilități dedicate pentru dezvoltarea de aparatură experimentală specifică

Colective de cercetători din instituții științifice românești de renume, precum Institutul de Științe Spațiale, Institutul Național de Fizica Materialelor și Universitatea București, contribuie la experimentele de fizică și dezvoltarea de metodică iar un grup de cercetători și studenți de la Universitatea Politehnica București este implicat în dezvoltări în tehnologia informației.

Participarea românească la CERN este rezumată în tabelul următor :

| | Denumirea colaborării | Numele instituției colaboratoare | Perioada de desfășurare | Domeniu |
|---|------------------------------|---|--------------------------------|---|
| 1 | ATLAS | IFIN-HH, UPB, ITIM | 1998 – în derulare | Physics, Particles & Fields |
| 2 | ALICE | IFIN-HH, ISS | 2001– în derulare | Physics, Particles & Fields; Physics, Nuclear |
| 3 | ISOLDE | IFIN-HH | 2008– în derulare | Physics, Nuclear |
| 4 | DIRAC | IFIN-HH | 2001– în derulare | Physics, Particles & Fields |
| 5 | n_TOF | IFIN-HH | 2010– în derulare | Nuclear Science and Technology; Physics, Nuclear |
| 6 | LHCb | IFIN-HH | 2000– în derulare | Physics, Particles & Fields |
| 7 | RD 50 | INFM, UB-FF | 2002– în derulare | Physics, Multidisciplinary; Physics, Particles & Fields; Materials Science, Multidisciplinary |
| 8 | WLCG | IFIN-HH | 2005– în derulare | Information Technology; Physics, Multidisciplinary; |

3. Proiecte actuale

- **Proiectul ATLAS**

<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/Collaboration/>

Experimentul ATLAS (**A Toroidal LHC ApparatuS**) își propune să exploateze la maximum potențialul de noi descoperiri al acceleratorului LHC. Obiectivele principale ale programului științific al colaborării ATLAS conțin în principal **măsurători de mare precizie ale parametrilor Modelului Standard (SM)** și **căutarea de fenomene noi**. De asemenea, ciocnirile nucleu-nucleu vor oferi o oportunitate unică de a studia proprietățile materiei în condiții extreme de densitate de energie și posibilă tranziție către **starea de plasmă cuarc-gluonică**.

Descoperirea bozonului Higgs, prezis de modelul SM, pentru a explica ruperea simetriei electroslabă, a fost folosit ca un proces de referință în stabilirea performanțelor detectorului. Experimentul ATLAS va căuta bozonul Higgs, prezis de SM, în întregul interval de masă, până la 1 TeV, luând în considerație diferite mecanisme de producere și dezintegrare. **Căutarea bozonilor Higgs, preziși de Modelul Standard Minimal Supersimetric**, în întregul spațiu al parametrilor, este printre obiectivele majore ale experimentului ATLAS.

Căutarea de noi particule, superparteneri ai particulelor cunoscute, este un alt obiectiv important al experimentului ATLAS. Supersimetria este un concept teoretic de importanță deosebită căci este singurul mecanism cunoscut care încorporează gravitația în teoria cuantică a particulelor și postulează existența unui număr mare de particule, superparteneri ai particulelor cunoscute. Astfel există previziuni despre superpartenerii bozonici ai fermionilor – scuarci și sleptoni - și superpartenerii fermionici ai bozonilor – gluino și gaugino.

ATLAS va căuta de asemenea **noi cuarci și familii de noi leptoni** precum și **noi bozoni gauge** cu mase mai mari decât cea a bozonilor W și Z.

Energia înaltă, atinsă la LHC, va permite căutarea de semnale caracteristice privind **existența unei posibile structuri a cuarcilor**. Noi modele propun existența unor dimensiuni suplimentare. Se va căuta atât **emisii de gravitoni** care scapă în aceste extradimensiuni, generând energii transversale lipsa mari, cât și **excitațiile Kaluza Klein** care se manifestă ca rezonanțe de tipul bozonilor Z, separate în masă prin intervale de 1 TeV.

LHC-ul fiind o fabrică de producere a cuarcului top, vor fi produse milioane de perechi top-antitop pe an, chiar în condiții de luminozitate joasă. Există astfel posibilitatea de a efectua studii sistematice ale proprietăților cuarcului top precum și efectuarea unei comparații a previziunilor SM cu măsurători de mare precizie implicând cuarcul top.

Rata înaltă de producere de particule B la LHC oferă condiții foarte bune pentru studii privind violarea simetriei CP și permite **studii complexe ale fizicii mezonilor B**. Programul științific propus impune cerințe stricte asupra performanțelor detectorului ATLAS, cerințe care au stat la baza proiectării detectorului ATLAS.

Obiective științifice, tematici (teme și subiecte):

- Căutarea bozonului Higgs prezis de Modelul Standard (MS) și a bozonilor Higgs preziși de extensia supersimetrică minimală a modelului standard (MSSM),
- Măsurări de mare precizie ale Modelului Standard,
 - Producerea de jeturi,
 - Producerea de fotoni direcți,
 - Producerea de bozoni W/Z,

- Producerea de bozoni în asociație cu jeturi,
- Producerea de perechi de bozoni de etalonare,
- Soft QCD,
- Căutarea de particule prezise de modele supersimetrice,
 - Topologii caracterizate prin valori mari E_T^{miss} , jeturi cu p_T mare și 0, 1, 2 leptoni,
 - stări finale fără lepton,
 - stări finale cu un lepton,
 - stări finale cu 2 leptoni,
 - Producerea de particule masive stabile,
- Fizica cuarc-ului top,
- Fizica cuarc-ului bottom,
- Studiul proceselor exotice,
 - Producerea de particule cu masa mare ce se pot dezintegra în perechi de jeturi
 - Producerea de perechi de fotoni (difotoni),
 - Producerea de perechi de leptocuarci,
 - Interacții de contact,
 - Producerea de rezonanțe dileptonice cu masă mare,
 - Producerea de particule cu masă mare cu un lepton și impuls transversal lipsă.

- **Proiectul ALICE**

ALICE – IFIN-HH

<http://aliceinfo.cern.ch/Collaboration/>

ALICE (A Large Ion Collider Experiment) este singurul experiment de la LHC – CERN, dedicat studiului fenomenelor care au loc în ciocnirea ionilor grei la energiile ultra-relativiste de la LHC. Cu ajutorul acestuia se va studia popularea și proprietățile unei noi faze a materiei, presupuse a fi existat la câteva microsecunde de la Big-Bang. Aranjamentul este folosit în prezent în experimente $p + p$ la energia de 7 TeV și în ciocniri $Pb + Pb$ la energia de 2,76 A-TeV. Pe baza contribuțiilor avute în perioada de cercetare-dezvoltare, Departamentul de Fizică Hadronică (DFH) al IFIN-HH a fost implicat în realizarea subdetectorului TRD al aranjamentului experimental ALICE împreună cu GSI-Darmstadt, JINR-Dubna, IK-Frankfurt and PI-Heidelberg. În final DFH a realizat 130 camere ALICE-TRD, cu o suprafață totală 167 m² însumând 253,000 celule de detecție (24% din ALICE-TRD), reprezentând cea mai importantă contribuție de până acum a unui institut de cercetare din România în cadrul unei colaborări internaționale de anvergura precum ALICE. DFH a avut de asemenea o contribuție majoră în proiectarea electronicii front-end analogice a subdetectorului ALICE-TRD.

În cadrul Departamentului de Fizică Hadronică al IFIN-HH au fost abordate activități GRID încă de la sfârșitul anilor '90. Începând din noiembrie 2002 Centrul de Excelență NIHAM este membru al ALICE GRID, cu cea ocazie realizându-se și prima aplicație GRID internațională în România. În prezent NIHAM constă din ~2000 CPU cores, 2GB RAM/core, 1 PB capacitate de stocare, 1 Gbit/sec network intern, 10 Gbit/sec uplink, 3 unități de climatizare de mare capacitate, 3 unități UPS a câte 80 kVA/unitate și un generator Diesel – 600 kVA. Toate aceste echipamente se află în Centrul de Date NIHAM al DFH, special amenajat, prevăzut cu protecție fizică, protecție la incendiu, sistem de control al umidității și temperaturii într-o atmosferă cu un înalt grad de curățenie. La momentul actual NIHAM este una din componentele cele mai eficiente a ALICE GRID-ului, realizând în ultimul an mai mult de 8% din numărul total de job-uri în cadrul Colaborării ALICE, situându-se pe locul 2 după centrul de calcul de la CERN. Monitorarea acestor activități se realizează prin MonAlisa și se poate accesa la: <http://pcalimonitor.cern.ch:8889/show?page=index.html>

O echipă de fizicieni (incluzând studenți și PhD) se concentrează la ora actuală pe studii legate de fenomenele colective în ciocnirile violente p+p și în ciocniri ultracentrale și periferice Pb + Pb la energiile LHC. Analiza multidimensională a distribuțiilor de impuls și a impulsurilor transverse medii ca funcție de masa diferiților hadroni cu sarcină identificați, hyperoni, și ai mezonilor D și J/ψ, distribuții azimutale, dependența de geometria violentă a ciocnirii și a formei evenimentului, etc. pare a fi un instrument sensibil pentru evidențierea fenomenelor colective și a contribuțiilor relative care vin din fazele partonică și hadronică în timpul procesului de expansiune. Rezultatele sunt comparate cu prezicerile teoretice pe baza modelelor de transport microscopice și fenomenologice. Activitatea desfășurată până în prezent s-a concretizat în peste 50 lucrări publicate în reviste ISI și conferințe internaționale.

În prezent membrii DFH depun o activitate intensă pentru analiza datelor experimentale obținute în interacția p+p la energia de 7 TeV în vederea evidențierii fenomenului de expansiune colectivă dezvoltând și utilizând metode de analiză a datelor experimentale.

Activitățile curente sunt:

- ❖ participarea la măsurători în fascicul
- ❖ dezvoltarea metodelor the tracking la TRD
- ❖ operarea și ugradarea din punct de vedere hardware și software a Centrului de Date NIHAM
- ❖ instalarea de supermodule TRD și operarea acestora
- ❖ dezvoltarea și implementarea de programe pentru analiza și interpretarea datelor
- ❖ analiza datelor și interpretarea fizică a acestora

ALICE – ISS

IMOTEP : Simulari pregătitoare și rezultate preliminare ale achiziției de date la experimentul ALICE

Termen scurt (2012 – 2014):

Obiective științifice : (În cadrul experimentului ALICE) studiul fenomenului de jeturi în ciocnirile pp (proton-proton) și Pb-Pb (plumb-plumb); Comparații detaliate ale modelelor actuale teoretice de jerbe QCD implementate de programe ca PYTHIA, HERWIG, ARIADNE, SHERPA cu datele experimentale obținute de experimentul ALICE; Comparații între diverși algoritmi de găsimă a jeturilor, specifici ALICE; Dezvoltarea framework-ului general de analiza distribuită în ALICE; Optimizarea execuției analizelor (reducerea consumului de resurse computaționale pentru analiza de date); Facilitarea asamblării trenurilor centrale de analiză prin automatizarea generării codului C++ pentru execuția în Grid (un tren de analiză este format din mai multe module executând analize diferite și simultan pe același set de date).

Termen mediu (2015 – 2020):

Obiective științifice: Studiarea fizicii fenomenelor din regiunea de rapiditate cu p_T mare: interacții tari (procese tari), materia QCD (semnale ale Plasmei de Quarci și Gluoni (QGP)), studii ale fenomenelor de pierdere de energie în materia fierbinte și densă („fireball”) specifică cromodinamicii cuantice (QCD), studii ale altor semnale tari ale QGP; Analiza acestor fenomene pe datele obținute în run-urile programate de proton – nucleu (p+A) și deuteron – nucleu (d+A); studii ale unei alte stări extreme a materiei numite “Condensat de Sticlă Colorată” (CSC); Dezvoltarea, suportul și optimizarea framework-ului general de analiză distribuită în ALICE; Crearea de

tehnologie software ce urmărește eliminarea pe cât posibil a necesității unui "operator" pentru asamblarea și gestionarea analizelor derulate în ALICE; Generarea automata a trenurilor de analiză (configurații de algoritmi de analiză a datelor experimentale).

- **Proiectul LHCb**

<http://lhcb.web.cern.ch/lhcb/>

Experimentul LHCb, care se desfășoară la acceleratorul LHC de la CERN, este proiectat pentru studiul fizicii cuarcilor grei. Scopul său primar este de a pune în evidență fenomene noi de fizica particulelor elementare sau de a descoperi noi particule prin măsurători precise ale violării parității CP (de sarcină și paritate) și a dezintegrărilor rare în sectorul cuarcilor b și c. Detectorul LHCb [1] funcționează cu mare eficiență de la pornirea acceleratorului LHC. Până la sfârșitul anului 2011 se preconizează ca o cantitate de date corespunzătoare unei statistici de 1 fb^{-1} vor fi înregistrate, iar o cantitate de date cel puțin echivalentă va fi înregistrată în 2012.

Participarea românească la experimentul LHCb a fost inițiată în anul 1996. De-a lungul anilor cercetătorii români din IFIN-HH au fost implicați în proiectarea, construcția și comisionarea detectorului LHCb [1], participând printre altele la testarea cu radiații cosmice, calibrarea și producția de software pentru calorimetru. De asemenea contribuții importante au fost aduse la software-ul pentru achiziția de date. În 2007-2008, în 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 $\Lambda \rightarrow \pi p$ [2]. O altă contribuție în pregătirea analizei de date a reprezentat-o participarea la validarea programului de producere al datelor simulate (Monte Carlo) utilizat de către experimentul LHCb

În prezent cercetătorii români sunt implicați în studii de soft-QCD în particular studiul mecanismului de producere a particulelor care conțin cuarcul "strange". Aceste studii profită de faptul că detectorul LHCb, singurul detector LHC care poate oferi informație de la toate categoriile de detectori pentru particule cu rapidități înalte: reconstrucție de traiectorii, identificarea particulelor, calorimetrie, detectori de muoni, oferă o posibilitate unică de a studia producerea de hadroni la aceste rapidități. Pornind de la experiența dobândită prin participarea la elaborarea măsurătorii rapoartelor de producere a particulelor V^0 [3], cercetătorii din IFIN-HH se vor implica în alte studii care oferă informații legate de mecanismul de producere a hadronilor care conțin cel puțin un cuarc strange. Un alt subiect de interes abordat de către cercetătorii din grupul LHCb de la București este studiul producției barionilor b. În acest domeniu LHCb poate aduce o contribuție importantă având în vedere că datele LHC vor oferi pentru prima dată oportunitatea unor analize de precizie implicând barionii b care nu au putut fi produși la experimentele tip "fabrici de b" (b-factories) și pentru care datele înregistrate la Tevatron (Fermilab) oferă o statistică redusă. Detectorul și trigger-ul LHCb, optimizate pentru studiul particulelor care conțin cuarcul b (beauty) vor permite colectarea unui mare număr de astfel de barioni permitând măsurători precise ale timpilor de viață, secțiunilor eficace de producere și a polarizării. O altă temă de fizica particulelor elementare, în care grupul LHCb român este implicat, este studiul dezintegrărilor rare radiative ale mesonilor b, modurile de dezintegrare $B_d \rightarrow K^* \gamma$ și $B_s \rightarrow \phi \gamma$ fiind candidați perfecți pentru punerea în evidență a particulelor și fenomenelor de fizica particulelor prezise de teorie. În paralel cu participarea la analiza de date

experimentale în vederea publicării, oferim suport pentru optimizarea și validarea eșantioanelor de date simulate (Monte Carlo), funcționarea Grid-ului Tier 2 (trei clustere GRID unul dintre ele complet dedicat job-urilor LHCb) și aplicația care permite programarea turelor on-line și off-line ale întregii colaborări LHCb.

În perioada 2011-2012 se va continua participarea la activitățile de achiziție de date ("data taking"), la asigurarea serviciilor necesare pentru buna funcționare a experimentului (cele de care suntem răspunzători) și vom continua studiile de producție a barionilor stranii și beauty, precum și studiul dezintegrărilor radiative. În paralel grupul român va desfășura activități legate de viitorul upgrade LHCb [4,5].

Până la sfârșitul anului 2013, din analiza datelor experimentale înregistrate între 2010 și 2012, LHCb va produce rezultate experimentale care, fie vor pune în evidență fenomene noi de fizică, fie vor constrange modelele de fizică "flavour". Astfel, o sensibilitate crescută a măsurătorilor de "flavour" va fi necesară pentru a detecta sau analiza "flavour structure" pentru particulele și fenomenele noi care ar putea fi observate. Ne dorim să obținem o creștere de peste zece ori a cantității de date colectate odată cu creșterea luminozității LHC și cu instalarea unui trigger de eficiență crescută. Pentru a reuși aceasta se preconizează instalarea unui nou pixel detector VELO (VELOPIX), îmbunătățirea electronicii primare conform tehnologiilor nou apărute, înlocuirea detectorului RICH și îmbunătățirea sistemului principal de tracking (dectecție a traiectoriilor). Upgrade-ul LHCb [4] va urma programul propus pentru upgrade-ul LHC. În prima oprire de lungă durată (anul 2013) se intenționează să se efectueze activități de consolidare a infrastructurii pentru a accelera și a ușura instalarea detectorului upgradat în timpul opririi LHC din 2018. Până la sfârșitul anului 2017 se așteaptă acumularea unui volum aproximativ de date corespunzător a 5 fb^{-1} . În timpul opririi acceleratorului din 2018 se urmărește upgradarea tuturor detectorilor în așa fel încât detectorul să poată achiziționa date la o luminozitate de $2 \cdot 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ apoi la cea mai mare luminozitate posibilă în următorii ani, până la sfârșitul lui 2021, permitând astfel acumularea unei statistici de aproximativ 5 fb^{-1} în fiecare an. În prezent investigăm moduri în care ne putem implica în acest upgrade fie în activități hardware legate de detectorul RICH, fie în software pentru trigger.

Bibliografie

- [1] A. Augusto Alves et al., LHCb Collab., JINST 3, S08005 (2008).
- [2]; B. Popovici and S. Stoica, "MC free calibration of LHCb RICH detectors using the $\Xi \rightarrow \Xi p$ decay": "Physics at LHC", Split, Croatia, 2008.
- [3] "Measurement of V^0 production ratios in pp collisions at $\sqrt{s} = 0.9$ and 7 TeV", CERN-PH-EP-2011-082 ; arXiv:1107.0882.
- [4] Proceedings of Chamonix 2011 workshop on LHC performance (CERN-ATS-2011-005)
- [5] LHCb upgrade - Letter of intent, CERN/LHCC 2011-001 LHCb Lol, 7 March 2011.

- **Proiectul DIRAC**

<http://dirac.web.cern.ch/DIRAC/>

Experimentul DIRAC este unul din cele mai importante colaborări CERN de la Proton Synchrotron (PS). Fiind un experiment de mai mici dimensiuni decât cele de la LHC, aportul grupului român este semnificativ mai mare. Aceasta cu atât mai mult cu cât unul din principalele detectoare ale ansamblului experimental DIRAC, **Detectorul de Preshower** (vezi Figura alăturată), este integral proiectat, realizat și operat de noi, astfel ca ponderea, importantă și responsabilitățile grupului român sunt foarte mari.

Obiectivele principale în acest moment, sunt legate de elucidarea unele probleme de Chromodinamica Cuantică (QCD) Neperturbativă (interacție tare la distanțe mari) și privesc în special lucrările de cercetare asupra atomilor hadronici $\pi^+\pi^-$ și πK :

1. Măsurarea timpului lor de viață τ , de ordinul 10^{-15} sec, permite determinarea relației între lungimile de împrăștiere $\pi\pi$: a_0 (de isospin 0) și a_2 (de isospin 2), sub forma $1/\tau = R|a_0 - a_2|^2$, respectiv lungimile de împrăștiere πK : $a_{1/2}$ (de isospin 1/2) și $a_{3/2}$ (de isospin 3/2), sub forma $1/\tau = R|a_{1/2} - a_{3/2}|^2$.

2. Măsurarea deplasării nivelelor energetice (ΔE_{nl} - energy shift) ns și np , datorită în special interacției tari, se face prin măsurarea timpului de viață a primelor stări excitate (meta- stabile) ale atomilor hadronici $\pi^+\pi^-$ și πK . Legătura cu lungimile de împrăștiere a_0 și a_2 este exprimată sub forma $\Delta E^{\text{strong}} = A(2a_0 + a_2)$, iar pentru $a_{1/2}$ și $a_{3/2}$ sub forma $\Delta E^{\text{strong}} = A(2a_{1/2} + a_{3/2})$.

În acest fel, în final se vor putea obține valorile separate ale acestor lungimi de împrăștiere a_0 și a_2 , respectiv $a_{1/2}$ și $a_{3/2}$, mărimi cu ajutorul cărora se poate face evaluarea prevederilor teoretice, și testarea Teoriei Perturbațiilor Chirale (ChPT) drept teorie QCD Neperturbativă valabilă. În cadrul Teoriei Perturbațiilor Chirale, a_0 și a_2 sunt direct legate de formarea masei quarcilor și ca atare dau o măsură a gradului de rupere explicită a simetriei chirale. De aceea este necesară și cunoașterea parametrului care descrie „ordinea” din sistemul de quarci și care specifică tăria ruperii de simetrie – *condensatul de quarci*. Cu ajutorul lungimilor de împrăștiere $a_{1/2}$ și $a_{3/2}$ se poate determina acest para-metru, și afla atât mărimea condensatului de quarci cât și raportul de mase quarc strange / non-strange.

Asemenea testări experimentale de QCD, folosind lungimile de împrăștiere $\pi^+\pi^-$ și πK , nu s-au făcut până acum cu suficientă precizie. De aceea rezultatele noastre vor putea fi o verificare crucială a prevederilor teoretice de Chromodinamica Cuantică Neperturbativă.

Tematici (teme și subiecte)

1. Achiziție date experimentale în 2011 pentru observarea stărilor metastabile ale atomului hadronic $\pi^+\pi^-$. Aceasta ne va permite măsurarea deplasării Lamb și determinarea combinației $2a_0 + a_2$ între lungimile de împrăștiere $\pi^+\pi^-$ de isospin 0 și 2.
2. Evaluarea parametrilor funcționali ai noului detector de preshower pe baza datelor experimentale existente.
3. Determinarea corecțiilor de pedestal din spectrele ADC de preshower pentru prelucrarea datelor experimentale 2008-2010.
4. Prelucrarea datelor experimentale achiziționate în 2008-2010 pentru observarea atomilor hadronici $K^+\pi^-$, pentru măsurarea timpului lor de viață și a combinației $a_{1/2} - a_{3/2}$

5. Evaluarea secțiunii eficace de producere a atomilor K^+K și $\mu\pi$ pe baza datelor experimentale 2008-2010.
6. Elaborare lucrări științifice și publicarea lor.

Planificarea activităților

1. Achiziție date experimentale: 1 iunie – 30 noiembrie 2011 și 2012.
2. Evaluarea parametrilor funcționali ai noului detector de preshower pe baza datelor experimentale existente (15 Decembrie 2011)
3. Determinarea corecțiilor de pedestal preshower pentru prelucrarea datelor experimentale 2008-2010 (31 August 2011)
4. Prelucrarea datelor experimentale achiziționate în 2008-2010 pentru observarea atomilor hadronici $K^+\pi^-$, pentru măsurarea timpului lor de viață și a combinației $a_{1/2} - a_{3/2}$ (30 Iunie 2012).
5. Evaluarea secțiunii eficace de producere a atomilor K^+K și $\mu\pi$ pe baza datelor experimentale 2008-2010 (30 Iunie 2012).
6. Elaborare de lucrări științifice, note DIRAC, referate, prezentări (permanent).
7. Trimiterea spre publicare a lucrărilor importante (permanent).

- **Proiectul ISOLDE**

<http://isolde.web.cern.ch/isolde/>

Facilitatea experimentală dedicată producerii de fascicule radioactive ISOLDE este cronologic prima de acest tip din lume și s-a dovedit de-a lungul anilor ca fiind una din cele mai productive din punct de vedere a rezultatelor obținute. Programele de cercetare în curs acoperă un larg spectru științific, incluzând fizică nucleară, astrofizică, fizica stării solide sau studii bio-medicale folosind izotopi radioactivi pentru diagnostic și terapie. ISOLDE oferă în prezent o largă diversitate de izotopi radioactivi, iar instalarea unui post-accelerator (REX-ISOLDE) a deschis noi domenii de cercetare cu fascicule de ioni radioactivi de energii superioare. Din acest punct de vedere facilitatea este complementară altor acceleratoare europene pentru fascicule de ioni radioactivi precum SPIRAL (GANIL, Franța) sau GSI (Darmstadt, Germania) și oferă o gamă mai largă de fascicule intense de ioni comparativ cu HRIBF (Oak Ridge, USA) sau ISAC (Vancouver, Canada). Până în prezent au fost produși, cu intensități de până la 10^{11} atomi per mC de fascicul de protoni, mai mult de 600 de izotopi cu timpi de viață până la milisecunde, pentru aproape 70 de elemente de la heliu la radiu. În prezent pot fi accelerați ioni la energii de până la 3.1 MeV/u, ceea ce permite producerea de reacții nucleare la energii peste bariera coulombiană – în cazul reacțiilor simetrice - pentru mase mai mici sau egale cu 85-90. Pentru studii de spectroscopie gama ISOLDE are asigurată disponibilitatea prioritară a spectrometrului gama multi-detector MINIBALL.

Programul de fizică nucleară al ISOLDE are alocat 50% din timpul de măsură al facilității, experimentele desfășurate în prezent acoperind următoarele tematici:

- ❖ Spectroscopie gama pentru nuclee departate de stabilitate produse în reacții de fuziune cu proiectil/țintă cu mase mai mici de 85-90
- ❖ Experimente de excitare coulombiană a nucleelor depărtate de stabilitate de-a lungul întregii hărți nucleare.

- ❖ Masurători de momente magnetice de dipol în nuclee exotice
- ❖ Spectroscopie gama în urma dezintegrării beta a nucleelor departate de stabilitate
- ❖ Dezintegrări prin emisie beta-delayed de particule
- ❖ Masurarea de secțiuni eficace pentru reacții nucleare de interes astrofizic
- ❖ Determinarea proprietăților nucleelor depărtate de stabilitate în starea fundamentală: masă, raza de sarcină, deformare

La ISOLDE experimentele au loc numai după aprobarea lor prealabilă de către un comitet de experți (INTC), în urma unei competiții. În acest sens trebuie menționat faptul că grupul român a reușit în doar 3 ani de la aderarea la ISOLDE să se integreze în 3 astfel de experimente aprobate, de largă participare internațională.

Colaborarea la facilitatea experimentală CERN-ISOLDE poate oferi grupurilor de cercetare din România extinderea semnificativă, folosind fascicule radioactive, a unor direcții de cercetare cu tradiție în țară, cum sunt studiul structurii nucleare pentru nuclee exotice bogate în protoni în jurul liniei $N=Z$ sau pentru nuclee cu exces mare de neutroni, măsurători de momente electromagnetice nucleare statice, studiul reacțiilor nucleare de interes astrofizic la energii mici de bombardament, etc.

Obiectivele științifice ale participării românești la CERN-ISOLDE au fost stabilite având în vedere atât participarea la dezvoltarea infrastructurii experimentale de care România este interesată din punct de vedere științific, cât și realizarea unui program de fizică bine definit. Ținând cont de aceste motive, obiectivele științifice au în vedere: realizarea unei activități experimentale la ISOLDE și dezvoltarea de modele de structură nucleară bazate pe rezultatele experimentale obținute la ISOLDE.

Obiectivele științifice sunt concretizate prin următoarele tematici:

- măsurarea probabilităților de tranziție ale primelor stări excitate folosind reacții de excitare Coulombiană sub barieră cu fascicule radioactive livrate de REX-ISOLDE, pentru nuclee exotice bogate în protoni / neutroni. Acest tip de experimente va fi realizat în colaborare cu grupuri Europene cu experiență în acest domeniu precum cele din IKP Köln, TUM, Lund University, etc.
- determinarea de timpi de viață pentru stări izomerice ale nucleelor exotice folosind metoda de "in-beam fast-timing" ce implică utilizarea de sisteme mixte de detectori precum $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ -HPGe. Grupul de spectroscopie gama din IFIN-HH a aderat la "ISOLDE Fast timing Collaboration" și în cadrul acestei colaborări, pe lângă experimentele de fizică nucleară comune la ISOLDE sau București, sunt testate echipamentele ce vor fi folosite în experimente fast-timing la ISOLDE în cadrul unor experimente-test la Tandem-IFIN-HH. În acest mod e asigurată o importantă contribuție românească directă la definirea activității experimentale ce se va desfășura la ISOLDE în domeniul măsurării timpilor de viață în nuclee bogate în neutroni din apropierea închiderilor de pături nucleare.
- dezvoltarea de modele de structură nucleară bazate pe rezultatele experimentale obținute la ISOLDE, prin investigarea proprietăților nucleelor foarte bogate în neutroni/protoni implicate în procese astrofizice.

Pentru activitățile prevăzute atât pe termen scurt (2012-2014) cât și mediu (2015-2020) în cadrul participării la colaborarea CERN-ISOLDE sunt necesare resurse umane și financiare care să acopere:

- ❖ propunerea și participarea la experimente prevăzute a se realiza la ISOLDE
- ❖ participarea la experimente de testare de echipamente, metodici de măsură și aranjamente experimentale, teste ce se vor desfășura la Tandem-IFIN-HH sau la colaboratori din cadrul “ISOLDE Fast timing Collaboration”,
- ❖ prelucrarea datelor în vederea obținerii rezultatelor preconizate,
- ❖ interpretarea teoretică a rezultatelor obținute
- ❖ achiziția de aparatură ce va fi folosită în experimente.

- **Proiectul N_TOF**

<http://pceet075.cern.ch/>

Colaborarea n_TOF CERN are ca obiectiv major studiul tuturor proceselor ce pot fi induse de neutroni începând cu neutronii termici și până la energii de ordinul GeV. Acestea au în vedere interacția neutronilor cu substanța (ciocniri, formarea nucleului compus și fisiune). Se dorește o mai bună înțelegere teoretică a acestor procese și furnizarea de date nucleare de mare acuratețe pentru aplicații. În acest sens, în cadrul colaborării internaționale n_TOF CERN sunt abordate două probleme centrale de cercetare în fizica modernă. În primul rând se vor obține date nucleare necesare pentru proiectarea sistemelor folosind fascicule de particule accelerate pentru inițierea proceselor nucleare energetice ('Accelerator-Driven Systems' – ADS). Proiectarea ADS-urilor inovative pentru incinerarea deșeurilor nucleare și generarea de energie necesită cunoașterea cu precizie ridicată a secțiunilor eficiente pentru procesele induse de neutroni. Aceste date trebuie să fie obținute într-un mod consistent și cât mai precis, pentru a fi evaluate și transmise astfel încât să fie compatibile cu procedurile de simulare și practicile industriale. Ca urmare unul dintre scopurile principale ale proiectului este acela de a măsura, evalua și disemina secțiuni eficiente precise ale majorității izotopilor relevanți pentru incinerarea deșeurilor și proiectarea ADS, cuprinzând atât captura cât și fisiunea actinidelor minore, pentru materialele structurale și de răcire. În al doilea rând, astrofizica se afla într-un stadiu în care probleme centrale privind universul își așteaptă de multă vreme un răspuns. Producerea 2H , 3H , 4He și 7Li (200s după Big Bang) ridică consecințe importante pentru fizica particulelor și cosmologie precum și obținerea elementelor mai grele decât Fe, datorită capturii neutronice în stele și explozii de supernove. Colaborarea n_TOF contribuie astfel la dezvoltarea cunoașterii și deschiderea către mediul științific internațional prin măsurători de mare acuratețe și perfecționarea modelelor teoretice, principalele ei obiective fiind secțiuni eficiente neutronice pentru: (1) astrofizică nucleară; (2) tehnologii nucleare avansate și transmutarea deșeurilor nucleare, și (3) fizică nucleară fundamentală (<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/NTOF/>).

Din punct de vedere practic, investigațiile interacției neutronilor cu materia au în vedere proiectarea următoarelor generații de reactori cu neutroni rapizi. Producția de energie nucleară necesită un combustibil capabil să elibereze energie prin fisiune. Printre nucleele ce constituie combustibilul trebuie să distingem cele două tipuri: nucleele fisile capabile să fisioneze după captura unui neutron termic și nucleele fertile care conduc la nuclee fisile după captura unui neutron urmată de câteva dezintegrări beta. Principalele nuclee fisile sunt ^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu și ^{241}Pu . Principalele nuclee fertile sunt ^{232}Th și ^{238}U . Cele din urmă sunt abundente în natură și extragerea lor nu este foarte dificilă. Printre nucleele fisile, numai ^{235}U poate fi găsit în natură. Momentan, ciclul U s-a impus ca cea mai importantă cale de producere a energiei nucleare din considerente istorice. Anumite impedimente

apar în ciclul U. Primul este legat de criticitatea reactoarelor nucleare actuale. În al doilea rând, gestionarea deșeurilor nucleare rămâne o problemă importantă. În al treilea rând, resursele sunt limitate, abundența ^{235}U este de numai 0.72% din uraniul natural. Tipuri îmbunătățite de reactori sunt necesare fiindcă resursele de uraniu sunt disponibile numai pentru 30 ani cu factorul de utilizare actual. În astfel de condiții, recent, un alt ciclu bazat pe un amestec de ^{233}U și ^{232}Th a fost considerat promițător pentru producerea de energie, este vorba de ciclul Th. Este adevărat că în țara noastră, la reactorul CANDU, ciclul se bazează pe uraniu natural sau sărăcit, dar pe termen lung aceasta soluție poate fi de asemenea interesantă pentru noi deoarece sub-criticitatea oferă alte avantaje. Principiul ciclului Th este similar cu cel al U. Un nucleu fertil ^{232}Th este bombardat cu neutroni și după două dezintegrări beta succesive da naștere nucleului fisil ^{233}U . Un surplus de nuclee fisile ^{233}U , ^{235}U sau ^{239}Pu sunt necesare pentru pornirea reactorului. În anii 80, s-au dezvoltat câteva proiecte legate de reactorii hibridi bazați pe ciclul Th. Din păcate, acest ciclu are anumite inconveniente. Foarte multe investiții și cercetare fundamentală trebuie să fie realizate în domeniu. Este necesară o determinare precisă a secțiunilor de fisiune și de captură pentru ^{233}Pa , ^{230}Th , ^{232}Th și elemente trans-uraniene. Aceste secțiuni eficiente trebuie cunoscute cu o precizie de cel puțin 15%. Momentan, evaluările obținute pentru aceste nuclee dau o precizie mai mică de 30%.

- **Proiectul RD 50**

<http://www.cern.ch/rd50>

În momentul de față colaborarea internațională CERN RD 50 (Dispozitive semiconductoare rezistente la radiație pentru acceleratoare de mare luminozitate) are 257 membrii, din 47 institute de cercetare, companii și instituții de învățământ superior. *Proiectul a fost inițial aprobat pe o perioadă de 3 ani (între 2002 și 2005) și ulterior prelungirea acestei colaborări a fost aprobată anual.* Prezenta colaborare este motivată în principal de provocarea impusă de noile acceleratoare de particule ca Large Hadron Collider (LHC), operabil din 2008 la CERN, și upgradarea acestuia (SLHC) prevăzută pentru anul 2016-2020. Obiectivul colaborării CERN RD 50 este dezvoltarea de detectori cu semiconductori rezistenți la radiație, apti să lucreze în câmpuri de radiație de mare luminozitate, în particular să facă față cerințelor scenariului de up-gradare a acceleratorului LHC (Large Hadron Collider) la o luminozitate de $10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, la o fluență integrată de hadroni rapizi de 10^{16} cm^{-2} . Pentru a doua etapă a experimentelor desfășurate la CERN-LHC (SLHC), unde intensitatea radiației va fi crescută în 5 ani până la 2×10^{16} pions/cm² în zona de detecție (de 10 ori mai mare față de cazul LHC), rezistența la radiații a senzorilor va fi problemă cheie fără rezolvarea căreia experimentele HEP nu vor putea fi efectuate. Efortul comun în această colaborare se concentrează pe dezvoltări inovative de detectori ultra rezistenți la radiații care să fie operabili până la fluențe de 2×10^{16} pioni/cm², să permită o rezoluție de timp de ns cu o eficiență de colecție de sarcină apropiată de 100%. În prezent există 5 subgrupuri în structura organizatorică a colaborării RD50, fiecare subgrup urmărind o linie de cercetare specifică:

- 1) *Caracterizare de defecte și material.* Această linie de cercetare are ca scop identificarea defectelor electrice active generate de iradiere cu diferite particule și determinarea impactului pe care acestea îl au asupra proprietăților de detecție a detectorilor de radiație.
- 2) *Inginerie de defecte.* Aceasta direcție de cercetare are ca în vedere controlul cineticii formării defectelor induse de iradierea prin impurificare controlată de material cu impurități care pot schimba ratele de generare a defectelor identificate cu influență directă asupra caracteristicilor de dispozitiv la temperatura de operare a acestora. Căile de abordare a ingineriei de material au vizat inițial, pe lângă Siliciu, și alți semiconductori ca posibile

materiale pentru dezvoltarea de senzori de particule (SiC, GaN, CdTe etc). Rezultatele obținute în primii 5 ani ai proiectului RD50 pe aceste materiale nu au fost însă deloc încurajatoare. Astfel, în prezent, efortul de cercetare se concentrează numai pe creșterea rezistenței la radiații a siliciului.

- 3) *Caracterizarea detectorilor.* Această direcție de cercetare se ocupă de caracterizarea detectorilor iradiați la nivel microscopic prin monitorizarea în timp și cu fluență de iradiere a principalelor proprietăți electrice ale dispozitivelor (curenți de scurgere, tensiuni de operare, eficiență colecție de sarcină)
- 4) *Structuri noi.* În cadrul acestei direcții sunt explorate structuri de detecție noi cum ar fi: detectorii 3D columnari sau cu 2 fețe, detectorii din straturi subțiri și alte variante posibile în limita unor costuri de realizare rezonabile
- 5) *Sisteme integrate de detectori.* În cadrul acestei direcții sunt testate, verificate și sisteme integrate de detectori realizați în urma rezultatelor furnizate de cercetările întreprinse pe primele patru direcții.

Dintre cele 5 direcții de cercetare menționate anterior, INCDFM participă la primele două, *Caracterizare de defecte și Inginerie de defecte.*

Obiectivul general al INCDFM în această colaborare este acela de a identifica atât structura defectelor electrice active induse de iradiere ce au impact direct asupra proprietăților electrice a diodelor de siliciu cât și posibilitățile de interacție cu diverse impurități în vederea găsirii de soluții viabile pentru creșterea toleranței la radiații a acestui material la nivelul cerut de largă comunitate europeană implicată în cercetări de fizica particulelor elementare. Atingerea acestui țel presupune înțelegerea modului de formare a defectelor, a cineticii acestora în prezența impurităților din material, cu temperatura și cu timpul după întreruperea iradierii (fenomenele de annealing) precum și a modului de iradiere și dependența de tipul particulelor. Un caz aparte și de mare interes în momentul de față este legat de generarea și identificarea defectelor extinse de rețea, răspunzătoare de fenomenele de inversie aparentă a tipului de conducție și de efectele de annealing în detectorii de siliciu.

Strategia abordată de INCDFM și obiectivele avute în vedere pentru perioada 2010-2014 sunt:

1) Înțelegerea procesului de generare și a structurii chimice a defectelor cu impact asupra proprietăților diodelor de Si și corelarea cu tehnologia de creștere a materialului și modul de procesare al acestuia (detecție și caracterizare defecte electrice active, dezvoltare de metode experimentale care să permită determinări cantitative de concentrații defecte după fluențe mari de iradiere, identificarea rolului defectelor primare în explicarea discrepanțelor între măsurătorile micro- și macroscopice, identificarea rolului impurităților inițiale și al ratelor de iradiere asupra formării defectelor, influența amestecului puterilor de stopare electronică și nucleară asupra formării defectelor la iradiere, determinare a influenței anizotropiei energiei de deplasare asupra formării defectelor, Modelare cinetică defecte induse de iradiere în prezența diferitelor tipuri de impurități). Tehnici experimentale folosite: (i) pentru determinări parametrii electrice -DLTS, TSC, C-V, I-V; (ii) pentru identificare structura chimică – EPR și HRTEM

2) Proiecția rezultatelor, obținute din caracterizarea de defecte și măsurarea proprietăților electrice ale diodelor de Si, asupra performanțelor detectorilor de particule prin simulări de dispozitiv în condițiile de operare în experimentele HEP menționate (dezvoltare de scenarii de operare detectori pentru câmpurile de radiație de la viitoarele acceleratoare LHC, SLHC, VLHC, modelarea distribuției spațiale a defectelor induse de iradiere)

3) Inginerie de defecte și optimizare de senzori. Studii eficiente privind ingineria de defecte se pot efectua doar dacă se poate stabili o corelație între defectele electrice active induse de iradiere și performanțele detectorilor. Pentru aceasta, parametrii electrice ai defectelor (concentrații în funcție de fluența de iradiere și tipul particulelor, energie de activare și secțiunile de captură pentru goluri și electroni) precum și structura chimică a defectelor trebuie cunoscute. Bazat pe aceste cunoștințe,

sunt abordate diferite încercări de "Inginerie de defecte". Aceasta presupune schimbări în concentrațiile de impurități de material, (e.g. C, O, H) sau modificări în modul de procesare al diodelor de Si cu scopul de a putea controla nivelul de compensare dorit între generarea defectelor electrice active, în urma iradierii cu diferite particule. Cooperarea directă, prin intermediul colaborării CERN-RD50, cu instituții ce depun epitaxial materiale semiconductoare și procesează senzori permite realizarea de studii corelate și iterații succesive pentru optimizarea conținutului de impurități în vederea creșterii rezistenței și la radiații.

- **Proiectul WLCG**

<http://lcg.web.cern.ch/lcg/>

Colaborarea Worldwide LHC Computing Grid (WLCG) cuprinde peste 140 de centre de calcul din 34 de țări, care sunt interconectate într-o rețea de mare viteză și asigură, în mod coordonat, suportul IT necesar pentru stocarea, procesarea și analiza datelor achiziționate în cele patru experimente majore efectuate la acceleratorul LHC de la CERN: ALICE, ATLAS, CMS și LHCb.

România este reprezentată în colaborare prin consorțiul RO-LCG, condus de IFIN-HH și având ca parteneri două institute de cercetare și două universități, care contribuie la WLCG cu nouă centre grid ce suportă experimentele ALICE, ATLAS și LHCb.

OBIECTIVE

Obiectivele specifice ale participării naționale la WLCG sunt strâns legate de cerințele colaborării, exprimate în memorandumul de înțelegere (MoU) încheiat între ANCS și CERN:

- O1: Îndeplinirea angajamentului anual privind creșterea capacității resurselor de procesare și stocare de date care sunt puse de RO-LCG la dispoziția colaborării WLCG, în conformitate cu cerințele experimentelor LHC și MoU
- O2: Asigurarea de către RO-LCG a coeficientului minimal de disponibilitate a resurselor și serviciilor grid, conform SLA (service level agreement) prevăzut în MoU
- O3: Creșterea coeficientului de utilizare a resurselor RO-LCG de către comunitatea WLCG
- O4: Asigurarea monitorizării și contorizării centralizate a activității RO-LCG
- O5: Implementarea de noi tehnologii și actualizarea software-ului grid în conformitate cu cerințele WLCG și EGI (European Grid Initiative)
- O6: Creșterea eficienței energetice și a productivității grid a site-urilor RO-LCG
- O7: Asigurarea coordonării și coerenței managementului și politicii în domeniul grid a instituțiilor partenere din RO-LCG
- O8: Training pentru personalul tehnic RO-LCG privind noile tehnologii adoptate
- O9: Training și suport tehnic pentru utilizatorii grid
- O10: Diseminarea rezultatelor și creșterea vizibilității RO-LCG în cadrul WLCG

PLANIFICAREA ACTIVITĂȚILOR

Pachetele de activități sunt prezentate în tabelul de mai jos

| Pachet de activități | Descriere activități / scop | Termen |
|---|---|-----------|
| A1: Management și coordonare | Activități de coordonare a RO-LCG, comunicare între centre, întâlniri de lucru, raportare (O7) | Permanent |
| A2: Dezvoltarea, administrarea, operarea și mentenanța infrastructurii grid | Monitorizarea și contorizarea globală a infrastructurii și serviciilor grid; administrarea și operarea centrelor grid; implementarea și mentenanța infrastructurii (O2, O4, O6) | Permanent |

| | | |
|---|--|------------------|
| A3: Achiziționarea și instalarea resurselor hardware | Cresterea anuală a capacității de procesare și stocare conform cerințelor experimentelor LHC (O1) | Anual în aprilie |
| A4: Implementarea de noi tehnologii și actualizări software | Optimizarea procesării job-urilor și a stocării de date; upgrade software LCG pt. menținerea compatibilității (O2, O5) | Permanent |
| A5: Training și suport tehnic | Training pt. personal privind administrarea, monitorizarea și securitatea grid; training pt. utilizatori (O8, O9) | Permanent |
| A6: Diseminare și comunicare | Dezvoltarea și întreținerea sistemului electronic de comunicare/diseminare; participarea și organizarea de conferințe/workshop-uri; publicare rezultate; creșterea vizibilității RO-LCG în cadrul WLCG (O10) | Permanent |
| A7: Adaptarea infrastructurii de rețea la cerințele WLCG | Asigurarea redundanței rețelei de date; îmbunătățirea lățimii de bandă punct la punct pentru transferul fișierelor mari de date, cu concursul RoEduNet (O2, O3) | 2012 |

4. Proiecte de viitor

Dezvoltarea în viitor a colaborării românești cu CERN implică două aspecte distincte: extinderea participării la experimente în desfășurare precum și deschiderea participării la noile experimente ce vor fi lansate în perspectiva anului 2022, când va începe instalarea hardware-ului pentru LHC cu luminozitate înaltă (HL-LHC). Investigarea oportunităților de participare și posibilitățile de a folosi experiența grupurilor românești într-unul dintre experimentele HL-LHC sunt preocupări actuale – expresii de interes și scrisori de intenție pentru participare și angajarea de activități vizând upgrade-ul detectorilor fiind deja depuse (LHCb) sau în curs (DIRAC).

5. Priorități și recomandări

Principalele priorități ale participării românești la CERN sunt:

- creșterea implicării și a aportului cercetătorilor români la marile teme ale cercetării actuale la nivel mondial; participarea în experimentele de vârf (de mare anvergură) aduce valoare cercetării științifice românești iar prezența și activitatea în cadrul acestor experimente fundamentează prioritățile și certifică valoarea cercetării românești.
- dezvoltarea resursei umane; colaborarea la facilitatea experimentală CERN poate oferi grupurilor de cercetare din România extinderea semnificativă a unor direcții de cercetare cu tradiție în țară. De aceea, dezvoltarea resursei umane are în vedere dezvoltarea abilităților experimentale și cunoștințelor științifice, prin interpretarea teoretică a datelor obținute, dar și prin atragerea de tineri specialiști prin dezvoltarea unor tematici de masterat și doctorat specifice domeniilor de fizică studiate la CERN.
- asigurarea sinergiei cu dezvoltările și experimentele efectuate la facilități din România (Tandem-IFIN-HH, ELI-RO). Din punct de vedere al tehnicii de măsură, această sinergie se va concretiza prin testarea de echipamente și dezvoltarea de metodici/sisteme de măsură la facilitățile naționale care să fie apoi utilizate în experimente la CERN.

Pentru realizarea priorităților și obiectivelor prezentate se recomandă:

- finanțarea completă și constantă a cercetărilor legate de participarea la CERN; finanțarea continuă și predictibilă, în cadrul unui program multianual, este absolut necesară 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.
- sprijinirea programatică a infrastructurilor naționale existente și viitoare în vederea impunerii acestora ca infrastructuri europene de cercetare
- includerea marilor centre de resurse grid pe lista instalațiilor de interes național
- suport susținut pentru dezvoltările teoretice necesare abordării tematicilor actuale sau care pot apărea din noile observații experimentale.
- susținerea și promovarea de programe educaționale ample în știință și tehnologie, pentru atragerea tinerelor generații spre cercetarea de fizică și dezvoltare tehnologică.

III. Strategia participării României la FAIR

1. Prezentarea pe scurt a FAIR

FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research) va fi cea mai mare infrastructură experimentală pentru producerea de fascicule radioactive din Europa și este plasată în Darmstadt, Germania, ca extindere majoră a actualului GSI. Această infrastructură experimentală este construită de un consorțiu internațional în care România este membru fondator. FAIR va oferi oportunități experimentale de neegalat la nivel mondial pentru fizica nucleară și hadronică, fizică atomică sau aplicații, în acest sens fiind de altfel recunoscută de către ESFRI (European Strategy Forum on Research Infrastructures) ca fiind principala infrastructură la nivel european pentru producerea de fascicule radioactive. La FAIR vor putea fi produse fascicule intense de izotopi instabili ai tuturor elementelor de la hidrogen la uraniu, precum și antiprotoni. Energiile la care vor fi accelerate aceste specii radioactive sunt în domeniul 1-30 GeV/nucleon. Fiind o facilitate care produce fascicule radioactive folosind tehnica "in-flight", FAIR are avantajul de a putea furniza orice izotop indiferent de proprietățile chimice ale elementului respectiv. În plus, deoarece procesul de producere este rapid, vor putea fi produși izotopi foarte îndepărtați de linia de stabilitate, care au timpi de înjumătățire foarte scurți. FAIR va fi unic între alte instalații experimentale planificate să fie construite pentru că experimentele vor putea fi făcute la energii incidente mari, de ordinul GeV/nucleon, va furniza cele mai pure fascicule radioactive pentru elementele grele pe plan mondial și, nu în ultimul rând, va avea un inel de stocare ceea ce va permite obținerea celor mai mari intensități de fascicul radioactiv, cu ordine de mărime mai mult decât ceea ce se poate obține în prezent.

2. Obiectivele generale ale participării României la FAIR

România este membru fondator al FAIR și obiectivele științifice urmărite de cercetătorii români la aceasta facilitate reprezintă componente majore în strategia domeniului fizicii nucleare. Pe plan internațional comunitatea științifică care intenționează să facă experimente la FAIR este organizată în mari colaborări, țara noastră fiind reprezentată consistent în cinci dintre acestea: NUSTAR(HISPEC/DESPEC), R3B, CBM, PANDA și SPARC. Aceste colaborări acoperă o arie tematică foarte largă, de la cercetări de structură nucleară la energii joase până la studiul diagramei de faza QCD în zona densitatilor net-barionice înalte. În anii premergători intrării în operație a diverselor faze prevăzute pentru FAIR toate aceste colaborări sunt activ implicate în dezvoltarea de aparatură experimentală de mare performanță adaptată special condițiilor practice (flux de particule, dimensiunea fasciculului, fond de radiații, etc.) care sunt așteptate la FAIR. Ca urmare, pe lângă interesul științific major al viitoarelor experimente în care vor fi implicați cercetători români la FAIR există și o foarte importantă componentă de dezvoltare tehnologică care poate fi asimilată prin implicarea activă a grupurilor din România în diversele proiecte de construcție de aparatură experimentală. În cazul României o parte importantă din contribuția la FAIR este reprezentată de contribuția *in-kind* în cadrul experimentelor, ceea ce constituie un impuls suplimentar pentru modernizarea și dezvoltarea facilităților din țară, asimilarea și dezvoltarea de noi tehnologii sau metodici experimentale, pentru a putea asigura livrarea în condiții optime a acestei contribuții.

3. Proiecte actuale

- NUSTAR - HISPEC/DESPEC

Cercetările experimentale folosind fascicule radioactive reprezintă o componentă majoră a programului de cercetare prevazut pentru FAIR. Partea de fizică nucleară este organizată într-o mare super-colaborare internațională numită NuSTAR (Nuclear Structure, Astrophysics and Reactions), care are mai mult de 800 de membrii din peste 20 de țări europene. În cadrul NuSTAR, cu specific pentru partea de structură nucleară sunt colaborările HISPEC și DESPEC, în care comunitatea de fizică nucleară din România este implicată activ. Colaborarea HISPEC urmărește în prezent dezvoltarea de aparatură pentru experimente folosind fascicule accelerate de nuclee exotice, cum sunt excitarea Coulombiană la energii relativiste sau reacțiile de fragmentare. Componentele principale pentru a realiza acest gen de experimente sunt multi-detectorul de germaniu segmentat AGATA, detectori de particule încărcate și ioni grei de ultimă generație precum LYCCA și alte dispozitive experimentale dedicate precum cele de tip "plunger". Pe de altă parte, colaborarea DESPEC are ca și scop în prezent dezvoltarea de aparatură experimentală performantă pentru experimente de spectroscopie în procesele de dezintegrare a izotopilor foarte depărtați de linia de stabilitate. Componente majore pentru acest gen de experimente sunt detectorul de implantare sensibil la poziție AIDA, un multi-detector segmentat de germaniu pentru spectroscopie de înaltă rezoluție și un multi-detector de scintilatori rapizi de ultimă generație din $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ pentru măsurători de timpi de înjumătățire în domeniul zecilor de picosecunde sau mai mari. Activitatea cercetătorilor din România implicat în aceasta colaborare este focalizată pe tematicile în care țara noastră se angajează cu furnizarea de contribuție in-kind la FAIR/NUSTAR, și anume:

1. **Fast-timing array:** se are în vedere construirea unui sistem multi-detector din scintilatori $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$, un material inovativ apărut în ultimii 5 ani pe piață. Grupul din IFIN-HH a achiziționat un număr consistent de astfel de detectori, a lansat o colaborare pe tematici de fast-timing cu grupuri din Marea Britanie, Germania, Bulgaria, Spania, Franța, etc. și au fost efectuate campanii experimentale cu participare internațională în laboratorul TANDEM din IFIN-HH, în paralel cu o serie de studii privind posibilitatea de a valorifica eficient caracteristicile de rezoluție energetică și temporală a acestor detectori în cadrul unor sisteme multi-detector mari. La București a fost realizat un prim sistem multi-detector mixt $\text{HPGe-LaBr}_3:\text{Ce}$, sistem care poate fi considerat **sistem pilot** pentru viitorul array și au fost efectuate o serie de experimente în fascicul la acceleratorul TANDEM. Rezultatele obținute sunt deosebit de încurajatoare, demonstrând posibilitatea practică de a utiliza un număr mare de detectori cu performanțe de rezoluție energetică și temporală similare cu a unui sistem standard cu doi detectori. Studiile efectuate la București au fost comunicate în cadrul colaborării "fast-timing" și constituie informație experimentală utilă pentru proiectarea sistemului multi-detector pentru NUSTAR/FAIR.
2. **DESPEC Ge array:** se are în vedere construcția unui sistem multi-detector HPGe cu capabilități de imaging și cu granularitate mare. Aceste caracteristici sunt necesare în experimentele de spectroscopie a nucleelor exotice implantate în detectorul sensibil la poziție AIDA, experimente în care sursa este de mari dimensiuni și rata de numărare așteptată este relativ scăzută față de nivelul fondului. Folosind corelațiile dintre punctul de implantare, validarea prin imaging gama și având în vedere ratele de producție pentru

fascicule radioactive așteptate la FAIR, vor putea fi studiați izotopi foarte departați de linia de stabilitate, specii exotice care nu sunt accesibile experimental în prezent și care pot aduce informații esențiale pentru înțelegerea structurii nucleare. În prezent se lucrează pentru definirea tipului de detectori care vor fi utilizați și a configurației în care vor fi instalați. În plus, grupul din IFIN-HH detine coordonarea în activitatea de dezvoltare a electronicii digitale care va fi utilizată pentru DESPEC.

3. **Plunger:** se urmărește construcția unui plunger adaptat condițiilor specifice de la FAIR, și anume viteze de recul de ordinul zecilor de procente din viteza luminii și dimensiuni ale fasciculului de ordinul a 10 centimetri. Ca un prim pas în asimilarea tehnologiei necesare, colectivul din IFIN-HH a construit, în colaborare cu IKP Köln, un astfel de dispozitiv pentru acceleratorul TANDEM, dispozitiv care a fost testat cu succes în cursul anului 2010. În prezent IFIN-HH detine coordonarea redactării Technical Design Report pentru plungerul din cadrul colaborării HISPEC/DESPEC.
4. **Beam tracking detectors:** pentru un număr mare de experimente este esențial să fie determinată cinematica fiecărei particule din fascicul. În plus, particulele trebuie identificate și după energy buncher, deoarece o fracție importantă (10-20%) din fascicul este pierdută în urma reacțiilor nucleare. Detectorii pentru beam-tracking vor trebui ca urmare să furnizeze eveniment cu eveniment masa, sarcina, energia, poziția și direcția fiecărei particule din fascicul. Aceste cerințe sunt extrem de greu de satisfăcut practic pentru energiile și dimensiunea fasciculului de la FAIR astfel că sunt necesare dezvoltări ale detectorilor folosiți până în prezent la alte facilități. În cadrul HISPEC/DESPEC, IFIN-HH este implicat în aceste dezvoltări în strânsă colaborare cu IKP Köln.

Pe lângă activitățile de dezvoltare experimentală IFIN-HH este membru al colaborării PRESPEC, care este definită ca stagiu pregătitor pentru intrarea în activitate a HISPEC/DESPEC. Colaborarea PRESPEC are în vedere desfasurarea de activitate experimentală pe tematici HISPEC/DESPEC folosind facilitățile existente în prezent la GSI, precum și acordarea de sprijin pentru comisionarea aparatului în construcție pentru HISPEC/DESPEC.

- Reactions with Relativistic Radioactive Beams : NUSTAR-R3B

În cadrul acestui proiect cercetătorii români participă în prezent la efectuarea de simulări ale întregului ansamblu de detectori ce alcatuiesc spectrometrul de neutroni cu timp de zbor – NeuLAND (New Large Area Neutron Detector) și efectuarea de simulări pentru studii de structură și reacții nucleare. Aceste două obiective vor avea ca finalitate atât proiectarea sistemului de detecție NeuLAND cât și analiza datelor experimentale obținute cu acești detectori. Până acum au fost dezvoltate mai multe variante ale programului de simulare, analiză și reconstrucție R3BRoot având ca bază framework-ul FairRoot și care permite utilizarea simulatoarelor Geant3, Geant4 și Fluka. Pentru a atinge scopul unui program de simulare complet integrat vor fi făcuți următorii pași: dezvoltarea unor generatoare de evenimente bazate pe modele realiste de fizică care să îndeplinească cerințele experimentale ale R^3B ; testarea comparativă a acestor modele cu un set de date experimentale elementare disponibile și unele în raport cu altele; crearea unei platforme pentru simulări în care utilizatorii să poată comuta ușor într-diferite module cu scopul final de a combina un generator de evenimente dintr-o aplicație specifică cu definițiile de geometrie dintr-un alt cod și cu transportul

dintr-un alt program; verificarea rezultatelor prin comparatie cu alte tipuri de detectori care sunt in dezvoltare in acest moment pentru R³B; investigarea posibilitatii folosirii simularilor pe scara larga pe sisteme de tip grid.

În prezent principalul efort stiintific este directionat pentru efectuarea de simulari ale intregului ansamblu NeuLAND si ale diferitelor canale de reactie de interes pentru R³B în vederea adoptarii unei decizii privind configuratia finala a detectorului NeuLAND si pregatirea TDR (Technical Design Report).

Pentru perioada 2012-2014 sunt prevazute primele teste ale unui prototip NeuLAND in fascicol de neutroni rapizi la GSI Darmstadt, testarea in fascicol a 10-20% din NeuLAND si analiza rezultatelor folosind R3BRoot.

Pentru perioada 2015-2020 se prevede instalarea si comisionarea demonstratorului NeuLAND in Cave C de la GSI-Darmstadt, primele experimente de fizica cu NeuLAND si software-ul R3BRoot instalat, instalarea tuturor detectorilor ce alcatuiesc NeuLAND si teste folosind intreaga structura, mutarea detectorului NeuLAND in noua locatie de la FAIR si în final primele experimente cu ansamblul NeuLAND in locatia FAIR si folosind Super-FRS.

Resursele financiare necesare se refera atit la plata manoperei cercetatorilor implicati cit si suportul necesar deplasarii la conferinte si intilniri ale colaborarii si la experimentele-test desfasurate la GSI-Darmstadt precum si la achizitionarea de resurse computationale necesare la simulari si dezvoltarea de software.

- CBM

Unul dintre obiectivele stiintifice ale viitoarelor experimente de ciocnire a ionilor grei la energii relativiste ale fascicolului consta in scanarea cat mai precisa a diagramei de faza QCD in zona densitatilor net-barionice inalte.

Aceste experimente vor trebui sa raspunda la intrebari fundamentale ale fizicii moderne: Care sunt proprietatile materiei nucleare foarte dense? Exista o tranzitie de faza de ordinul intai între materia hadronica si cea partonica? Exista un punct critic sau un punct triplu si, daca da, unde este localizat? Exista o tranzitie de faza chirala si, daca da, coincide aceasta cu tranzitia de faza de deconfinare? Exista si alte noi faze QCD cum ar fi materia "quarkionica"?

Folosind ciocnirea ionilor grei accelerati la aproximativ 30AGeV cu tinte fixe se poate atinge valoarea temperaturii de aproximativ 160 MeV unde apare o schimbare a gradelor de libertate. La aceasta energie a fost gasit maximul in functiile de excitatie a raportului dintre particulele "strange" si cele "non-strange". Aceasta observatie a fost intepretata ca fiind semnatura tranzitiei între materia preponderent barionica si cea preponderent mezonica, inasa nu s-a ajuns la un consens in ceea ce priveste aceasta interpretare. In particular, raportul "strangeness-to-entropy" masurat de NA49 la energii SPS indica o structura abrupta ce nu poate fi descrisa de modelele hadronice. Nepotrivirea între estimarile teoretice si datele experimentale existente au dus la aparitia de speculatii privind posibila aparitie a deconfinarii deja la energii SPS joase.

Existenta unei tranzitii de faza este asociata cu o variatie rapida a gradelor de libertate active ale sistemului. Bine-cunoscutul fenomen al opalescenței critice este un rezultat al fluctuatiilor pe toate scalele de distanta datorate unei tranzitii de faza de ordinul doi. Pe de alta parte, tranzitiile de faza de ordin intai duc la formarea unei bule, i.e. fluctuatii mari ale densitatii. De aceea, cautarea experimentală a unui posibil punct critic si a unei regiuni de coexistenta de faze de ordin intai in diagrama de faza QCD trebuie sa includa masurarea fluctuatiilor numarului de particule sau a momentului, eveniment cu eveniment, si a corelatiilor in ciocnirile de ioni grei, ca functie de energia fascicolului.

Pentru a descoperi posibilele structuri datorate tranzitiei de faza de deconfinare si/sau punctul final critic din diagrama de faza QCD va fi necesara acoperirea unui domeniu de energii ale fascicolului, selectia energiei facandu-se cat mai exact posibil. Pentru a se obtine o imagine cat mai consistenta a fenomenelor studiate este necesara investigarea unui set cuprinzator de observabile pentru care sa fie cautata zona de ne-monotonie a functiilor lor de excitatie. O provocare va fi identificarea semnaturilor fazei partonice ce supravietuieste hadronizarii. In acest sens, este evident ca acele observabile ce sunt generate in faza initiala a ciocnirii si nu sunt distorsionate de interactiile din faza finala a acesteia sunt cele mai bune candidate.

Acceleratorul SIS-100 din cadrul FAIR va livra catre aranjamentele experimentale ale CBM fascicule de ioni grei cu energii de pana la 14 A GeV. Acest domeniu de energii pentru fascicol este ideal pentru producerea si investigarea densitatilor barionice nete ce pot fi intalnite in centrul stelelor neutronice. Pentru prima oara vor putea fi folositi dileptoni sau particule "multi-strange" precum hiperonii Ω pentru a studia in mod sistematic proprietatile materiei barionice in acest domeniu energetic. Fasciculele de protoni de 30 GeV produsi de SIS-100 vor permite efectuarea unor masuratori de pionierat asupra producerii de "charm" la energii de prag, ca si studiul detaliat al propagarii proprietatilor de "charm" in materia nucleara rece. Acceleratorul SIS-300 al FAIR va livra catre experimentul CBM fascicule de ioni de intensitate mare si accelerate pana la 45 A GeV, ceea ce va permite investigarea diagramei de faza QCD la potentiale chimico-barionice mari.

Detalii privind rezultatele obtinute pana acum de catre cercetatori din România privind dezvoltarea unor noi generatii de detectori TRD si RPC pentru rate mari de numarare si electronica front end asociata pot fi urmarite pe pagina web (<http://niham.nipne.ro/new/cbm.html>). Bazat pe aceste rezultate, DFH din IFIN-HH va construi parti importante ale subdetectorilor TRD si TOF-RPC ale aranjamentului experimental CBM folosind experienta anterioara precum si infrastructura existenta si cea care va fi accesibila in viitorul apropiat odata cu finalizarea proiectului CEXMECDIF. Colectivul din România se va concentra in special pe zonele de la unghiuri polare mai mici, cele mai delicate din punct de vedere al cerintelor in performanta in termeni de granularitate si in conditii de rate mari de evenimente, specifice unui experiment cu tinta fixa si care isi propune sa foloseasca intensitatile mari de fascicol ce vor fi livrate la FAIR de acceleratoarele SIS100 si ulterior SIS300. Noua infrastructura CEXMECDIF va permite montarea supermodulelor finale precum si testarea cu raze cosmice a performantelor acestora, permitand astfel montarea directa in aranjamentul experimental.

Pe baza experientei acumulate in activitatile GRID din cadrul colaborarii ALICE (http://niham.nipne.ro/new/data_center.html), DFH din cadrul IFIN-HH isi va aduce o contributie esentiala si in dezvoltarea GRID-ului CBM.

Bineinteles ca toate aceste eforturi sunt si vor fi depuse pentru a accesa tipul de studii amintite mai sus ce vor fi posibile odata cu intrarea in exploatare a aranjamentului experimental CBM la FAIR. Pentru aceasta vor fi puse la punct pachetele software de calibrare, analiza si interpretare a rezultatelor experimentale.

- PANDA

La complexul de accelerare FAIR, pe lânga o mare varietate de fascicule de ioni, vor fi accelerati si antiprotoni de mare energie. Activitatile de R&D si experimentele efectuate anterior la CERN (Crystal Barrel si OBELIX) si Fermilab (E760 si E835) au pus bazele producerii, stocarii, accelerarii si utilizarii fasciculelor de antiprotoni in studiul interactiei tari si a structurii hadronilor. La FAIR va fi continuat si extins programul de cercetare inceput la CERN si Fermilab, la valori superioare ale energiei, intensitatii si rezolutiei fasciculelor de antiprotoni. Vor fi producsi antiprotoni la o rata de

$2 \times 10^7 \bar{P}/s$ prin interactia pe o tinta metalica a unui fascicul primar intens de protoni ($4 \times 10^{13}/s$), de 30 GeV/c, de la acceleratorul SIS100. Dupa ce vor fi separati magnetic de particulele de alte tipuri, produse in interactia proton-nucleu, antiprotonii vor fi transferati intr-un inel de stocare (RESR/CR) si injectati apoi, la un impuls de 3.5 GeV/c, in inelul de stocare/accelerare intitulat HESR (High Energy Storage Ring), unde va fi instalat experimentul PANDA (antiProton ANnihilation at Darmstadt, <http://www-panda.gsi.de>). Inelul HESR va putea stoca pina la 10^{11} antiprotoni, pe care-i va accelera/decelera la valori ale impulsului cuprinse in domeniul 1.5-15 GeV/c. Experimentul PANDA va exploata avantajele pe care le aduce reactia de anihilare a antiprotonilor pe protoni si nuclee, prin producerea copioasa de perechi de quarci $c\bar{c}$ sau $s\bar{s}$, sau prin excitarea gradelor de libertate gluonice, ce va conduce la obtinerea de rezultate noi in zone inaccesibile in alte tipuri de experimente, sau la imbunatatirea preciziei datelor deja obtinute. Rezolutia foarte buna a fasciculelor de antiprotoni, de pina la $\delta p/p=10^{-5}$, va permite masurarea maselor si largimilor rezonantelor hadronice cu o precizie de 50-100 KeV, o imbunatatire de 10 pina la 100 de ori fata de cea mai buna precizie obtinuta pina in prezent in experimente efectuate cu fascicule incrucisate e^+e^- . In interactii $\bar{p}p$ vor fi efectuate cercetari de spectroscopia starilor charmonium si a mezonilor D, se va investiga producerea de hadroni gluonici (glueballs si hibrizi) si hadroni cu structura multiquark, de barioni cu stranietate si charm. Va fi investigata violarea simetriei CP in sistemele D/\bar{D} si $\Lambda/\bar{\Lambda}$ si se vor studia procese Drell-Yan. In interactia $\bar{p}-nucleu$ se va investiga producerea mezonilor J/Ψ si a altor stari charmonium si absorbtia lor in mediul nuclear, si se vor efectua studii de structura nucleara cu hipernuclee duble $\Lambda\Lambda$. Spre deosebire de experimentele de pina acum, in care doar s-au pus in evidenta hipernucleele duble, se estimeaza ca in experimentul PANDA acestea sa fie produse la o rata de 100/zi.

Pentru acest program de cercetare, colaborarea PANDA urmeaza sa construiasca un detector performant, ce va avea doua componente:

1. TS („target spectrometer”) - spectrometrul din regiunea tinteii, ce consta dintr-un solenoid supraconductor de 2T ce inconjoara regiunea de interactie si in interiorul caruia se gasesc: detectorul de vertex (MVD), camere drift sub forma de tuburi subtiri (STT) sau o camera cu

proiecție temporală (TPC) pentru înregistrarea traselor particulelor încărcate, detectori Cerenkov (RICH) pentru identificarea tipului de particulă, un calorimetru electromagnetic cu cristal (EMC). În exteriorul acestuia sunt contorii de muoni (MUO).

2. FS („forward spectrometer”) - spectrometrul pentru direcția înainte, care asigură detectia particulelor rapide emise la unghiuri sub 10° în plan orizontal și sub 5° în plan vertical. FS cuprinde un magnet dipolar de 2Tm, camere minidrift (MDC) sau camere drift sub forma de tuburi subtiri (STT), un detector Cerenkov (RICH), un calorimetru electromagnetic sandwich Pb/scintilator (EMC) și contori muonici.

În prezent, în cadrul colaborării PANDA se desfășoară activități de R&D privind soluțiile tehnice de realizare a diferitelor componente ale instalației experimentale, a asamblării, instalării și operării lui în fascicul. În același timp, se lucrează la elaborarea software-ului de prelucrare, analiză și simulare de ultimă generație, dezvoltat pe o arhitectură de framework, folosind tehnici de programare orientate pe obiect.

În perioada 2012-2014 vor continua activitățile de R&D, iar în 2014-2016 construcția unor părți ale instalației experimentale. Din 2016 va începe instalarea la FAIR a detectorului PANDA în locația stabilită, în 2017 sunt planificate activități de comisionare, iar în 2018, darea lui în funcțiune și începerea programului de cercetare.

Contribuția angajată de către IFIN-HH în colaborarea PANDA este atit la construcția detectorului, cit și la elaborarea de soluții software pentru sistemele de monitorizare și control a detectorului, la sistemul de achiziție a datelor, precum și efectuarea de simulări Monte Carlo și analiză offline.

Participăm la realizarea subdetectorului Central Outer Tracker, în varianta STT (straw tube tracker). Acesta va fi plasat în proximitatea țintei în spectrometrul TS și va servi la determinarea traiectoriilor și măsurarea impulsului particulelor încărcate produse în interacțiile antiprotonilor pe ținta. S-au inițiat discuții privind posibila participare românească la realizarea unor părți mecanice pentru grupul de fizică hipernucleelor.

- SPARC

Proiectul SPARC – Stored Particle Atomic Physics Collaboration – își propune studiul stărilor atomice în condiții extreme ale materiei– stări înalte de sarcină atomică la energii mari și în câmpuri electromagnetice extrem de intense, nestaționare și la temperaturi mari, utilizând fasciculele de ioni grei care vor fi produse la viitorul complex de acceleratori FAIR.

Două aspecte majore stau în centru studiilor: interacția electronilor cu nucleele grele, în contextul teoriei electrodinamicii cuantice și dinamica ciocnirilor atomice asistate de câmpuri electromagnetice extrem de puternice. Aceste studii fundamentale vor contribui la o mai bună înțelegere a materiei în formele ei extreme care predomină în univers.

Acecelatoarele facilității FAIR sunt programate să producă fascicule relativiste de ioni grei ale nuclidelor stabile și instabile, de sarcină foarte înaltă, până la atomi complet ionizați și cu intensități extrem de mari, oferind posibilitatea unică de a folosi toate speciile atomice stabile ale sistemului

periodic de elemente (de la hidrogen la uraniu) și a unor instabile, într-un domeniu de energii care se întinde de la energii relativiste (90% din viteza luminii) până la zero (în repaus). Unicitatea proiectului pe plan internațional constă în existența posibilităților de stocare și 'răcire' (cooling) a fasciculelor de ioni foarte grei în stări de sarcină înaltă, fiind posibilă astfel efectuarea de experimente de precizie foarte mare.

Combinăția accelerator-decelerator-capcane de ioni va permite obținerea de astfel de fascicule într-un domeniu de energie care se întinde pe nouă ordine de mărime: de la 10 GeV/u până aproape de repausul total. În afară de aceste fascicule, noile experimente concepute și dezvoltate de colaborarea SPARC se vor baza pe o nouă generație de detectori multiparametrici pentru particole încărcate și fotoni, spectrometre pentru ioni și electroni, ținte speciale, cum ar fi gas-jett și fascicule de electroni răcite, cristale, nanostructuri, lasere.

Aria tematică complexă se reflectă în dimensiunea colaborării, care însumează astăzi peste 200 de cercetători afiliați la 80 de instituții din 28 de țări. România, prin Institutul de Fizică și Inginerie Nucleară – Horia Hulubei (IFIN-HH), Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica Laserilor Plasmei și Radiației (INFLPR), și a Institutului de Științe Spațiale (ISS) este membră a colaborării încă de la înființare acesteia, în anul 2004 (printr-un Interim Memorandum of Understanding, MoU).

Plecând de la interesele științifice și expertiza, grupul de fizică atomică din IFIN-HH este implicat în programul de cercetare la energii relativiste, în domeniul GeV/u și în domeniul energiilor joase - MeV/u:

Ioni grei relativști de sarcină înaltă: programul cuprinde studiul structurii atomice și a dinamicii de ciocnire în cazul ionilor stabili, supergrei la energii medii și relativiste. Experimentele de channeling a ionilor grei relativști în cristale sunt o metodă deosebită de studiu a proceselor atomice fundamentale (excitație, ionizare, captură) în condiții speciale. De asemenea, acest tip de experimente poate fi extins și în domeniul spectroscopiei nucleare de mare rezoluție (Nuclear Resonant Coherent Excitation).

Fascicule de energie joasă: Accesul la fascicule de ioni grei cu un înalt grad de stripare, cu energii cinetice în domeniul MeV/u și mai mici, deschide posibilitatea accesării unui domeniu de interacție atomică cu perturbații foarte mari (valori mari ale paramerului Sommerfeld, q/v). În acest domeniu teoriile bazate pe modelul perturbațiilor nu au nici o putere de predicție și sunt condiționate de existența datelor experimentale. Interacția acestor fascicule cu nanostructuri constituie o altă parte a programului de cercetare.

Responsabilitățile grupului de la IFIN-HH în cadrul proiectului, pentru pregătirea și derularea acestor investigații experimentale, se vor întinde pe toată perioada de pregătire și proiectare a noilor instalații experimentale, construcție de prototipuri, teste și comisionare și se va desfășura în cadrul subproiectelor:

- Dezvoltarea unui detector rapid, sensibil la poziție și rezistent la radiație pentru detecția ionilor grei, bazat pe CVD-diamond (chemical vapour deposition diamond). Acest tip de detector va fi utilizat atât ca detector în planul focal al unui spectrometru de sarcină, cât și la monitorizarea fascicolului.

- Contribuție la construcția unui spectrometru de sarcină pentru ioni grei
- Testarea și comisionarea detectorului de particule pentru planul focal al spectrometrului magnetic
- Participarea directă la programul experimental: construcția și montarea finală a setup-ului experimental și efectuarea primelor măsurători de interacții ioni grei lenți-suprafață, teste și calibrări, achiziție și prelucrare de date, dezvoltări software specifice experimentelor.

În paralel participarea românească la proiectul SPARC se face și pe tematica studiului interacțiilor câmpurilor intense de laseri cu materia, obiectivele acestei participări fiind:

- Studiul efectelor de interferență cuantică asupra absorbției câmpului de probă într-un sistem atomic cu trei nivele supus acțiunii unui câmp de pompare coerent: rezolvarea prin metode perturbative a ecuațiilor matricii densitate și construirea funcției de răspuns a laserului de probă.
- Studiul ionizării multifotonice a atomilor cu doi electroni de valență: investigarea ionizării atomului cu doi electroni de valență sub acțiunea pulsurilor laser de intensitate înaltă și dependența temporală reală;
- Calculul probabilităților de ionizare, a distribuțiilor unghiulare și a spectrului de fotoelectroni emiși.
- Implementarea unui Laser Setup: - optimizarea funcționării unui laser cu raze X, cu plasma din Molibden, ca mediu activ, pompat la incidență razantă, prin excitare tranzientă cu coliziuni electronice.

4. Priorități și recomandări

- Asigurarea întregii contribuții financiare, și în special a contribuției *in-kind* a României la FAIR
- Sprijinirea financiară și logistică a participării grupurilor de cercetători din România în cadrul colaborărilor NUSTAR, R3B, CBM, PANDA și SPARC.
- Sprijinirea dezvoltării infrastructurii de cercetare din România necesară pentru a contribui eficient la construcția de aparatură experimentală care să fie folosită la FAIR
- Asigurarea continuității finanțării activităților legate de FAIR în faza de construcție a infrastructurii și, odată cu intrarea în operare a acesteia, asigurarea finanțării pentru activitatea experimentală a grupurilor din România la această mare facilitate europeană.

IV. Strategia participării României la SPIRAL2

1. Prezentarea pe scurt a colaborării SPIRAL2

SPIRAL2 (<http://www.ganil-spiral2.eu>) este una din noile infrastructuri de cercetare la nivel european selectate de ESFRI (European Strategy Forum for Research Infrastructures) in lista sa de prioritati. Obiectivul SPIRAL2 este producerea de fascicule radioactive cu intensitati ce nu sunt disponibile in prezent la alte infrastructuri din domeniu fizicii nucleare. SPIRAL2 va fi realizat la GANIL (Grand Accelérateur National d'Ions Lourds) din Caen (Franta), un laborator cu rezultate stiintifice prestigioase in domeniu. Instalatia va folosi preponderent metoda de producere a fasciculelor secundare numita ISOL (Isotope Separation On Line) distincta de metoda producerii in zbor aplicata in proiectul FAIR, in curs de constructie la Darmstadt (Germania). Prezenta celor doua proiecte in lista selectata de ESFRI se datoreaza caracterului lor complementar. Astfel, prin realizarea celor doua proiecte, comunitatea de fizica nucleara europeana va beneficia de o infrastruktura de cercetare capabila sa-i asigure rolul principal pe plan mondial in acest domeniu. Metoda ISOL este in prezent folosita la GANIL in cadrul instalatiei SPIRAL utilizand reactii de multifragmentare la energii intermediare, dar mai ales la ISOLDE/CERN unde protonii de energie mare induc reactii de spalatie in tinte groase. La SPIRAL2 vor fi utilizate reactii de fisiune indusa de neutroni rapizi si reactii de fuziune-evaporare. SPIRAL2 este considerat o facilitate intermediara si unul din primii candidati la implementarea generatiei urmatoare de infrastructuri de cercetare dedicate producerii de fascicule radioactive, precum EURISOL, un proiect estimat la peste un miliard de Euro, inca neinclus in lista ESFRI.

Constructia SPIRAL2 este prevazuta in doua faze. Prima faza prevede realizarea unui accelerator liniar supraconductor ce va produce fascicule de ioni (stabili) de energii intermediare cu intensitati de ordinul miliAmperului, precum si a unor sali si echipamente experimentale dedicate folosirii acestor fascicule. In cea de-a doua faza va fi realizata instalatia de producere a fasciculelor secundare si noi sali experimentale si instrumentatie specifica experimentelor cu fasciculelor radioactive de energie mica. Va fi deasemenea realizat cuplajul cu ciclotronul SPIRAL existent care permite post-accelerarea si distribuirea fasciculelor radioactive accelerate in toate salile experimentale ale GANIL. Constructia este demarata si se va finaliza in 2014. Costurile totale sunt estimate la circa 130 MEuro. Valoarea investitiilor este estimata la 90 MEuro si este acoperita in proportie de circa 80% de angajamentele agentilor finantatoare din Franta. Diferenta este asteptata din partea partenerilor europeni.

Din punct de vedere institutional, SPIRAL2 este realizat ca extindere a GANIL, laborator cu o dubla tutela: CEA si IN2P3 operand in baza unui acord in vigoare pana in 2015. Dupa acest termen se intentioneaza transformarea SPIRAL2-GANIL intr-un laborator european cel mai probabil sub forma legala a unui ERIC (European Research Infrastructure Consortium).

2. Obiectivele generale ale participării României la colaborare

Participarea romaneasca in proiectul SPIRAL2 se inscrie in obiectivul enuntat in strategia domeniului fizicii nucleare de continuare a colaborarii cu partenerii traditionali, in special cu cei strategici. Intr-adevar SPIRAL2 este unul din proiectele strategice ale comunitatii europene de fizica nucleara,

complementar proiectelor FAIR si ISOLDE/CERN la care Romania este membru si contribuie financiar. Totodata SPIRAL2 este o extindere a GANIL iar tematica prezentata in sectiunea urmatoare reprezinta continuarea unei fructuoase colaborari pe termen lung desfasurate in cadrul Conventiei IN2P3 – IFIN-HH cu cercetatorii francezi din diverse laboratoare IN2P3 (LPC-Caen, IPN-Orsay, CSNSM, CENBG) avand la baza experimente comune realizate la GANIL.

In afara unor rezultate teoretice si experimentale deosebite, concretizate in numeroase articole in reviste ISI cu impact mare, colaborarea mentionata a stat la baza a unui numar mare de lucrari de doctorat fiind de astept ca prin participarea la SPIRAL2 ambele aspecte sa evolueze pozitiv: cresterea numarului de articole si tematici atractive propuse studentilor pentru studii doctorale si de masterat.

In contextul transformarii facilitatii SPIRAL2-GANIL, la orizontul anului 2015, intr-un laborator european sau international, unul din obiectivele participatii romanesti in colaborare este obtinerea statutului de membru pe baza analizei conditiilor de parteneriat ce sunt in prezent in curs de elaborare de partea franceza.

3. Proiecte actuale

- Proiectul 1: Sistem de masura a pierderilor de fascicul pentru acceleratorul liniar SPIRAL2

Componentele acceleratorului liniar supraconductor al SPIRAL2 si sistemele de radioprotectie au fost proiectate pentru un nivel al pierderilor de fascicul de 1 W/m, reprezentand o fractie foarte mica din intensitatea maxima a fascicului ce poate ajunge la 200 kW in cazul fascicului de deuteriu. Masurarea si localizarea pierderilor de fascicul, precum si generarea unui semnal de oprire rapida a fascicului in cazul depasirii pragurilor stabilite, reprezinta functiile baza ale unui sistemul de masura a pierderilor de fascicul (Beam Loss Monitor – BLM). Majoritatea acceleratoarelor moderne de fascicule cu intensitati mari sunt echipate cu astfel de sisteme al caror impact asupra functionarii este foarte puternic. Semnalele acestui sistem sunt permanent urmarite de operatorii si utilizatorii facilitatii, astfel incat vizibilitatea si importanta acestei contributii romanesti la SPIRAL2 este deosebit de mare.

In cazul SPIRAL2, a fost proiectat in IFIN-HH un sistem BLM bazat pe masurarea radiatiei (neutroni si raze gamma) emisa la interactia fascicului pierdut cu materialele acceleratorului. Sistemul consta intr-un numar de circa 35 de detectori scintilator plastici de volum $\sim 1 \text{ dm}^3$ distribuit de-a lungul acceleratorului liniar si al liniilor de fascicul de mare energie. Fiecare detector este dotat cu discriminator, contor digital in standard VME, module de alarmare in standard NIM pentru semnalarea depasirii limitelor prestabilite ale vitezei de numarare, posibilitate de control via ethernet a tensiunii de alimentare a detectorilor, precum si de control a integritatii si stabilitatii in functionare prin inducerea de semnale luminoase generate de LED-uri.

Proiectarea intregului sistem BLM, unul din obiectivele proiectului FP7 SPIRAL2 Preparatory Phase, este finalizata fiind deja lansata in IFIN-HH executia detectorilor si achizitia componentelor pentru partea achizitie si control.

Obiectivele pe term scurt prevad finalizare sistemului, dezvoltarea programelor de achizitie si control, instalarea la SPIRAL2 si punerea in functiune. Operarea acestui sistem, optimizarea

regimurilor de functionare si a setului de parametrii pentru diferite tipuri de fascicul si energii finale de accelerare, extragerea unei informatii relative si, ulterior, absolute privind intensitatea pierderilor de fascicul, si mai ales posibilitatile de reducere a acestor pierderi prin modificarea reglajelor acceleratorului este insa un proces de lunga durata. De aceea pe termen mediu, obiectivele proiectului prevad efectuarea de simulari prind radiatia emisa si raspunsul detectorilor, interpretarea datelor furnizate de sistemul BLM corelat cu reglajele acceleratorului, si eventual cu masuratori de activare pentru identificarea radionuclizilor produsi si cu semnale de la detectori suplimentari mobili care pot clarifica pozitia pierderilor si energia particulelor pierdute.

- Proiectul 2: Studiul desintegrarilor si al starilor izomere ale nucleelor departate de linia de stabilitate

Fasciculele radioactive produse prin metoda ISOL la SPIRAL2 vor fi disponibile la energiile de extractie din sursa de ioni (< 100 keV) in zona experimentală DESIR (Désintégration, excitation et stockage des ions radioactifs / Decay, excitation and storage of radioactive ions, <http://www.cenbg.in2p3.fr/desir/>). Vor fi astfel disponibile fascicule radioactive de dimensiuni mici ce vor permite continuarea in conditii mult mai bune a studiilor intreprinse folosind fascicule produse prin fragmentare si separare in zbor. Nucleele departate de linia de stabilitate prezinta o serie de fenomene specifice cum ar fi: prezenta pentru unele din ele a fenomenului de halo, aparitia de neutron skin, schimbarea cu rapiditate a inchiderilor de paturi in lungul unui lant izotopic, aparitia asa numitelor zone de inversie (orbitali care in secventa clasica de model in paturi se completeaza mai tarziu ajung sa se plaseze energetic sub orbitali inferioari), cresterea importantei interactiilor reziduale in explicarea acestui comportament (inchiderea de paturi), in special a interactiilor dintre protoni si neutroni, a celor de tip tensorial si a interactiilor de tip three body, rolul crescut al prezentei starilor din continuu (nelegate), fie ele cu caracter rezonant sau nu, din cauza cuplajului acestora cu stari slab legate, tipice pentru nucleele departate de stabilitate. Dintre tematicile abordate cu succes la GANIL de grupul din IFIN-HH, urmatoarele au un ridicat potential de dezvoltate la SPIRAL2 si vor fi urmarite prioritar:

- i. Studiul dezintegrarilor nucleelor neutro-excedare prin spectroscopie gamma si de neutroni beta-intarziati. Experienta acumulata in exploatarea multidetectorului TONNERRE [1,2] in conjunctie cu detectori cloveri de Ge pentru studiul nucleelor bogate in neutroni cu masa medie, va fi valorificata in studiul nucleelor bogate in neutroni de masa mai mare produse la SPIRAL2 prin fisiune cu neutroni rapizi si utilizand noi detectori cu granularitate, eficienta si rezolutie imbunatite atat pentru neutroni cat si pentru gamma.
- ii. Evolutia formei nucleare si a intervalelor de paturi in nucleee departate de stabilitate prin spectroscopie combinata gamma-electroni de conversie. Prin aceasta metoda, folosind un aranjament experimental de eficacitate foarte mare, au fost studiate cu succes stari izomere 0^+ in nucleee exotice precum $^{74,72}\text{Kr}$ [3], ^{44}S [4], ^{34}Si [5] populate fie in fragmentare fie desintegrare beta, furnizand informatii esentiale despre evolutia structurii in aceste nucleee. Metoda experimentală este in prezent extinsa pentru masurarea factorilor de conversie pentru izomeri din $^{65,67}\text{Fe}$, $^{72,75}\text{Cu}$ si poate fi dezvoltata ca tehnica experimentală complementara celor propuse pana in prezent in cadrul DESIR.

- iii. Studiul radioactivitatii de doi protoni. Acest tip de radioactivitate, desi prezis inca din anii 1960 a fost descoperit abia in 2004. Numarul nucleelor candidati la emisia 2p este restrans dar rezultatele studiului de detaliu al repartitiei de energie intre cei doi protoni ca si al corelatiei lor unghiulara pot aduce clarificari importante asupra unor procese cuantice inca nu pe de-a intregul intelese, cum ar fi tunelarea simultana prin bariera coulombiana a doi protoni. Studiile au facut un important pas inainte prin realizarea unui instrument experimental remarcabil, o camera de proiectie temporala (TPC) ce permite inregistrarea traiectoriilor individuale ale protonilor emisi de nucleul radioactiv oprit in gazul de detectie[6]. Ultima experienta reusita din aceasta serie a fost consacrata emisiei de 2p din ^{54}Zn .

Referinte:

- [1] A. Buta et al., Nucl. Instum. Meth A455(2000)412.
[2] C. Timis et al., J.Phys G31(2005)S1965.
[3] E. Bouchez et al., Phys. Rev. Lett 90(2003)082502.
[4] S. Grevy et al., Eur.Phys. J A25(2005), Supl. 1, 111.
[5] F. Rotaru et al., 7th Int. Balkan School on Nucl. Phys, Adrasan, Turcia, 2010.
[6] J. Giovinazzo et al., Phys. Rev. Lett 99(2007)102501.

- Proiectul 3 : Studii de structura si mecanisme de reactii nucleare folosind fascicule stabile si radioactive accelerate de complexul GANIL-SPIRAL2

SPIRAL2, ca si SPIRAL in prezent, va permite accelerarea fasciculelor radioactive si distribuirea lor in salile experimentale ale GANIL unde o gama foarte variata de instrumente experimentale este disponibila si utilizata in principal pentru fascicule stabile si fascicule radioactive obtinute prin metoda separarii in zbor. Putem mentiona spectrometrele LISE3 si SPEG, multidetectorii EXOGAM, Chateau de Cristal, INDRA care au fost utilizate cu succes de cercetatori din IFIN-HH in probleme precum cele enumerate mai jos ce vor fi aprofundate si studiate pe cazuri noi si cu instrumente noi (de exemplu FAZIA, PARIS) dezvoltate in contextul SPIRAL2:

- Reactiile de break-up de 1-2 nucleoni s-au dovedit eficiente in studierea fenomenelor de halo nuclear [1], in extragerea de factori spectroscopici pentru nuclee de interes astrofizic deosebit (^8B [1], ^{23}Al [2]), in popularea si observarea pentru prima data a unor stari excitate in nuclee extrem departate de stabilitate [3] (metoda dublei fragmentari permite obtinerea prin reactie de indepartare a 1-2 nucleoni minoritari a unui nucleu si mai departat de stabilitate iar prin plasarea detectiei nu in jurul tinte primare unde nucleu de interes este produs cu o pondere foarte mica din total, ci in jurul unei a doua tinte de productie se obtine o reducere substantiala a fondului datorat altor tranzitii gamma fiind posibila observarea si asignarea neambigua de noi tranzitii in nuclee foarte departate de stabilitate).
- Studiul unor stari rezonante care pot juca un rol in procesul de nucleosinteza. Un exemplu este observarea a sase stari instabile fata de emisia de protoni in ^{19}Ne folosindu-se reactia in cinematica inversa $\text{H}(^{19}\text{Ne},\text{p})^{19}\text{Ne}^*(\text{p})^{18}\text{F}$ [4]. In particular, una din starile rezonante nou descoperite conduce la concluzia ca distrugerea ^{18}F prin reactia $^{18}\text{F}(\text{p},\alpha)^{15}\text{O}$ poate fi mult mai importanta decat se credea, reducand astfel sansa de a se observa asteptata emisie gamma din dezintegrarea ^{18}F .

- Dependenta de masa si asimetria de isospin a temperaturii limita. Experimentele realizate deja cu fascicole stabile au permis studiul modurilor de dezintegrare a sistemelor nucleare fierbinti si determinarea energiei de excitatie si a temperaturii pe baza spectrelor de energie cinetica, multiplicitati izotopice sau populare relativa a starilor interne. Rezultatele teoretice prezic existenta unei valori limita a temperaturii dincolo de care nucleul inceteaza sa se comporte ca o picatura de lichid si multifragmenteaza. Odata izolata contributia coulombiana, scaderea temperaturii limita cu masa sistemului poate fi exploatarea pentru a afla temperatura limita a materiei nucleare infinite si obtine informatii suplimentare despre interactia efectiva nucleon-nucleon [5,6]. In mod complementar, folosirea sistemelor de masa apropiata si compozitie izotopica diferita poate duce la aprofundarea intelegerii comportamentului partii isovectoriale a interactiei efective si, in cele din urma, a energiei de simetrie.
- Dependenta parametrului densitatii de nivele de N/Z . Parametrul densitatii de nivele este unul dintre cele mai importante ingrediente in studiile de nucleu compus si in determinarea ratelor de reactie ale reactiilor termonucleare, de mare interes pentru astrofizica. In timp ce valoarea acestei marimi este bine cunoscuta la energii joase, la energii inalte este utilizata o parametrizare in care ingredientele sunt extrem de putin constranse [7]. Ne asteptam ca realizand masuratori de coincidente intre reziduurile identificate izotopic si particulele evaporate sa putem constrange parametrii de model Hauser-Feshbach si Weisskopf si sa determinam dependenta de temperatura a unor efecte de structura, cum ar fi energia de imperechere sau de paturi.
- Coincidente multiple de particule in scopul testarii ipotezelor de model statistic. Din anii '50 si pana in prezent abordarea reactiilor de formare si dezintegrare a nucleelor slab excitate s-a facut presupunand valabila ipoteza de echilibru statistic. Justetea acestei ipoteze este, insa, departe de a fi evidenta iar acest lucru este cu atat mai convingator cu cit tinem cont de faptul ca nucleele usoare simetrice pot avea la anumite valori coborate ale energiei de excitare structuri de tip molecular. Dezvoltind o varianta rafinata de model Hauser-Feshbach cu luarea in considerare a intregii informatii experimentale existente si elaborand experimente dedicate de corelatii multiple de particule usoare, vom stabili limitele de valabilitate ale modelului statistic si evidenta configuratii de tip molecular ale nucleelor usoare si medii.
- Determinarea energiei de asimetrie pe baza multiplicitatilor izotopice. In ultimii ani o gama larga de rezultate experimentale corespunzatoare reactiilor de evaporare, ciocnire profund elastica si multifragmentare au fost exploatare in scopul determinarii dependentei termenului de energie de asimetrie al ecuatiei de stare de temperatura si densitate. Concluzia acuala, aceea ca odata cu diminuarea densitatii medii se constata o scadere de pina la 30% a energiei de asimetrie, este, din pacate, controversata. Principalele critici vizeaza caracterul finit al sistemului care ar putea produce distorsiunii importante ale semnalelor fata de predictiile grand canonice si incapacitatea de a accesa experimental informatia relevanta din punct de vedere termodinamic. Realizarea unor ciocniri de ioni la energii joase si masurarea produsilor de reactie cu detectori 4π si granularitate ridicata ar putea permite, pentru prima data, reconstituirea informatiei de la break-up si, eventual, masurarea dependentei energiei de asimetrie de temperatura si densitatea medie.

Referinte:

- [1] F. Negoita et al., Phys.Rev.C 54(1996)1797, Phys. Rev.C 59(1999)2082.
- [2] A. Banu et al., Phys. Rev. C 84(2011)015803.
- [3] M. Stanoiu et al., Phys.Rev.C69(2004)034312, Phys.Rev.C78(2008)034315.
- [4] J.C.Dalouzy et al., Phys.Rev.Lett. 102(2009)162503.
- [5] Al. H. Raduta, Ad. R. Raduta, Phys. Rev. C 55(1997)1344.
- [6] Al. H. Raduta, Ad. R. Raduta, Nucl. Phys. A 703(2002)876.
- [7] Al. H. Raduta, Ad. R. Raduta, Phys. Rev. C65(2002)054610.
- [8] Ad. R. Raduta, F. Gulminelli, Phys. Rev. C 75(2007)044605.
- [9] E. Bonnet, B. Borderie, N. Le Neindre, Ad. R. Raduta, M. F. Rivet, R. Bougault, A. Chbihi, J. D. Frankland, E. Galichet, F. Gagnon-Moisan, D. Guinet, P. Lautyresse, J. Lukasik, P. Marini, M. Parlog, E. Rosato, R. Roy, G. Spadaccini, M. Vigilante, J. P. Wieleczko, and B. Zwieglinski, Phys. Rev. Lett. 105(2010)142701.

4. Proiecte de viitor

- Proiectul 1: Dezvoltarea participarii la colaborarea NFS@SPIRAL2

Proiectul *Neutron For Science* (NFS, <http://pro.ganil-spiral2.eu/spiral2/instrumentation/nfs>) in curs de dezvoltare in cadrul proiectului SPIRAL2 prevede utilizarea preponderent a fasciculelor usoare de mare intensitate oferite de acceleratorul liniar, fie direct intr-o statie de iradiere specializata fie prin producerea unui fascicul pulsat de neutroni cu o baza de timp-de-zbor adecvata, pentru obtinerea de date nucleare de interes pentru aplicatii. Dezvoltarea acestei colaborari se poate realiza prin sustinerea prioritara a urmatoarele teme:

- Reactii de activare induse de deuteroni. Studiul reactiilor induse de deuteroni la energii joase si medii (<50-60 MeV) este deosebit de important si actual. Cunoasterea corespunzatoare a sectiunilor eficace ale acestor reactii este critica in vederea selectarii si validarii celor mai indicate materiale structurale implicate in proiecte majore de tehnologie nucleara, inclusiv in cadrul programelor *International Thermonuclear Experimental Reactor* (ITER, <http://www.iter.org/>) and *International Fusion Material Irradiation Facility* (IFMIF, <http://ec.europa.eu/research/energy/euratom/fusion/coop/broader/>). De altfel grupul din DFN/IFIN-HH este antrenat de mai multi ani in realizarea acestor obiective, in cadrul programului actual al agentiei europene *Fusion for Energy* (F4E, <http://fusionforenergy.europa.eu/>). In consecinta coordonatorul grupului din cadrul DFN/IFIN-HH (M. Avrigeanu) este unul din „spokespersons” pentru propunerea acceptata a unui *“Day 1 SPIRAL2 Phase 1 Experiment”* cu titlul „*Proton- and deuteron-induced activation reactions*” [Letter of Interest (LOI) disponibil la adresa <http://pro.ganil-spiral2.eu/spiral2/instrumentation/nfs/lois/proton-and-deuteron-induced-activation-reactions>].

Contributia grupului DFN/IFIN-HH, in cadrul colaborarii NPI-Rez – KIT-Karlsruhe – CCFE-Culham - IFIN-HH avand ca obiectiv propunerea *“Day 1 SPIRAL2 Phase 1 Experiment”* mentionata mai sus, consta in realizarea analizei de modele nucleare de „break-up” (BU), interactie directa (DI), emisie la preechilibru (PE) si model statistic asociat mecanismului de nucleu compus (CN). De asemenea, in

vederea implicării consistente în cadrul modelelor DI, PE și CN a unui potențial de model optic (OMP) corect, se adoptă metoda microscopică „double folding” (DF) pentru calculul părții reale a OMP și derivarea ulterioară a unui potențial fenomenologic având partea imaginară asociată cu componenta DF într-un potențial semi-microscopic. În acest scop este analizată și împrăștierea elastică a deuterionilor la energii joase și medii, fiind astfel posibilă utilizarea unei baze de date experimentale mai bogate în cazul nucleelor medii ca urmare a interesului aplicativ implicat de elementele structurale ale diverselor instalații nucleare. Această contribuție a grupului DFN/IFIN-HH, în cadrul colaborării menționate, se va realiza atât în continuarea și pe baza rezultatelor publicate deja în comun [1-5].

- Măsurarea secțiunilor eficace pentru reacții de tip (n,xn) prin spectroscopie gamma. La sfârșitul anului 2010 o propunere de experiment a fost trimisă către *Scientific Advisory Committee* al SPIRAL2 de către un grup de fizicieni de la IPHC-Strasbourg, IRMM-Geel și IFIN-HH-București. Aceasta vizează un experiment ce folosește sursa de neutroni NFS, având o importanță generală pentru tehnicile de măsurare a secțiunilor eficace pentru reacții de tip (n,xn) prin spectroscopie gamma dezvoltate la IRMM-Geel [6]. Acest tip de reacții reprezintă o modalitate importantă de reducere a energiei neutronilor în reactoarele nucleare rapide și deci cunoașterea precisă a acestor secțiuni eficace este absolut necesară. În principiu, spectroscopia gamma, măsurând tranziții în nucleul final, nu permite deducerea secțiunii de producere a nivelului fundamental al acestuia decât prin calcule teoretice. În cazul particular al reacției $^{90}\text{Zr}(n,3n)^{88}\text{Zr}$, aceste calcule pot fi verificate prin măsurarea aceleiași secțiuni eficace prin metoda activării. Astfel, în timpul măsurătorii online va fi folosită tehnica spectroscopiei gamma care va fi apoi validată prin măsurarea radiației de 393 keV produsă în urma dezintegrării ^{88}Zr ($T_{1/2}=83$ zile). În acest mod, experimentul va permite validarea măsurătorilor de mare precizie desfășurate de-a lungul ultimilor ani de către grupul amintit prin tehnica spectroscopiei gamma făcând posibilă continuarea și extinderea acestora.
- Investigarea procesului de fisiune nucleară prin interferometrie n-n. În prezent nu este clar de unde provin neutronii prompti emiși în fenomenul de fisiune nucleară, din filamentul de lichid nuclear care se formează între fragmente în stadiul final al fisiunii, sau din fragmentele excitate care apar după ce fisiunea a avut loc. Un răspuns simplu la această problemă s-ar putea obține prin măsurări de interferometrie n-n, folosind un detector multimodular. Dacă neutronii prompti provin din filamentul de lichid nuclear, ce apare între fragmente, în stadiul final al procesului de fisiune, atunci intensitatea de corelație n-n ar trebui să atingă valori foarte mari, de ordinul 20, față de cea mai mare intensitate de corelație de cca. 10, întâlnită până în prezent la nuclee halo. În cazul în care neutronii se emit din fragmentele excitate, intensitatea de corelație este de numai 2. Prin urmare, experimente de corelație neutron-neutron ar putea da un răspuns transant în această problemă. În prezent un experiment bazat pe un multidetector de neutroni (81 detectori scintilatori) utilizând un sistem de achiziție în standard VME este în curs de pregătire la Tandem-ul IFIN-HH pentru măsuratori de corelații n-n în fisiunea indusă de protoni [7]. Studii similare pot fi realizate la NFS folosind fasciculul de neutroni.

Referinte

- [1] M. Avrigeanu, W. von Oertzen, U. Fischer, and V. Avrigeanu, Nucl. Phys. A **759**, 327 (2005).
- [2] M. Avrigeanu, W. von Oertzen, R.A. Forrest, A.C. Obreja, F.L. Roman, and V. Avrigeanu, Fusion Eng. Design **84**, 418 (2009).
- [3] P.Bém, E.Šimečková, M.Honusek, U.Fischer, S.P.Simakov, R.A.Forrest, M. Avrigeanu, A.C.Obreja, F.L.Roman, V.Avrigeanu, Phys.Rev. C **79**,044610(2009).
- [4] M. Avrigeanu and A.M. Moro, Phys. Rev. C **82**, 037601 (2010).
- [5] E. Šimečková, P. Bém, M. Honusek, M. Štefánik, U. Fischer, S. P. Simakov, R. A. Forrest, A. J. Koning, J.-C. Sublet, M. Avrigeanu, F. L. Roman, and V. Avrigeanu, Phys. Rev. C **84**, 014605 (2011).
- [6] D. Deleanu et al., Nucl. Instrum. Meth. A **624**, 130(2010).
- [7] H. Petrascu et al., IBWAP Conference, Constanta, Romania, 6-8 Iulie 2009.

5. Priorități și recomandări

- Obținerea statutului de membru al SPIRAL2, In cazul transformarii SPIRAL2-GANIL in laborator european sau international, in functie de conditiile de parteneriat ce urmeaza a fi enuntate de actualele agentii finantatoare ale GANIL.
- Finalizarea constructiei si instalarii sistemului de masura a pierderilor de fascicul (BLM) pentru acceleratorul liniar supraconductor al SPIRAL2
- Abordarea unor tematici de cercetare cu vizibilitate, in care contributia si ponderea romaneasca sa fie semnificativa
- Cresterea participarii la NFS si sprijinirea tematicilor privind dezvoltarea de modele si obtinerea de date nucleare relevante pentru aplicatii

V. Strategia participării României la KM3NET

1. Prezentarea pe scurt a colaborării

Consortiul KM3NeT are ca scop construirea și exploatarea, în Marea Mediterana, a unui telescop pentru neutrini de volum foarte mare (6 km³). Faza de *Design Study* a fost finanțată de C.E. în PC6, Grant 011937, s-a încheiat în anul 2010. *Preparatory Phase* este finanțată de C.E. prin grant-ul PC7 212525 și urmează să se încheie la sfârșitul lui februarie 2012. În prezent, colaborarea este formată din institute de cercetare sau universități din 10 țări europene. România este prezentă în KM3NeT din 2007, o dată cu primirea Institutului de Cercetări Spatiale în colaborare. Grupul românesc este susținut de ANCS prin contract 107EU/2011. KM3NeT este un proiect înscris în lista de priorități a ESFRI.

Scopul științific principal al KM3NeT este atingerea nivelului de sensibilitate necesar descoperirii surselor punctiforme de neutrini (astronomie cu neutrini) din emisfera sudică a cerului, incluzând planul galactic. În acest sens, KM3NeT va fi complementar telescopului IceCube de la Polul Sud, care acoperă emisfera nordică a cerului. Alte obiective științifice la care KM3NeT va rasunde sunt: detectia fondului difuz de neutrini (cu implicații în cosmologie și pentru interacția protonilor de energie ultra-înaltă cu câmpul radiației de fond), studiul Universului violent în fereastra neutrinică (supernove, GRB, etc.) înțelegerea proprietăților radiației cosmice la energii ultra-înalte, căutarea materiei obscure, măsurarea secțiunilor de interacție ale neutrinelor, identificarea de particule supermasive în radiația cosmică penetrantă (monopoli magnetici, nucleariti, Q-balls, etc.), dar și cercetări din domeniile științelor Pământului și Marii (KM3NeT fiind nod EMSO – *European Multidisciplinary Seafloor Observatories*). Portalul proiectului este <http://www.km3net.org>.

KM3NeT se bazează pe experiența ANTARES (singurul telescop de neutrini operațional în Marea Mediterana, în care ISS participă din 2006), NESTOR și NEMO. Soluțiile tehnice adoptate conțin multe elemente de noutate absolută: modulele optice digitale (DOM) conținând 31 de fotomultiplicatori de mici dimensiuni (spre deosebire de unul singur mare, în cazul precursorilor) și întregul sistem electronic de prelucrare a informației și comunicare cu stația de la tarm, unitățile de detecție sub formă de turnuri semi-rigide dotate cu 40 de etaje tip bară, fiecare suportând două module optice, infrastructura submarină, bazată pe conceptul de "bloc" (circa 1 km³ volum instrumentat, cu linii de date și energie independente la tarm).

În 2013 urmează să fie instalat un prototip de unitate de detecție, la scara 1:1, având doar cele două etaje superioare active. În vederea optimizării soft-ului de achiziție pentru acest model pre-productiv, intenționăm instalarea unui prototip de DOM (conținând doar 8 fotomultiplicatori) pe infrastructura oferită de ANTARES. Scopul acestui experiment, coordonat de ISS, este cunoașterea ratelor de fond în funcție de unghiul dintre axele PMT. Această informație nu poate fi obținută de la precursori, din cauza dimensiunii mari a PMT utilizați. În 2014 urmează să înceapă producția și instalarea, în etape, a KM3NeT.

2. Obiectivele generale ale participării României la colaborare

KM3NeT este cel mai important proiect european in domeniul fizicii astroparticulelor. Prezenta romaneasca in acest proiect asigura cresterea implicarii fizicii autohtone intr-un camp de cercetare caracterizat printr-o puternica dezvoltare in ultima decada, adaugandu-se domeniilor fizicii in care instituttele romanesti sunt deja actori recunoscuti.

Participarea romaneasca in KM3NeT este rezultatul direct al participarii in ANTARES. Acceptarea unui grup mic in colaborari de mare relevanta se poate obtine prin asigurarea unei valori adaugate colaborarii. Din punct de vedere stiintific, grupul din ISS a introdus pentru prima data in ANTARES procedee de cautare de particule exotice super-masive lente in telescoape pentru neutrini. Primele rezultate sunt prezentate la ICRC2011, Beijing, China, in numele colaborarii. Acelasi tip de analiza intentionam sa il introducem si in KM3NeT, el fiind deja inclus in programul stiintific al Consorțiului. Spre deosebire de ANTARES, in KM3NeT exista si posibilitatea participarii romanesti in constructia efectiva a detectorului. In strategia KM3NeT se presupune asamblarea DOM-urilor doar in laboratoare de cercetare; in conditiile finalizarii Centrului de Stiinte si Tehnologii Spatiale al ISS dorim ca un asemenea nod sa functioneze in ISS. Exista si contacte cu agenti economici romani (Optoelectronica SA) capabili sa preia productia unei parti din componentele mecanice necesare DOM-urilor. In particular, Optoelectronica va realiza, sub controlul si finantarea ISS, elementele mecanice necesare DOM-urilor active din prototipul Unitatii de Detectie a KM3NeT. Definitivarea planurilor de productie pentru KM3NeT va permite si atragerea altor agenti economici romani, in partea de productie de componente sau de transport. Dupa incheierea constructiei telescopului, experienta si notorietatea dobandite de acestia ii vor transforma in ofertanti viabili pentru alte proiecte de anvergura.

Prin deschiderea KM3NeT spre alte ramuri stiintifice (geologie, oceanografie, biologie marina, ecologie, etc.) exista posibilitatea includerii in Consortiu si a unor instituttele romanesti active in aceste domenii. In acest scop intentionam sa popularizam oportunitatile oferite de prezenta romaneasca a ISS in KM3NeT; contacte cu GEOMAR-INCD au fost deja stabilite in acest sens.

Prin natura sa, KM3NeT este un proiect spectaculos. O data cu incepere a instalarii telescopului se va avea in vedere o buna popularizare in mass media, ce va conduce la cresterea atractivitatii fizicii pentru tanara generatie si va contribui la crearea unei imagini publice corecte asupra nivelului real al cercetarii romanesti.

3. Proiecte actuale

KM3NeT-PP, proiect suport in cadrul Modulului III al PN2 . Durata este de 1 an si 6 luni (se incheie in August 2012).

Proiectul are ca obiectiv principal asigurarea contributiei ISS la etapa de construire a prototipului KM3NeT si a pregatirii in vederea etapei de productie pentru telescop. In plus, proiectul a permis realizarea modulului electronic necesar prototipului de Modul Optic Digital, ce urmeaza a fi testat pe infrastructura ANTARES (pe linia instrumentala sau pe mini-linia test destinata locatiei NEMO) in toamna acestui an. Realizarea acestui prototip, la care participa instituttele din 5 tari, este coordonata de ISS.

Echipa proiectului este formata din 5 fizicieni, un inginer si un tehnician.

4. Proiecte de viitor

Pentru o buna implicare a ISS in etapa de construire a prototipului unitatii de detectie, apoi a KM3NeT (faza de productie) este necesara finalizarea si dotarea corespunzatoare a CSTS al ISS. Atragerea de parteneri industriali romani este un alt deziderat.

O data cu punerea in functiune a primelor module KM3NeT (incepand din 2014) vom implementa cercetarile destinate detectarii particulelor exotice super-masive, valorificand experienta din ANTARES. O propunere de proiect in acest sens a fost depusa la competitia IDEI 2011.

5. Prioritati si recomandari

- Mentinerea participarii ISS in experimentul ANTARES pana la decomisionarea acestuia (2016)
- Intensificarea participarii romanesti in KM3NeT, etapele de pre-productie si productie. In cadrul proiectului KM3NeT-PP se afla in curs de elaborare un Memorandum of Understanding privind modelul pre-productie (prototipul unitatii de detectie).
- Identificarea de posibili parteneri industriali in vederea implicarii lor in constructia KM3NeT
- Finalizarea CSTS; dotarea in cadrul Centrului a unui laborator de asamblare a modulelor optice, angajarea si antrenarea personalului necesar.
- Asigurarea finantarii corespunzatoare a echipelor stiintifice si tehnice din ISS, participante in KM3NeT.
- Popularizarea KM3NeT in medii academice, in scopul atragerii in proiect a unor noi institute, atat cu profil de fizica cat si de stiintele marii si pamantului.
- Popularizarea KM3NeT in mass media, in vederea atragerii unor tineri talentati catre domeniu.
- Utilizarea pentru tineri absolventi a posibilitatilor oferite in interiorul colaborarii privind formarea acestora (burse de masterat si doctorat).

VI. Strategia participării României la IUCN

1. Prezentarea pe scurt a colaborării

Participarea României la activitatea de cercetare în [Institutul Unificat de Cercetări Nucleare \(IUCN\) din Dubna](#), Federația Rusă, a început la 26 martie 1956, odată cu hotărârea înființării IUCN – România fiind unul din cele 12 State Membre fondatoare – continuând, neîntrerupt, până în momentul de față. Aceasta este cea mai lungă perioadă de colaborare neîntreruptă a României la o organizație științifică internațională.

În cele cinci decenii și jumătate de existență, IUCN a parcurs mai multe perioade distincte de evoluție, fiecare fiind influențată, desigur, de situația geopolitică. Conceput inițial ca o structură de colaborare științifică în domeniul fizicii nucleare a statelor comuniste contrapondere la CERN, IUCN a fost caracterizat, în tot decursul existenței sale de un înalt profesionalism, cu rezultate științifice de excepție. În acest context, relațiile IUCN cu CERN au devenit, foarte curând, relații de colaborare științifică și parteneriat, bazate pe înțelegere, încredere, prețuire reciprocă și co-participare la proiecte științifice de interes ale partenerului.

Profesionalismul și politica echilibrată a conducerii Institutului, norme europene în procesele și mecanismele decizionale, au fost motivele principale pentru care IUCN a fost singura structură a fostelor state comuniste care a rezistat schimbărilor de la începutul anilor '90.

Concepția privind participarea Statelor Membre la IUCN a fost redefinită în lumina noilor condiții geopolitice. Continuarea participării României la IUCN a fost aprobată de cele două Camere ale Parlamentului României prin Legea 49/1994 pentru ratificarea Statutului Institutului Unificat de Cercetări Nucleare, publicată în Monitorul Oficial al României, partea I, anul VI, nr. 187/21 iulie 1994.

Activitatea IUCN este condusă de un număr de [organisme de conducere și avizare](#), în frunte cu [Comitetul Reprezentanților Imputerniciți la IUCN](#) ai Guvernelor celor [18 State Membre](#) (Armenia, Azerbaijan, Belarus, Bulgaria, Cehia, RPD Coreea, Cuba, Georgia, Kazahstan, Moldova, Mongolia, Polonia, România, Federația Rusă, Slovacia, Ucraina, Uzbekistan, Vietnam), beneficiind, deasemenea, de participarea, cu [statut de Membru Asociat, a altor 6 țări](#) (Egipt, Germania, Italia, Serbia, Republica Sud Africană, Ungaria).

Definirea obiectivelor științifice ale IUCN pe termene medii a fost consemnată în primul plan pe șapte ani – 2003-2009 – care a fost încheiat cu succes, în [Foaia de parcurs pe anii 2008-2017](#) și în cel de [al doilea Plan pe șapte ani \(2010-2016\)](#). La [Consiliul Stiințific](#) din septembrie 2011, noul Director al IUCN va propune definirea perspectivelor activității până în anul 2025. Ultimele două documente au articulat cele trei aspecte complementare ale activității IUCN: cercetarea fundamentală, învățământul și activitatea tehnică de inovare.

Cercetarea fundamentală constituie esența activității IUCN. Ea este circumscrisă la nișe importante ale activității științifice pe plan mondial în care IUCN deține o poziție de lider, sau poate aspira cu succes la o asemenea poziție: fizica ionilor grei relativști la energii înalte, fizica ionilor grei la energii joase, fizica stării condensate. Fizica teoretică și activitatea de IT sunt activități suport, necesare asigurării unui nivel științific ridicat al activităților de bază prin expertiză în domeniul modelelor teoretice, al modelării matematice, al dezvoltării de metode, algoritmi și coduri pentru simularea și

prelucrarea datelor produse în mari instalații experimentale, al asigurării mijloacelor de computing eficient, paralel sau distribuit.

Asigurarea interesului noilor generații de tineri cercetători pentru proiectele de viitor din IUCN se realizează prin proceduri specifice care îmbină eforturi de coordonare în Centrul Universitar (UC) al IUCN cu cele ale personalului de cercetare de înaltă calificare:

- obținerea gradului de PhD în științe fizico-matematice (lecții în IUCN, supervizare și conducere în cadrul Consiliilor științifice de profil acreditate de Comisia Superioară de Diplome a Federației Ruse);
- stagii de practică ale studenților (și elevilor) din Statele Membre și Asociate, conform intereselor și intervalelor de timp convenite cu aceste state;
- cicluri de pregătire ale tinerilor specialiști pe probleme speciale în domenii de vârf de maxim interes ale momentului (probleme ale fizicii teoretice, ale implementării structurilor de calcul distribuit de tip Grid, etc.).

Activitatea de inovare, desfășurată în condițiile existenței zonei economice speciale (ZES) Dubna în Federația Rusă, este concepută ca o cale de valorificare, în condițiile pieței libere, a unor descoperiri cu potențial tehnologic. În cadrul ZES, IUCN are arondată o zonă teritorială proprie, pe care o exploatează în colaborare cu organizații economice din Federația Rusă și din State Membre IUCN. Dezvoltarea acestei zone a fost îngreunată de înăsprirea condițiilor ca urmare a crizei economice mondiale.

2. Obiectivele generale ale participării României la colaborare

Participarea României la IUCN este condusă de Reprezentantul Împuternicit (RI) al Guvernului României la IUCN, numit de Primul Ministru al Guvernului. Din anul 2005, Reprezentant Împuternicit este Prof. Dr. Nicolae Victor Zamfir, Directorul General al Institutului Național de C&D pentru Fizică și Inginerie Nucleară „Horia Hulubei” (IFIN-HH).

Comitetul România – IUCN Dubna (Comitetul) constituie cadrul instituțional intern ce asigură elaborarea strategiei României privind colaborarea, definirea, armonizarea și asigurarea convergenței intereselor instituțiilor de cercetare și învățământ superior din țară în colaborarea cu IUCN, luarea hotărârilor cerute de etapa concretă a activității. Componenta Comitetului, stabilită la propunerea RI, a fost numită prin Decizie a Ministrului Educației și Cercetării, asigurând astfel supervizarea, la cel mai înalt nivel instituțional, a cadrului democratic de lucru al Comitetului.

Articularea activității Comitetului cu cea a instituțiilor statului se face prin intermediul Autorității Naționale pentru Cercetarea Științifică (ANCS). ANCS gestionează nemijlocit aspectele financiare ale colaborării, atât în țară, cât și în relația directă cu IUCN. Un expert financiar al ANCS este atât membru al Comitetului, cât și al Comitetului Financiar al IUCN.

Pentru dirijarea cooperării, în fiecare an, RI încheie cu Direcția IUCN, Acorduri care definesc principalii parametri ai cooperării și obligații ale părților.

Existența a două Programe de cooperare, Țițeica-Markov (fizică teoretică) și Hulubei-Meshcheryakov (tehnologii informaționale), cu obiective definite pe perioade de câte trei ani, asigură creșterea eficienței colaborării în domenii sensibile și de importanță strategică. Disciplinarea activității de

cooperare, în toate domeniile de interes reciproc, se face prin încheierea de Protocoale de colaborare specifice între grupuri de cercetători români din țară cu grupuri de cercetare din IUCN.

Acest mecanism, complex dar flexibil, asigură un cadru colegial de lucru ce oferă cercetătorilor români interesați mijloace financiare direcționate, prin intermediul propunerilor de granturi și proiecte ale RI, care sunt validate prin Ordine ale Directorului IUCN. Granturile și proiectele RI dirijează o cincime din cotizația României la IUCN (30-35% în perioada 2009-2011) direct către finanțarea nemijlocită a unor subiecte de cercetare comune, armonizate (prin intermediul protocoalelor de colaborare) cu proiectele (temele) mari de cercetare din IUCN. Adjudecarea granturilor și a proiectelor se face în urma unui proces de selecție, hotărârile fiind luate în cadrul Comitetului. Existența protocoalelor de colaborare este o cerință eliminatorie pentru obținerea de granturi și proiecte.

Prezența în IUCN a unui grup de angajați români cu contracte de muncă pe termene lungi asigură posibilități de feed-back bilateral, nu numai pentru efectuarea de cercetări în IUCN, ci și pentru folosirea expertizei existente în IUCN la rezolvarea unor dificultăți tehnice în țară, pentru implementarea cu succes, în termene scurte, a unor activități extrem de actuale și necesare, dar pentru care expertiza inițială este limitată.

Posibilitățile de influențare a deciziilor în favoarea părții române au crescut substanțial prin ocuparea unor posturi eligibile de conducere științifică în structura IUCN, în condițiile participării nemijlocite la afirmarea cu succes a IUCN în mari cooperări internaționale, la definirea din interior a unor direcții majore de cercetare din IUCN, la [conducerea de teme mari de cercetare ale Institutului](#). În ultimii ani un post de Director Adjunct al Laboratorului de Fizica Neutronilor a fost ocupat de Dr. Nicolae Popa (2002-2006), un post de Director Adjunct al Laboratorului de Tehnologii Informaționale a fost ocupat de [Prof. Dr. Gheorghe Adam](#) (2003-2008), Șef al [Departamentului de Fizică Computațională](#) (din 2005) și de [Dr. Sanda Adam](#) (2009-prezent). Secretar științific al Laboratorului de Fizica Neutronilor este, din anul 2009, [Dr. Otilia Culicov](#). Acest aspect al prezenței românești în posturi de conducere din IUCN este important și necesar a fi promovat și în viitor.

Este, deasemenea, de remarcat rolul important al manifestărilor științifice (conferințe, școli) în România, în organizare bilaterală România-IUCN sau multilaterală (România-IUCN-CERN) pentru promovarea spiritului de cooperare și pentru contribuția lor la creșterea tinerelor generații de cercetători.

Pentru participarea la cercetările din IUCN, România achită o cotizație, al cărei nivel anual este stabilit la Sesiunile Comitetului Reprezentanților Imputerniciți, la propunerile Comitetului Financiar al IUCN, în urma dezbaterii bugetului prezentat de Direcția IUCN. Conform legii 49/1994, 20% din această cotizație este dirijată către infrastructura IUCN, 8% , respectiv 12% , către granturile și proiectele de colaborare cu participare românească explicită. În condițiile perioadei de criză, România a obținut ca o fracțiune suplimentară de 10-15% din cuantumul cotizației să fie direcționat către finanțarea directă, în țară, a activităților de colaborare. Restul cotizației acoperă, în proporții variabile, salarii ale angajaților români pe termen lung și returnări de contribuții individuale la pensie în România (cca. 8%), contractelor economice revenindu-le aproape 40%.

În momentul de față, numărul cercetătorilor cu contract de muncă în IUCN este de 13 (12 pe termene de un an sau peste), ei fiind factori de promovare directă a intereselor românești la IUCN,

de stabilire și/sau menținere de activități de lucru în comun ale unor grupuri de oameni de știință din IUCN cu grupuri din România.

Un element al colaborării, decurgând din existența unor probleme punctuale ale partenerului, de necesitatea participării la experimente, sau de necesitatea unor discuții directe pentru clarificarea și avansarea în procesul de cercetare, este constituit de vizitele pe termene scurte, în ambele sensuri. Numărul anual al unor asemenea vizite este relativ echilibrat, de cca. 50-60 în fiecare sens.

Participarea studenților la practica de vară în IUCN, hotărâtă în țară în urma unui proces de selecție condus de Decanul Facultății de Fizică a Universității din București și incluzând studenți din București, Cluj, Iași, Timișoara, Craiova, constituie în fiecare an o preocupare și un succes. În anul 2011, au participat la Practica de vară un număr record de 16 studenți, cu rezultate foarte bune în însușirea unor subiecte de cercetare curentă în IUCN.

În fine, un element constitutiv important al colaborării este participarea frecventă a unor specialiști români la Conferințe și școli de vară în organizarea IUCN, sau mixtă cu colaborarea IUCN, la Dubna sau în State Membre, sau participări de specialiști din IUCN la manifestări din România.

3. Proiecte actuale

Activitatea de cercetare științifică din IUCN este organizată pe teme de cercetare, definite în cadrul unei proceduri complexe. În afara parcurgerii pașilor interni, aprobarea și controlul unei teme de cercetare implică participarea organismelor de avizare și decizie ale IUCN: unul sau mai multe din cele trei [Programme Advisory Committees](#) (PAC) (prezentare a obiectivelor de către unul din liderii temei, dezbateri amănunțite a oportunității și fezabilității temei; decizia pozitivă a PAC este obligatorie pentru continuarea procedurilor ulterioare; nu sunt rare cazurile de respingere, amânare, sau redirectionare către alt PAC). [Consiliul Științific](#) (CS) al IUCN validează deciziile PAC-urilor și analizează temele de importanță deosebită pentru IUCN. În fine, aprobarea propunerilor CS se face de către [Comitetul Reprezentanților Împuterniciți](#), după care tema este inclusă în [Planul tematic anual](#) pe anul următor.

Temele sunt aprobate pe termene de trei sau cinci ani, cu analize anuale ale rezultatelor intermediare în PAC-uri. În funcție de rezultate și actualitatea ei, o temă poate fi prelungită.

Responsabilitatea îndeplinirii obiectivelor științifice și deciziile financiare, în limitele bugetului anual aprobat, aparțin conducătorilor fiecărei teme în parte, în acord cu unitatea administrativă (laboratorul) căreia îi aparțin conducătorii. Mijloacele financiare cerute pentru realizarea temelor sunt determinate, în principal, de costul aparaturii și al mâinii de lucru. Estimări preliminare ale costurilor au fost aprobate în Planul de perspectivă pe 7 ani (2010-2016). Ele sunt actualizate în cursul analizelor anuale privind progresele realizate și mijloacele de finanțare accesibile.

Unul din elementele cheie ale atractivității IUCN pentru comunitatea științifică, din Statele Membre în primul rând, dar și din restul lumii, o constituie prezența unor instalații de bază unicat, renovate sau modernizate substanțial în cursul ultimilor ani, sau aflate în fază de proiecte, cu termene de realizare în cadrul actualului [Plan de 7 ani](#) (2010-2016):

- Nuclotronul (modernizat) și noul collider [NICA/MPD](#), din [Laboratorul Veksler-Baldin de Fizica Energiilor Inalte](#) (VBLHEP), pentru investigarea proprietăților și posibilelor tranziții de fază ale materiei hadronice dense;
- [Sistemul de ciclotrone \(modernizate\)](#) și de analiză a rezultatelor produse cu ajutorul lor pentru sinteza nucleelor supragrele sau exotice, din [Laboratorul Flerov de Reacții Nucleare](#) (FLNR);
- [Reactorul IBR-2M \(modernizat\)](#), cu sistemul de detectori aferent (în curs de dezvoltare) pentru investigații cu neutroni ale sistemelor condensate, nanostructurilor și nucleelor, din [Laboratorul Frank de Fizica Neutronilor](#) (FLNP);
- [Centrul Informatic și de calcul distribuit \(Grid\) și paralel](#), din [Laboratorul de Tehnologii Informaționale](#) (LIT), nucleu al realizării unei infrastructuri informaționale a Statelor Membre IUCN și condiție sine qua non a participării la mari experimente, desfășurate la IUCN sau în afară, cu participarea IUCN.

O condiție obligatorie a realizării collider-ului NICA/MPD la VBLHEP, la parametri care să-l facă atractiv pentru comunitatea fizicienilor care lucrează în domeniul fizicii energiilor înalte, a fost analizarea și validarea proiectelor tehnice aferente de către organismul internațional de control al marilor acceleratoare din lume (the International Machine Advisory Committee).

Lucrul la reactorul IBR-2M este posibil exclusiv sub licență, emisă de Autoritatea pentru energia nucleară (ROSATOM) din țara de reședință a IUCN (Federația Rusă) (procedura respectivă, se preliminează a fi finalizată, după modernizare, în ultimul trimestru al anului 2011).

Procedurile menționate, pe de o parte, îngreunează considerabil procesele de realizare și dare în exploatare a instalațiilor, dar, pe de altă parte, ele măresc substanțial șansele de asigurare a finanțării prin [decizii suplimentare ale factorilor politici implicați](#), de funcționare sigură în stadiul exploatării, la parametri propuși în proiecte.

În cadrul [structurii complexe a IUCN](#) (șapte laboratoare, plus Centrul Universitar), [temele de cercetare științifică](#) sunt grupate în șase direcții generale. Pe anul 2011 sunt abordate, în total, [44 teme de cercetare](#), distribuite astfel: Fizică teoretică (5); Fizica particulelor elementare și Fizică nucleară relativistă (23); Fizică nucleară (6); Fizica stării condensate și cercetări în domeniul radiațiilor și radiobiologiei (6); Rețele de calculatoare, computing, fizică computațională (3); Programul de instruire (1).

Din acestea, un număr de 26 de teme sunt realizate cu cooperarea activă a unor grupuri de cercetători dintr-un număr de 23 de unități de cercetare și de învățământ superior din România, astfel (la fiecare temă este deasemenea indicat numărul angajaților români pe termen lung în IUCN; prezentarea succintă a temei poate fi obținută urmând hyperlink-ul):

Cele 26 teme realizate la IUCN cu participare din Romania :

Theoretical Physics (01):

1. 01-3-1071-2009/2013 [Nuclear Structure and Dynamics](#)

Leaders: V.V. Voronov, A.I. Vdovin, F.Simkovic

Colaborare: Romania Bucharest IFIN-HH

2. 01-3-1072-2009/2013 [Theory of Condensed Matter and New Materials](#)
 Leaders: V.A. Osipov, J. Brankov
 Scientific leader: N.M. Plakida
 Colaborare: Romania Bucharest IFIN-HH
 Timisoara UVT
Un angajat roman pe termen lung.
3. 01-3-1073-2009/2013 [Modern Mathematical Physics: Gravity, Supersymmetry, Integrability](#)
 Leaders: A.S. Sorin, A.P. Isaev
 Scientific leader: A.T. Filippov
 Colaborare: Romania Bucharest IFIN-HH
4. 01-3-1074-2009/2013 [Research and Education Project "Dubna International Advanced School of Theoretical Physics \(DIAS-TH\)"](#)
 Leaders: A.S. Sorin, V.V. Voronov
 Colaborare: Romania Bucharest IFIN-HH
- Elementary Particle Physics and Relativistic Nuclear Physics (02):**
5. 02-2-1080-2009/2011 [Lifetime Measurement \$\pi^+\pi^-\$ and \$\pi^+K^-\$ Atoms to Test Low-Energy QCD Precise Predictions](#)
 Leader: L.G. Afanasyev
 Scientific leader: L.L. Nemenov
 Colaborare: Romania Bucharest IAP
6. 02-0-1082-2009/2011 [JINR's Participation in Experiments at the Fermilab Tevatron \(Projects D0, CDF\)](#)
 Leaders: G.D. Alexeev, V.V. Glagolev
 Scientific leader: J.A. Budagov
 Colaborare: Romania Bucharest IFIN-HH
7. 02-1-1106-2011/2013 [Investigations of the Compressed Baryonic Matter at the GSI Accelerator Complex \(Project CBM\)](#)
 Leaders: A.I. Malakhov, V.V. Ivanov
 Colaborare: Romania Bucharest IFIN-HH
 INCNIE ICPE-CA
8. 02-1-1096-2010/2014 [Study of Rare Charged Kaon Decays in Experiments at the CERN SPS](#)
 Leader: V.D. Kekelidze
 Colaborare: Romania Bucharest IFIN-HH
9. 02-0-1065-2007/2014 [Development of the JINR Basic Facility for Generation of Intense Heavy Ion and Polarized Nuclear Beams Aimed at Searching for the Mixed Phase of Nuclear Matter and Investigation of Polarization Phenomena at the Collision Energies up to \$\sqrt{s_{NN}} = 11\$ GeV/n](#)

Leaders: A.S. Sorin, V.D. Kekelidze
Colaborare: Romania Bucharest INOE2000,
IFIN-HH,
INCDIE ICPE-CA
Un angajat roman pe termen lung.

10. 02-1-1097-2010/2012 [Study of Polarization Phenomena and Spin Effects at the JINR Nuclotron-M Facility](#)

<http://wwwinfo.jinr.ru/plan/ptp-2011/a111097.htm>

Leaders: A.D. Kovalenko
Colaborare: Romania Bucharest INCDIE ICPE-CA

11. 02-1-1087-2009/2011 Research on Relativistic Heavy and Light Ion Physics. Experiments at the Nuclotron

Leader: A.I. Malakhov
Colaborare: Romania Bucharest UB
IFIN-HH
INCDIE
ICPE-CA
ISS
Constanta UOC

12. 02-1-1088-2009/2013 [ALICE: Study of Interactions of Heavy Ion and Proton Beams at the LHC](#)

Leader: A.S. Vodopyanov
Colaborare: Romania Bucharest ISS

13. 02-1-1107-2011/2013 [Development and Creation of the Prototype of a Complex for Radiotherapy & Applied Researches on Beams of Heavy Ion on the Nuclotron-M](#)

Leaders: S.I. Tyutyunnikov, J. Ruzicka, M.G.Kadykov
Colaborare: Romania Bucharest ISS
UMF "Carol Davila"
INCDIE ICPE-CA

Nuclear Physics (03)

14. 03-5-1094-2010/2014 [Synthesis and Properties of Nuclei at the Stability Limits](#)

Leader: M.G. Itkis
Scientific leader: Yu.Ts. Oganessian
Colaborare: Romania Bucharest IFIN-HH
UB

15. 03-0-1095-2010/2014 [Accelerator Complex of Ion Beams of Stable and Radioactive Nuclides \(DRIBs-III\)](#)

Leaders: G.G. Gulbekyan, S.N. Dmitriev, M.G. Itkis
Scientific leader: Yu.Ts. Oganessian

Colaborare: Romania Bucharest IFIN-HH
N&V

16. 03-2-1100-2010/2012 [Non-Accelerator Neutrino Physics and Astrophysics](#)

Leaders: V.B. Brudanin, A. Kovalik
Colaborare: Romania Bucharest IFIN – HH
UB

17. 03-2-1101-2010/2012 [Physics of Light Mesons](#)

Leader: A.V. Kulikov
Colaborare: Romania Timisoara CFATR

18. 03-4-1104-2011/2013 [Investigations in the Field of Nuclear Physics with Neutrons](#)

Leaders: V.N. Shvetsov, Yu.N. Kopatch
Colaborare: Romania Bucharest IFIN-HH
INCDIE ICPE-CA
UB
Baia Mare NUBM
Constanta NIMRD
UOC
Galati UG
Iasi UAIC
Oradea UO
Pitesti SCN
Ramnicu Valcea ICSI
Targoviste UVT
Trei angajati romani pe termen lung.

Condensed Matter Physics, Radiation and Radiobiological Research (04)

19. 04-4-1069-2009/2011 [Investigations of Nanosystems and Novel Materials by Neutron Scattering Methods](#)

Leaders: V.L. Aksenov, A.M. Balagurov, D.P. Kozlenko
Colaborare: Romania Bucharest IFIN-HH
INCDIE ICPE-CA
NIMP
ISS
UB
Cluj-Napoca I.N.C.D.T.I.M.
UBB
Iasi NIRDTP
UAIC
Pitesti SCN
Timisoara LMF CFATR
UVT

Patru angajati romani pe termen lung.

20. 04-4-1075-2009/2011 [Novel Development and Creation of Equipment for the IBR-2M Spectrometer Complex](#)

Leaders: S.A. Kulikov, V.I. Prikhodko

Colaborare: Romania Bucharest INCDIE ICPE-CA
Targoviste UVT

21. 04-5-1076-2009/2011 [Radiation Effects and Physical Basis of Nanotechnology, Radioanalytical and Radioisotope Investigations at the FLNR Accelerators](#)

Leaders: S.N. Dmitriev, P.Yu. Apel

Colaborare: Romania Bucharest INFLPR
UB

22. 04-9-1077-2009/2011 [Research on the Biological Action of Heavy Charged Particles with Different Energy](#)

Leaders: E.A. Krasavin, G.N. Timoshenko

Colaborare: Romania Bucharest UMF "Carol Davila"
ISS
Iasi UAIC

Un angajat roman pe termen lung.

23. 04-2-1103-2010/2012 [Medical and Biological Research with JINR Hadron Beams](#)

Leader: G.V. Mitsyn

Colaborare: Romania Bucharest UMF "Carol Davila"

Networking, Computing, Computational Physics (05)

24. 05-6-1048-2003/2013 [Information, Computer and Network Support of JINR's Activity](#)

Leaders: V.V. Ivanov, V.V. Korenkov, P.V. Zrelov

Colaborare: Romania Bucharest IFIN-HH
ISS
Cluj-Napoca I.N.C.D.T.I.M.

25. 05-6-1060-2005/2013 [Mathematical Support of Experimental and Theoretical Studies Conducted by JINR](#)

Leaders: V.V. Ivanov, Gh. Adam, P.V. Zrelov

Colaborare: Romania Bucharest IFIN-HH
ISS
UB
Cluj-Napoca I.N.C.D.T.I.M.

Doi angajati romani pe termen lung.

Educational Programme (06)

26. 06-0-1078-2009/2013 [Organization, Support and Development of the Education Process at JINR](#)

Leaders: N.A. Russakovich, S.Z. Pakuliak

Colaborare: Romania Bucharest UB

4. Proiecte de viitor (max. 1 pag./proiect)

Perspectivile efectuării de cercetări românești în IUCN sunt legate de dezvoltarea în IUCN a unor facilități unicate pentru cercetarea științifică.

Fizica particulelor elementare și a ionilor grei de energii înalte.

Cercetările experimentale pe plan mondial din acest domeniu includ, începând cu jumătatea secolului XX, patru aspecte înrudite, legate de eforturile de depășire a limitelor atinse la un moment dat pentru unul sau mai mulți din următorii parametri:

- limita energiei (prin creșterea energiei particulelor accelerate);
- limita intensității (prin creșterea intensității fluxurilor de particule de interes în acceleratori);
- limita preciziei (prin creșterea preciziei, inclusiv în instalații care nu includ accelerarea ca o condiție a investigațiilor);
- limita cosmică (prin cercetări de astrofizica particulelor).

- **Proiectul ILC (International Linear Collider).**

Conceput a asigura noul accelerator al deceniilor 3-4 al secolului XXI, ILC presupune dezvoltarea de noi tehnici de accelerare, care să permită căutarea de noi legități ale fizicii prin depășirea primelor trei limite menționate.

Caracteristicile noului ILC ar necesita, pentru implementare, arondarea unei zone de teren foarte extinse, precum și efectuarea unor lucrări de geo-inginerie fără precedent. Beneficiind de condiții geo-seismice de excepție (sol moale cu compoziție creto-argiloasă care ar permite efectuarea de lucrări de excavare la suprafață, absența absolută a riscului seismic), precum și de o situație privilegiată în ce privește costul arondării suprafeței uriașe de teren necesare proiectului ILC (decurgând din faptul că terenurile implicate sunt proprietate de stat), orașul Dubna și-a depus candidatura, prin IUCN, la găzduirea sediului noului collider, fiind unul din cei cinci candidați oficiali acceptați.

În paralel cu eforturile de adjudecare a sediului noului collider, IUCN a început deja să participe, pe baza expertizei existente, la cercetările privind concepția și realizarea de module-prototip pentru ILC, de pregătire a programului de cercetări de fizică la ILC, de creare de module-prototip ale laserului cu electroni liberi care ar urma să constituie injectorul noului accelerator, etc.

Gradul de incertitudine al realizării proiectului ILC la IUCN este extrem de ridicat, până în momentul luării unei decizii privind viitorul sediu al ILC.

- **Proiectul NICA (Nuclotron-based Ion Collider fAcility).**
- **Proiectul MPD (Multi Purpose Detector).**
- **Proiectul SPD (Spin Physics Detector).**

În peisajul proiectelor cu ioni grei, experimentele MPD la NICA și CBM la FAIR SIS-100/300 aparțin celei de a treia generații de experimente concepute a investiga ciocniri nucleu-nucleu la energiile acceleratorului CERN SPS (generația întâi fiind definită de NA49 la CERN SPS, iar generația a doua de NA61 la CERN SPS și STAR/PHENIX la BNL RHIC).

Posibilitatea onset-ului deconfinării, sugerată de NA49, precum și cea a existenței punctului critic al unei tranziții de fază, necesită explorări amănunțite pentru caracterizarea proprietăților materiei dense confinate și ale tranziției la faza deconfinată.

Experimentele de generația a doua, aflate în curs de desfășurare, sunt efectuate pe instalații destinate inițial altor scopuri, fapt care induce limitări semnificative ale preciziei măsurătorilor de corelație și ale proceselor la secțiuni eficiente scăzute.

Experimentele de generația a treia sunt proiectate, din stadiul de concepție, pentru a răspunde în mod optim la problemele puse. Ele ar trebui să fie capabile de upgrade la energii mai mari în cazul în care experimentele de generația a doua ar descoperi punctul critic la energia SPS de top.

Experimentele MPD și CBM sunt în mare măsură complementare, cu un grad de suprapunere semnificativ, ceea ce va permite o verificare încrucișată importantă a rezultatelor finale.

Concepția proiectelor NICA, MPD și SPD este articulată din punct de vedere teoretic și conceptual în [Cartea Albă a proiectului NICA](#), ajunsă în 20 iunie 2011 la versiunea 5.01, și care colectează opiniile celor mai avizați specialiști pe plan mondial în acest domeniu.

Lansat cu întârziere în comparație cu proiectul FAIR, proiectul NICA a parcurs rapid stadiul de elaborare a proiectului de concepție (conceptual design, accesibil pe pagina web a VBLHEP atât într-o [versiune extinsă](#) cât și într-o [versiune sintetică](#)). Proiectul a fost analizat și aprobat, pe etape, de către International Machine Advisory Committee (IMAC). Etapa privind modernizarea nuclotronului (Nuclotron-M) a fost raportată a fi fost încheiată în cursul acestui an.

Evoluția proiectului MPD a avut o traiectorie mai sinuoasă, proiectului de concepție (conceptual design – [accesibil numai în limba rusă](#)) fiindu-i aduse corecturi serioase în cursul analizei în IMAC. În cursul acestui an s-a trecut deja la elaborarea proiectului tehnic (technical design).

Relația cu proiectul CBM este una de cooperare, cu contribuții semnificative din ambele părți pentru avansarea proiectului partenerului.

În fine, proiectul SPD se află într-o fază inițială de gestație, către sfârșitul acestui an urmând a se trece la elaborarea proiectului de concepție (conceptual design).

Collider-ul NICA, cu cele două experimente asociate, MPD și SPD, constituie cel mai semnificativ efort de cercetare efectuat în IUCN începând cu jumătatea deceniului trecut. El constituie cea mai importantă investiție financiară din IUCN până la jumătatea acestui deceniu și principalul motiv al cererii pentru creșterea cotizațiilor Statelor Membre IUCN, conform estimărilor raportate în proiectul [Planului pe 7 ani \(2010-2016\)](#).

În condițiile încheierii cu succes a construcției collider-ului NICA și a detectoarelor asociate, MPD și SPD, perioada de achiziție și prelucrare a datelor este de așteptat să se întindă pe cel puțin un deceniu din momentul dării în exploatare, adică cel puțin deceniile doi și trei ale acestui secol.

Fizica Nucleară

- **Complexul de accelerare DRIBs-III (Dubna Radioactive Ion Beam).**

Sinteza elementelor supragrele la sistemul de cicloatroane U400 – U400M ale FLNR are o lungă tradiție în IUCN. Ca urmare a rezultatelor obținute în această direcție, numele orașului Dubna a fost eternizat în Tabelul periodic al elementelor (elementul 105 – Dubnium). Este în curs de omologare propunerea de atribuire a numelui de Moscovium unui alt element supragreu evidențiat pentru prima oară în FLNR.

Realizarea proiectului DRIBs-III până în anul 2016 ar asigura menținerea poziției de lider necontestat pe plan mondial în acest domeniu a IUCN, prin creșterea performanțelor facilităților existente și crearea unor instrumente de lucru noi. În acest fel, s-ar asigura diversificarea tipurilor de ioni accelerați, atât stabili, cât și ca izotopi radioactivi, în paralel cu creșterea semnificativă a intensității și calității fasciculelor.

Realizarea proiectului DRIBs-III prevede:

- încheierea modernizării acceleratoarelor U400, U400M;
- crearea unei noi săli experimentale (2500 m²) pentru analiza nucleelor radioactive și exotice;
- crearea unor instalații experimentale conceptuale noi, cu termen lung de funcționare (separator cu gaz pentru sinteza și studiul proprietăților elementelor supragrele, detector criogenic pentru analiza elementală a proprietăților elementelor supragrele, separator sub presiune pentru cercetări radiochimice și de spectrometrie de masă, sistem de obținere și de selecție de ioni cu același grad de ionizare în mediu gazos pentru spectrometrie de masă și producere de ioni radioactivi, un laborator radiochimic de clasă II, separator de nuclee îmbogățite cu neutroni, spectrometru universal pentru studiul reacțiilor induse de nucleele exotice în fluxul din separator, spectrometru de apertură mare pentru detectarea produșilor de fisiune spontană și forțată, separator electromagnetic pentru studiul reacțiilor în fascicule de nuclee, sistem de detecție a neutronilor apăruți instantaneu în complexul DRIBs, detectori de cuante gama);
- crearea unui accelerator universal de ioni grei capabil să genereze fluxuri de mare intensitate (de tip ciclotron DC200).

Se estimează că realizarea acestui proiect, al doilea ca resurse financiare după NICA (conform [Planului pe 7 ani \(2010-2016\)](#)), ar menține poziția de lider al IUCN în domeniul cercetărilor reacțiilor cu ioni grei la energii joase și intermediare pentru următorii 25-30 de ani.

Studii de fizica stării condensate cu neutroni

- **Complexul de spectrometre pentru reactorul IBR-2M**

Finalizarea lucrărilor de modernizare a reactorului IBR-2M este un pas extrem de important către abordarea interdisciplinară de succes, atât pentru țeluri de cercetare fundamentală, cât și aplicativă, a unor clase largi de fenomene aparținând fizicii stării condensate și domeniilor înrudite – biologia, medicina, știința materialelor, fizica vieții, studiul nanosistemelor și al materialelor noi, etc.

Al doilea pilon esențial pentru traducerea în viață a unor asemenea deziderate este echiparea adecvată a canalelor de ieșire din reactor cu mijloace moderne de analiză și măsură, prin dezvoltarea sistemului de spectrometre:

- crearea noilor spectrometre la cel mai înalt nivel mondial: DN-6, GRAINS, FSD;
- modernizarea spectrometrelor existente: FDVR, DN-2, DN-12, SKAT/EPSILON, YUMO, REMUR, REFLEX, DIN-2PI, NERA-PR, prin îmbunătățirea caracteristicilor lor tehnice (luminozitate, rezoluție, raportul semnal/zgomot);
- elaborarea de proiecte pentru noi spectrometre: spectrometrul pentru împrăștierea neutronilor la unghiuri mici și reflectometrul cu rezoluție atomică;
- dezvoltarea și omologarea unor noi metode neutro-optice de cercetare a structurii și dinamicii nanosistemelor și a mediilor condensate (metodica ecoului de spin, metodici bazate pe măsurarea precesiei Larmor a spinului neutronului).

Rezolvarea cu succes a acestui program, împreună cu îmbunătățiri ale sistemului de moderare și control al reactorului IBR-2M, sunt estimate a asigura o poziție de lider mondial a cercetătorilor din FLNP în decursul următoarelor două decenii.

Desigur, aceste activități cer mijloace financiare adecvate. Conform estimărilor din [Planul pe 7 ani \(2010-2016\)](#), realizarea acestui complex de îmbunătățiri asociate reactorului IBR-2M este al treilea ca mijloace financiare necesare.

Cercetările de fizica stării condensate și domenii conexe sunt intens solicitate de grupuri de cercetare din România, FLNP fiind pe primul loc între laboratoarele IUCN, atât în ce privește cererile de granturi și proiecte ale Reprezentantului Imputernicit, cât și în ce privește numărul de cercetători români angajați pe termen lung în IUCN.

Tehnologii Informaționale

- **Complexul Informatic Central și de Calcul (CICC)**

Desfășurarea cu succes a întregului ciclu de cercetări fundamentale din IUCN și realizarea colaborării cu instituții din Statele Membre sunt de neconceput fără realizarea unui sistem informatic corespunzător, sarcină de bază a LIT-IUCN, inclusă în [Planul pe 7 ani \(2010-2016\)](#). Asigurarea transferului de informație, conform scopurilor propuse și în cantitățile necesare, este un aspect de nedespărțit de desfășurarea tuturor proiectelor de cercetare pe scară largă în domeniul fizicii și al domeniilor conexe.

Intr-o instituție de complexitatea IUCN, apar solicitări extrem de diferite, cu mari variații în timp, ale utilizatorilor, implicând două tipuri extreme de sarcini de computing intensiv.

Pentru IUCN, primul tip este ilustrat de cerințele experimentelor LHC de la CERN desfășurate cu participarea semnificativă a IUCN (ATLAS, ALICE, CMS), precum și cele ale experimentelor numerice, în curs de desfășurare, de simulare intensivă a caracteristicilor viitoarelor facilități de fizica energiilor înalte din IUCN (collider-ul NICA și detectorul pentru proiectul MPD). Acestea definesc sarcini independente una de alta, cu cerințe de memorie operativă relativ mici (de maxim câțiva Gigabytes), dar extrem de numeroase. Pentru fiecare dintre experimentele LHC menționate, numărul evenimentelor generate în detectori în cursul proceselor de ciocnire este de câțiva Gigabytes pe secundă ceea ce conduce la minimum câțiva Petabytes pe an, pe experiment. Concepția dezvoltată pentru analiza datelor experimentale (stocarea datelor primare, prelucrarea lor și arhivarea rezultatelor) a condus la implementarea unei infrastructuri mondiale de calcul distribuit (Grid), într-o structură ierarhică organizată pe patru nivele (Tier 0 – Tier 1 – Tier 2 – Tier 3). Pentru comunitatea științifică participantă la un experiment particular este definită o organizație virtuală (VO), cu reguli și obligații specifice pentru fiecare nod individual al rețelei Grid.

Al doilea tip de sarcini de computing intensiv este generat de modelele fizice complexe, nelineare, a căror discretizare conduce la sisteme algebrice cu cerințe de memorie operativă care depășesc, uneori, cu multe ordine de mărime capacitățile de calcul aferente unui procesor.

Constrângerile financiare existente în IUCN au permis achiziționarea de module de calcul (hardware), nu și de expertiză aferentă (software). Astfel, echivalentul a peste 80% din costul unor achiziții „la cheie” a fost suplinit de dezvoltări home-made. Este de menționat, în mod deosebit, elaborarea unei concepții articulate, funcționale, privind dezvoltarea structurilor Grid la scară regională și în cadrul nodurilor Grid individuale. A fost identificată existența a trei direcții distincte (nivele): nivelului rețelisticii (rețea locală – LAN – de mare viteză și canale de telecomunicații de legătură în rețeaua Grid), nivelul resurselor (cluster de calcul de înaltă productivitate, securizate, și sisteme de stocare a datelor, organizate într-un mediu Grid funcțional local), nivelul aplicativ (problemele de cercetare care cer rezolvare în mediul Grid, în cadrul unor VO corespunzătoare).

Rezolvarea eficientă a problemelor definite la fiecare nivel în parte a făcut ca sistemul CICC din LIT-IUCN să fie caracterizat de unul din cele mai ridicate valori ale raportului performanțe vs. resurse locale instalate, din întreaga rețea mondială Grid existentă.

O particularitate a dezvoltării CICC a fost sprijinul, prin finanțări direcționate, al unora dintre Statele Membre și Asociate (RSA, Germania, România – în cadrul mecanismelor existente de achitare a obligațiilor financiare, Rusia - în afara lor), care au suplinit substanțial alocațiile bugetare directe. Colectivul LIT a răspuns cu un export generos de expertiză către partenerii de colaborare (inclusiv CERN), ceea ce s-a răsfrânt într-un feed-back extrem de favorabil în cadrul relațiilor generale de parteneriat ale IUCN. Angajații români aflați pe termen lung în LIT au adus contribuții hotărâtoare, atât la găsirea unor soluții de eficientizare a CICC, cât și la îmbunătățirea relațiilor de colaborare cu mai multe State Membre și Asociate. În particular, către România direcționarea expertizei existente în IUCN a fost efectuată atunci când a fost necesar și în întreaga măsură în care a fost necesar.

Parametrii de dezvoltare ai CICC-LIT, până în anul 2016, în cadrul sistemului Grid, decurgând din cerințele VO beneficiare, au fost definiți în [Planul pe 7 ani \(2010-2016\)](#). O cerință nouă, formulată în

ultimul an de partenerii germani în legătură cu strategia diferită de prelucrare a datelor propusă în cadrul experimentului CBM de la FAIR, este dezvoltarea unui puternic cluster de calcul paralel în LIT-IUCN, în care să fie investigate arhitecturi alternative de hardware, precum și metode noi de rezolvare a problemelor de analiză a datelor.

Așadar, implementarea eficientă de noi arhitecturi hardware și dezvoltarea de noi metode matematice de prelucrare a datelor și de rezolvare numerică a modelelor fizice complexe sunt activități indispensabile pentru desfășurarea cu succes a cercetărilor pe scară largă în fizică și domeniile conexe, pe toată durata desfășurării acestora.

5. Priorități și recomandări

Perspectivile efectuării de cercetări românești în IUCN sunt legate de dezvoltarea în IUCN a unor facilități unicate pentru cercetarea științifică.

- Colaborarea cu IUCN Dubna este o prioritate pentru România, deoarece:
 - Cercetările efectuate în IUCN acoperă un spectru larg de subiecte de vârf pe plan mondial corespunzând principalelor direcții ale fizicii actuale, astfel că suprapunerea obiectivă cu interesele grupurilor de cercetare din instituțiile românești este semnificativă pentru un mare număr de subiecte;
 - Mecanismul granturilor și proiectelor de colaborare ale grupurilor din România cu IUCN asigură finanțarea selectivă, direcționată, într-un cadru democratic competitiv, a unor cercetări cu participare românească explicită;
 - Cercetările efectuate în colaborare cu IUCN acoperă arii tematice complementare altor colaborări internaționale ale României;
 - IUCN permite, conform Statutului său, accesul liber la rezultatele cercetărilor efectuate, inclusiv la cele la care România nu a participat;
 - IUCN este un foarte bun loc de formare și creștere profesională pentru tinerii cercetători;
 - Nivelul cotizațiilor anuale este relativ scăzut, asigurând în acest fel un raport favorabil pentru costul cercetărilor efectuate în colaborare cu IUCN;
 - O parte a cotizației poate fi achitată prin livrarea, în condițiile pieței libere, de echipamente și produse tehnice realizate de instituții românești; pentru a asigura eficiența acestui proces, se impune ca instituțiile românești interesate să promoveze un marketing agresiv al produselor proprii.
- Pentru creșterea beneficiilor colaborării, este necesară căutarea și propunerea de candidați la posturi de conducere eligibile din IUCN (de la Director Adjunct de Laborator în sus), în laboratoare cheie în care sunt concentrate interese românești. O dificultate majoră în această direcție o constituie faptul că pentru astfel de poziții este necesară cunoașterea limbii ruse. Un atu la fel de important este cunoașterea foarte bună a limbii engleze, a doua limbă oficială în IUCN, care permite comunicarea neîngrădită în cadrul organismelor de avizare științifică din IUCN (Programme Advisory Committees, Scientific Council, a căror limbă de lucru este engleza).

- Este posibilă promovarea mai bună a cercetărilor efectuate în colaborare prin creșterea semnificativă a numărului de cercetători angajați cu contracte de muncă în IUCN pe termene de 3-6 luni, sau mai lungi. O sursă de specialiști care s-a dovedit utilă este practica de vară a studenților.

Este necesară o finanțare specifică în țară, a colaborării cu IUCN pentru acoperirea cheltuielilor de deplasare ale delegațiilor românești la organismele de lucru ale IUCN (Comitetul Reprezentanților Imputerniciți, Comitetul financiar, Constiliul științific, Comitetele de avizare de profil), la vizite de prospectare, documentare, pentru stimularea interesului cercetătorilor români la colaborare, etc.

VII. Strategia participării României la ELI

1. Prezentarea pe scurt a colaborării

ELI, Proiectul Luminii Extreme (Extreme-Light-Infrastructure), a fost inițiat în anul 2005, vizând construirea celui mai puternic laser din istorie și utilizarea acestuia pentru generarea de aplicații fără precedent în întreaga știință dar și în industrie și viața socială, datorită regimului de putere și intensitate neatins niciodată până acum de o instalație de acest tip.

Proiectul ELI a fost imediat însușit la nivelul Uniunii Europene și inclus în Foaia de Parcurș (Roadmap) a ESFRI (European Strategy Forum for Research Infrastructures), fiind susținut de Comisia Europeană printr-un proiect FP7 („Preparatory Phase”) la care au participat 40 instituții de cercetare și învățământ din treisprezece țări europene: Bulgaria, Franța, Germania, Grecia, Italia, Lituania, Marea Britanie, Polonia, Portugalia, Republica Cehă, România, Spania, Ungaria.

Pe baza memorandumului aprobat în anul 2008 de Guvernul României și de Președintele țării, România și-a prezentat la 21 noiembrie 2008 candidatura pentru construirea acestei facilități la București-Măgurele. La 1 octombrie 2009, Comitetului Director al Proiectului a hotărât construirea ELI în trei locații în Cehia, Ungaria și România. Această decizie, validată în luna decembrie 2009 de către Consiliul Competitivității al Uniunii Europene, permite astfel construirea primei mari infrastructuri de cercetare în Europa Centrală și de Est.

Toate cele trei centre vor avea între componentele de bază laseri care emit pulsuri ultra-scurte (femtosecunde și attosecunde) de foarte mare putere (3-10PW). Centrul de la București (ELI-Nuclear Physics) va avea în plus un instrument care va furniza radiație fonică cu caracteristici unice de energie, strălucire și lărgime de bandă (sursa γ). Caracteristicile instrumentelor din cei trei piloni ai proiectului ELI vor fi diferite, făcându-le utile pentru arii de cercetare diverse și complementare, din domenii mergând de la fizică teoretică până la medicină. Ulterior se va decide locația unui al patrulea pilon, care va avea ca scop creșterea cu încă un ordin de mărime în puterea maximă a laserilor (la 100PW), atingând noi zone de aplicabilitate.

Studiul de Fezabilitate privind construcția clădirilor aferente Pilonului de Fizică Nucleară al Proiectului ELI a fost realizat de S.C. PROIECT BUCUREȘTI S.A. Construcția urmează să înceapă în anul 2012 și va fi operațională în 2015-2016. În vederea implementării proiectului a fost creată o subunitate, ELI-NP, a Institutului Național de Cercetare – Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară „Horia Hulubei”.

În Cehia, lângă Praga, *ELI-Beamlines* va avea ca tematică principală studiul și utilizarea pulsurilor ultra-scurte de particule și radiație rezultate în urma interacțiilor relativiste și ultrarelativiste cu diverse ținte. La ELI-Beamlines se vor produce raze X cu caracteristici unice și fascicule de ioni, acestea fiind apoi utilizate în combinație cu pulsul laser pentru studii de tomografie în biologie și știința materialelor sau aducerea materiei în stări de plasmă speciale.

Utilizând laseri de mare putere, la Szeged, în Ungaria, se vor realiza cele mai scurte pulsuri laser din lume, sub 100 attosecunde (10^{-18} s), de către *ELI-ALPS* (“Attosecond Light Pulse Source”). Aceste pulsuri vor genera radiație X de înaltă frecvență și foarte mare intensitate, care datorită duratei

extrem de scurte va putea capta “instantanee” ale structurilor atomice, moleculare sau solide complexe.

ELI-Nuclear Physics (ELI-NP), implementat în România, va dispune de două lasere de mare putere și de o sursă de radiații fotonice foarte intensă, combinație unică în lume cu care se vor realiza atât studii de frontieră în fizica fundamentală cât și cercetări aplicative în domeniul științei materialelor, managementului substanțelor radioactive, biofizicii și medicinei.

Faza pregătitoare a proiectului (ELI-PP, ELI-Preparatory Phase) a fost finalizată recent cu un raport detaliat privind implementarea proiectului ELI în cele trei țări ale căror candidaturi au fost selectate. Pentru pilonul din Cehia, ELI-Beamlines, a fost deja asigurată finanțarea.

Implementarea proiectului se va face în perioada 2011-2016, urmând ca din 2017 infrastructura distribuită ELI să fie funcțională integral, timpul pentru experimente fiind alocat pe principiul “free access” de o structură unică pentru cele trei centre, care va fi compusă din reprezentanți ai țărilor participante la proiect. În aprilie 2010, România a semnat împreună cu Republica Cehă și Ungaria un Memorandum de Înțelegere privind crearea unei entități, ELI-Delivery Consortium (ELI-DC). Rolul acestei entități este de a continua activitatea desfășurată în cadrul ELI-PP de coordonare la nivel european a activităților legate de ELI. Până la sfârșitul anului 2011 se va crea o entitate cu personalitate juridică care va fi deschisă tuturor țărilor interesate și va pregăti crearea în perspectiva anului 2015, când cele 3 infrastructuri vor fi operaționale, a ELI-ERIC (European Research Infrastructure Consortium).

2. Obiectivele generale ale participării României la colaborare

ELI-Nuclear Physics (ELI-NP) va fi construit în România, pe Platforma de Fizică Măgurele (lângă București), beneficiind astfel de cea mai mare concentrare de specialiști în practic toate domeniile științei relevante pentru ELI (fizica laserilor, fizica nucleară, fizica materialelor, seismologie, proiectarea și managementul unităților nucleare etc.) din Europa răsăriteană. Instrumentele principale vor fi doi laseri de mare putere (10PW) și o sursă foarte intensă de radiație γ , cu energie de 19MeV obținută prin retroîmprăștierea fotonilor din radiația laser pe electroni accelerați. Această sursă γ va produce pulsuri caracterizate prin cea mai mare strălucire și cea mai bună rezoluție energetică din lume. Datorită combinației unice pe plan mondial a acestor instrumente, aici se vor putea efectua atât cercetări de frontieră în fizica fundamentală, fizica nucleară și astrofizică, cât și cercetare aplicativă în domeniile materialelor nucleare, științei materialelor și științelor vieții.

Având ca scop realizarea de progrese semnificative într-o arie largă de domenii științifice și deținând toate atuurile tehnice pentru aceasta, ELI va avea un impact major asupra cercetării științifice europene în ansamblu, dând posibilitatea Europei să efectueze în premieră experimente mult așteptate de comunitate, dar și asupra industriei și cercetării-dezvoltării din cadrul mediului economic. În mod particular, pentru România – ca țară-gazdă a unuia din pilonii ELI (ELI-NP), vor exista în plus efecte benefice pe termen scurt și mediu pentru instituțiile de cercetare și societățile comerciale implicate în faza de implementare a proiectului.

ELI-NP vine să completeze esențial infrastructura de cercetare din România în domeniul acceleratoarelor de particule, al fizicii nucleare și al fizicii laserilor. Având în componență cei mai

puternici laseri și cel mai puternic fascicul gamma din lume la nivelul anului 2015, când este proiectată inaugurarea sa, ELI-NP va permite pentru prima oară în știința mondială investigarea sistematică a frontierei materie nucleară-radiație laser, deschizând orizonturi de cercetare și posibilități de aplicații inaccesibile la scara puterii și intensităților disponibile în prezent în ambele domenii.

Din punct de vedere strategic, importanța implementării ELI-NP pentru România este foarte mare, deoarece va fi prima mare infrastructură europeană de cercetare din țara noastră, va permite cercetătorilor români să se mențină în elita științifică pe plan mondial în mai multe domenii în care ELI-NP va aduce contribuții importante și în plus va demonstra capacitatea țării noastre de a realiza un asemenea proiect de anvergură.

Proiectul ELI-NP va oferi României oportunitatea de a deveni un pol de competitivitate și de a se ridica la un standard superior al cercetării. În spiritul Strategiei Lisabona, România poate marca un pas important în direcția reducerii diferenței dintre țările est și vest europene în ceea ce privește transferul și dezvoltarea tehnologică, productivitatea muncii și eficiența activității de cercetare. De remarcat că până acum și-au manifestat în acest sens interesul 6 țări (Germania, Portugalia, Grecia, Italia, Franța, Armenia) și peste 50 de mari universități, institute de cercetare și companii din întreaga lume.

Platforma Măgurele este un pol al fizicii și al științei în general, nu doar în țară, ci și în întreaga Europă de (Sud)Est. Istoria sa începe odată cu crearea Institutului de Fizică Atomică, primul institut de cercetări din țară, și cu instalarea și darea în funcțiune (1956) a primelor mari mașini de fizică, Reactorul Nuclear și Ciclotronul, urmate la scurt timp de construirea primului calculator electronic românesc (1957) și de primul laser (1962), totodată al treilea laser funcțional din lume (după Statele Unite și Uniunea Sovietică).

3. Proiecte actuale

Participarea românească la proiectul ELI a fost substanțială din faza de propunere, cercetătorii de la institutele de pe Platforma Măgurele și câteva universități având un aport important la definirea unui „White book” bine fundamentat științific pentru ELI-NP.

În proiectul european ELI, urmează ca obținerea finanțării pentru cei trei piloni și implementarea efectivă a lor să fie făcută de instituțiile responsabile din Cehia, Ungaria și România. Încă din faza de construcție și implementare a ELI-NP, urmând a avea loc între anii 2012 și 2016, se vor desfășura activități de cercetare legate de realizarea sistemului laser de mare putere (Research Activity 1, RA1), sistemul de producere a radiației γ (RA2), fizică nucleară cu surse laser de mare putere (RA3), fizică nucleară și aplicații cu surse γ de mare intensitate (RA4) și fizică fundamentală în câmp intens combinat laser și γ (RA5).

Finanțarea acestor activități de cercetare pe perioada construcției și implementării infrastructurii este inclusă în planul financiar al proiectului, urmând ca în perioada operațională (din 2017) acestea să fie finanțate din fondurile prevăzute pentru acoperirea costurilor de funcționare.

RA1

Principalul obiectiv al activităților acestei secțiuni va fi realizarea celor două ramuri ale laserului de mare putere (2×10^{10} W) care va furniza pulsuri extrem de scurte în mai multe laboratoare. Intensități de $10^{23} - 10^{24}$ W/cm² vor fi atinse în zona de maxim cu o rată de repetiție de 1 puls/minut, ceea ce înseamnă un avans important în comparație cu lasere construite anterior. Pulsuri mai puțin intense (10^8 W – 1 PW) vor putea fi extrase din faze intermediare de amplificare, independent și la rate de repetiție mult mai mari.

Rezultatele RA1 vor sta la baza activităților desfășurate de echipele din cadrul RA3 și RA5. În afară de cercetătorii din fizica nucleară, cei din domeniul astrofizicii, fizicii particulelor elementare și energiilor înalte, fizicii plasmei și fizicii materialelor vor fi interesați în utilizarea laserului de mare putere. Demonstrarea capacității de a genera cu ajutorul laserului fascicule γ intense va suscita interesul unui grup larg de utilizatori ai RA4, interesați de aplicații în domeniul managementului materialelor radioactive, tomografie și securitate. Cercetările în optică și tehnologie laser vor fi de interes pentru instituții de cercetare și companii atât în timpul fazei de implementare a proiectului cât și în timpul fazei operaționale, când vor fi făcute îmbunătățiri și upgrade-uri.

Subiectele de interes pentru RA1 sunt:

- Ultrafast femtosecond optics;
- Generare de pulsuri de ordinul femtosecundelor folosind tehnologia OPCPA (Optical Parametric Chirped-Pulse Amplification);
- Noi materiale optice și cristale pentru lasere;
- Tehnologii inovative în optica adaptivă;
- Studiul pulsurilor laser ultrascurte.

Având în vedere acestea, pentru implementarea sistemului laser vor trebui făcute progrese în:

- Creșterea cristalelor Ti-safir mari (peste 200mm), de calitate ridicată, pentru amplificatoarele laser de 10 PW;
- Construirea unor sisteme de pompaj laser de mare energie și rată de repetiție;
- Rețele de difracție mari pentru compresia temporală a pulsurilor;
- Păstrarea calității fasciculului laser pe distanțele de transport mari necesare pentru distribuirea acestuia;
- Oglinzi de ghidaj mari pentru manevrarea fasciculului laser înainte și după ultimul compresor temporal;
- Focalizare excelentă care să permită atingerea unor intensități de 10^{23} W/cm² până la 10^{24} W/cm², incluzând fabricarea unor oglinzi mari pentru corecția frontului de undă;
- Combinarea coerentă a pulsurilor laser de mare putere;
- Sincronizarea pulsurilor laser cu fasciculul γ generat cu ajutorul unui accelerator liniar.

Soluția tehnică pentru laserul ELI-NP va consta într-un front-end OPCPA și amplificatoare de energie înaltă Ti:Safir, similară celei propuse pentru proiectul francez APOLLON. Ca alternativă, există posibilitatea unui front-end cu oscilator și amplificatoare bazate pe Ti:Safir. Până la nivelul de 1PW, sistemul laser se bazează pe soluții tehnice existente. Peste 1PW, sistemul va fi creat prin efortul de cercetare-dezvoltare al partenerilor ELI în cooperare cu companii europene din domeniul producerii de laseri de mare putere. Parametrii prevăzuți pentru sistem sunt: energie per puls peste 200J, durata pulsului mai mică de 30fs și minim 1 puls/minut rată de repetiție.

Există și o soluție de back-up prevăzută în proiect, pentru diminuarea riscurilor, și anume cu font-end OPCPA în cristale BBO și ZCOB și amplificatoare de energie înaltă bazată bare de Nd:sticlă. Acest sistem laser ar putea produce un puls de 100fs și 2kJ energie, la o rată de repetiție de 1 puls/minut și este similar cu sistemele dezvoltate la GSI (Germania), LULI (Franța), Vulcan (UK), Lawrence Livermore National Laboratory (USA). Pentru această tehnologie, puterea maximă demonstrată a fost tot de aproximativ 1PW.

RA2

Activitățile acestei secțiuni urmăresc realizarea unei surse γ de mare intensitate, cu caracteristici unice la momentul dării în funcțiune, cu ajutorul fenomenului Compton invers al radiației laser pe un fascicul de electroni accelerați până la energii relativiste. Se va obține astfel radiației γ monocromatică, de energie variabilă de ordinul MeV-ilor (8-19MeV) și intensitate foarte mare (10^{13} fotoni/s), cu o foarte bună precizie în energie (0.1%BW – lărgime de bandă).

Laserul folosit pentru sursa γ va fi unul cu pompaj de la o diodă laser de înaltă calitate, având parametri aproximativi: energie 10J, durată puls 2ps, frecvență de repetiție 120Hz. Acceleratorul de electroni va fi unul liniar, împărțit în două secțiuni care vor realiza accelerarea la 400 respectiv 600MeV. Fiecare dintre aceste secțiuni va avea un punct de interacție, permițând generarea alternativă a două fascicule γ în două laboratoare care pot lucra independent pentru pregătirea experimentelor. Energiile maxime ale radiației γ rezultate vor fi de 8, respectiv 19 MeV, pentru lungimea de undă a fotonilor împrăștiați de 355nm, acestea putând fi crescute utilizând armonici superioare ale radiației laser.

Subiectele de interes pentru RA2 sunt:

- Sisteme RF
- Structura acceleratorului liniar, transportul particulelor încărcate
- Sistemul laser
- Interacția laser-electroni

Sursa γ va face din ELI-NP cel mai avansat centru de cercetare în acest domeniu la data comisionării. Designul modular al sursei va permite însă ulterioare upgrade-uri într-o serie de parametri în funcție de necesități astfel încât aceasta se va putea menține în avangarda domeniului un timp îndelungat. Tehnologia recomandată spre a fi folosită este cea aplicată la Lawrence Livermore National Laboratory, SUA, bazată pe interacția unor pulsuri laser scurte cu electroni relativiști (împrăștiere Compton), fiind o tehnologie matură. Prin scattering frecvența radiației laser este crescută cu peste 6 ordine de mărime și emerge într-un fascicul îngust și polarizat.

Pe baza tehnologiei existente se vor crește parametrii cheie, cum ar fi energia electronilor accelerați și energia pulsului laser, dar menținând pe cât posibil elemente hardware și de control deja verificate. Se vor face cercetări și vor fi testate metode care vor urmări creșterea cu un factor 100 al fluxului radiației γ față de sursa existentă la LLNL, dezvoltarea tehnicii acceleratorului liniar astfel încât acesta să permită rate de repetiție de 12kHz, maximizarea fluxului și minimizarea dispersiei în energie a radiației γ prin tuningul interacției laser-electron, precum și crearea unui sistem computerizat de control pentru întregul ansamblu.

RA3

Pregătirea instalațiilor și procedurilor pentru realizarea experimentelor științifice în câmpuri laser ultraintense la ELI-NP presupune activități de cercetare preliminară concentrate în RA3. În acest sens, se vor efectua experimente la centre de cercetare în domeniul laserilor de mare putere deja existente, apoi simulări și extinderi teoretice pentru puterile mai mari cu 1-2 ordine de mărime care vor fi disponibile la ELI-NP. Studiul reacțiilor fotonucleare și comportamentului materialelor supuse iradierii în câmpuri foarte intense, accelerarea particulelor cu ajutorul laserilor vor face de asemenea obiectul cercetărilor în cadrul pregătirii ELI-NP. Vor fi dezvoltate instrumente specifice fizicii nucleare pentru caracterizarea și ulterioara optimizare a radiațiilor primare și secundare rezultate în urma interacțiunii radiației laser intense cu materialul țintelor.

Camerele de reacție, care vor găzdui și oglinzile de colimare a fasciculului, vor trebui să aibă o mare flexibilitate, astfel încât să accepte mai multe configurații posibile ale pulsurilor laser și diferitelor sisteme de detecție. De asemenea, va trebui proiectat și realizat un sistem de ținte capabil să opereze cu pulsuri laser de mare putere cu rată mare de repetiție. Infrastructura va îngloba și un laborator specializat în producția de ținte.

Pentru crearea premiselor pentru experimentele în câmpuri laser ultra-intense la ELI-NP, personalul implicat în RA3 va fi preocupat de proiectarea unor detectori de radiații și metode de măsură pentru diagnosticarea interacției laser-materie.

Odată începută faza operațională, rezultatele științifice și aplicative ale RA3 vor fi importante pentru studiul nucleelor instabile de interes astrofizic (cum sunt cele cu exces de neutroni din regiunea $N=126$), studiul interacției cu materia a grupurilor de electroni și ioni accelerate (la densități înalte, de corp solid) cu ajutorul laserilor de mare putere, generarea de plăci electronice relativiste de înaltă densitate, fascicule γ intense și aplicații în reacții fotonucleare, înțelegerea comportării materialelor în condiții de iradiere puternică, cu multiple aplicații în dezvoltarea componentelor micro-optoelectronice speciale sau a componentelor pentru reactoare de fuziune. Față de RA1, care cuprinde în proporție mai mare activități de *dezvoltare*, RA3 are o componentă importantă de *cercetare*, descrisă în "ELI-NP White Book" la punctele 5.2.1-5.2.8, 5.4.11, 5.6.13 și 5.6.14.

Pentru realizarea obiectivelor, RA3 va trebui să obțină progrese în:

- Proiectarea și realizarea unor camere de reacție slab activabile și foarte flexibile;
- Realizarea unor metode de detecție optimizate pentru condițiile extreme create de pulsurile de radiație foarte intense generate de pulsul laser;
- Obținerea, cu rată mare de repetiție și într-un mod reproductibil, de fascicule γ intense și clustere de ioni grei și electroni pentru experimente de fizică nucleară;
- Atingerea unui grad înalt de selecție izotopică a produșilor reacțiilor induse de radiația laser.

Pe lângă realizarea cadrului necesar desfășurării ulterioare (în faza operațională) a experimentelor în câmpuri laser intense, RA3 are ca scop pregătirea resursei umane necesare pe plan local (angajați permanenți ai infrastructurii) care vor colabora cu grupurile de cercetători veniți să facă aceste experimente. În acest sens, numărul persoanelor implicate în activitățile RA3 va crește gradual de la începutul implementării proiectului către începutul fazei operaționale.

RA4

Scopul RA4 este pregătirea experimentelor și aplicațiilor care se vor baza pe sursa γ de mare intensitate. Radiația γ are un rol deosebit între metodele de investigare a nucleului atomic, fiind capabilă să inducă fenomene cum ar fi fluorescența nucleară, fotodisocierea, reacții de interes astrofizic și multe altele. Pe lângă aceste studii de fizică fundamentală, sursa de radiații γ a ELI-NP va avea aplicabilitate în cercetările dintr-o multitudine de domenii, cum ar fi managementul substanțelor radioactive, tomografie industrială, securitatea porturilor și aeroporturilor sau producerea de radioizotopi pentru uz medical. De asemenea, se vor produce fascicule intense de pozitroni și neutroni, cu numeroase aplicații în studiul materialelor, investigații biologice și tehnologii medicale.

În timpul perioadei de construcție, activitățile RA4 se vor axa pe simulări numerice, teste la laboratoare deja existente, proiectarea și realizarea echipamentelor. Odată cu începutul fazei operaționale, vor fi așteptate cererile grupurilor de utilizatori pentru continuarea și extinderea direcțiilor de cercetare definite anterior, sau inițierea unor noi.

Subiectele științifice ce urmează a fi abordate în cadrul RA4 sunt:

- Cercetări fundamentale de fizică nucleară și arii înrudite;
- Studiul unor noi metode și tehnologii pentru managementul materialelor nucleare;
- Producerea în mod eficient de izotopi radioactivi utilizați în medicină;
- Dezvoltarea de noi metode de radiografie și tomografie utilizând fascicule γ monocromatice;
- Aplicații ale surselor de fascicule intense de pozitroni;
- Studiul fezabilității unui sistem de producere a unei surse intense de neutroni lenți, bazată pe fasciculul γ .

Aceste tematici sunt ilustrate, în "ELI-NP White Book", de activitățile de cercetare descrise la punctele 5.4.1-5.4.10, 5.5.1, 5.5.2, 5.6.1, 5.6.2, 5.6.4, 5.6.5-5.6.13.

RA5

Facilitatea oferită de ELI-NP, de a utiliza concomitent fascicule laser și de radiație γ extrem de intense, va deschide calea unor noi tipuri de experimente. Pregătirea acestora și a instrumentației adecvate va fi făcută prin cercetările RA5. Au fost deja propuse studii ale unor procese fundamentale în electrodinamică cuantică și fizica particulelor elementare, cum ar fi birefringența vidului și crearea de perechi electron-pozitron în câmpuri laser și γ intense. O altă categorie importantă de experimente va fi cea dedicată studiului structurii nucleare cu ajutorul pulsurilor ultra-scurte (pico și femtosecunde) de radiație laser și γ prin metode pump-probe. Fiind vorba despre clase noi de experimente (imposibil a fi realizate la alte centre de cercetare), cu implicații adânci în concepția noastră despre lume, sunt greu de anticipat aplicațiile pe termen lung ale acestora, dar RA5 va avea un impact pozitiv asupra mediului științific al ELI-NP, atrăgând atât studenți și cercetători tineri cât și profesori de renume.

Cercetările efectuate în cadrul RA5, având o pondere teoretică mai mare decât cele de la celelalte activități, sunt cuprinse în "ELI-NP White Book" la punctele 5.3.1-5.3.5. Ele vor fi de interes atât

pentru fizica nucleară, a particulelor elementare și energiilor înalte, cât și pentru alte domenii ale fizicii fundamentale, cum ar fi astrofizica.

Pentru realizarea obiectivelor acestei secțiuni, RA5 va trebui să răspundă următoarelor provocări:

- Proiectarea și realizarea unor camere de reacție mari, adaptabile, pentru experimente care să implice atât radiația laser cât și cea provenită de la generatorul γ ;
- Reducerea fondului de electroni termici la focalizarea fascicului laser de mare putere;
- Măsurători de mare sensibilitate a polarizării fascicului γ pentru experimentele de birefrința vidului;
- Realizarea unui sistem de ținte de mare precizie, controlat de la distanță, pentru studii de fizică nucleară cu fascicule combinate.

4. Proiecte de viitor

Activitățile cuprinse la punctul anterior, începute pe perioada implementării ELI-NP, vor putea fi continuate și extinse în faza operațională în funcție de interesul manifestat din partea comunității științifice. Câteva idei asupra cercetărilor ce vor putea fi efectuate la ELI-NP în faza operațională (începând cu 2017) sunt rezumate în cele ce urmează.

Pentru securitatea nucleară se vor investiga metode noi de identificare și caracterizare de la distanță a materialelor nucleare (prin fluorescență nucleară). Aceste metode își găsesc numeroase aplicații, de la inspectarea neintruzivă a containerelor cu mărfuri (putându-se determina cu precizie compoziția conținutului și eventuale materiale interzise) până la managementul substanțelor radioactive.

Vor fi cercetate și implementate scheme pentru producerea de radioizotopi necesari în medicină, în mod mai economic față de tehnicile actuale.

Sursa intensă de neutroni care va fi realizată la ELI-NP prin reacții (γ, n) va avea aplicații în studiul bio-proteinelor, nano-compușilor, fulleranelor și nano-materialelor magnetice.

Utilizând concomitent sursa γ și radiația laser de mare intensitate se vor face studii asupra comportamentului materialelor în condiții extreme de iradiere. Un domeniu de mare interes în această privință este studiul pieselor centralelor nucleare, existând posibilitatea simulării unei funcționări îndelungate în condiții extreme.

O direcție de cercetare foarte activă în acest moment este accelerarea particulelor cu ajutorul radiației laser de mare putere. Spre deosebire de tehnicile care utilizează acceleratorii clasici de particule, accelerarea laser are multiple avantaje. Unul dintre ele, relevant pentru medicină dar și pentru știința materialelor, este densitatea mult mai mare (10^{15} ori) a materiei accelerate decât a celei obținute în acceleratori. Lărgimea fascicului poate fi și ea mult mai mare, ceea ce oferă în hadronoterapie (terapia anumitor tipuri de cancer cu ajutorul fasciculelor de protoni sau ioni) avantajul absenței neutronilor rezultați ca efect al împrăștierii fascicului până la lărgimea dorită și care pot cauza tumori secundare.

Un alt exemplu de domeniu în care ELI-NP ar putea aduce contribuții importante este cel al radiațiilor cu frecvențe în domeniul teraherzilor – care se situează peste posibilitățile electronicii

obișnuite dar sub frecvențele care se pot obține cu aparatură optică. Aceste radiații corespund frecvențelor de rotație ale unor molecule mari și frecvențelor caracteristice ale unor supraconductori și sunt o unealtă foarte importantă într-o multitudine de situații: imaging de plante și țesuturi biologice, controlul calității în industria farmaceutică și a semiconductorilor, tomografie în medicină, control de securitate la distanță. În prezent, aceste radiații sunt produse în sincrotrone și acceleratoare liniare, care sunt echipamente mari și foarte scumpe. Fascicule foarte intense se pot însă obține și cu ajutorul laserilor.

5. Priorități și recomandări

În vederea participării cu succes la proiectul ELI și a obținerii rezultatelor științifice așteptate de la o investiție de asemenea anvergură, este necesară definirea unor **priorități**, prin conștientizarea importanței ELI-NP pentru știința românească în general:

- Implementarea proiectului – care va necesita un efort considerabil din partea instituțiilor partenere, având în vedere complexitatea și dimensiunile sale, dar va aduce deja primele rezultate pozitive în cadrul instituțiilor de cercetare (prin efortul R&D) și companiilor implicate.
- Pregătirea resursei umane – deosebit de importantă atât în timpul implementării cât și în perspectiva punerii în funcțiune. Deja au fost făcuți primii pași pentru constituirea unui consorțiu academic ELI-NP, în care Universitățile interesate se vor asocia cu instituția care implementează proiectul, IFIN-HH, pentru definirea unor direcții de studiu convergente cu domeniile atinse de proiect, pentru studenții din diferite arii științifice. De asemenea, va fi urmărită participarea cercetătorilor la experimente pe tematica ELI desfășurate la infrastructuri deja existente.

Recomandări:

Stabilirea unor programe educaționale dedicate – de doctorat și postdoctorale – este necesară pentru calificarea (unei părți a) resursei umane care va lucra în cadrul proiectului. Deși toate angajările la ELI-NP se vor face prin concursuri internaționale, ne așteptăm ca, în cazul aplicării unei strategii educaționale adecvate încă din faza de implementare a proiectului, o parte importantă dintre viitorii cercetători angajați permanent să fie români.

De asemenea, ar fi extrem de utilă deschiderea în cadrul PN II de call-uri dedicate pe tematica ELI, care să ajute comunitatea științifică românească să se pregătească pentru a putea aplica pentru timp de experimente la noua infrastructură de cercetare, dar și să rezolve o parte din problemele științifice asociate implementării.