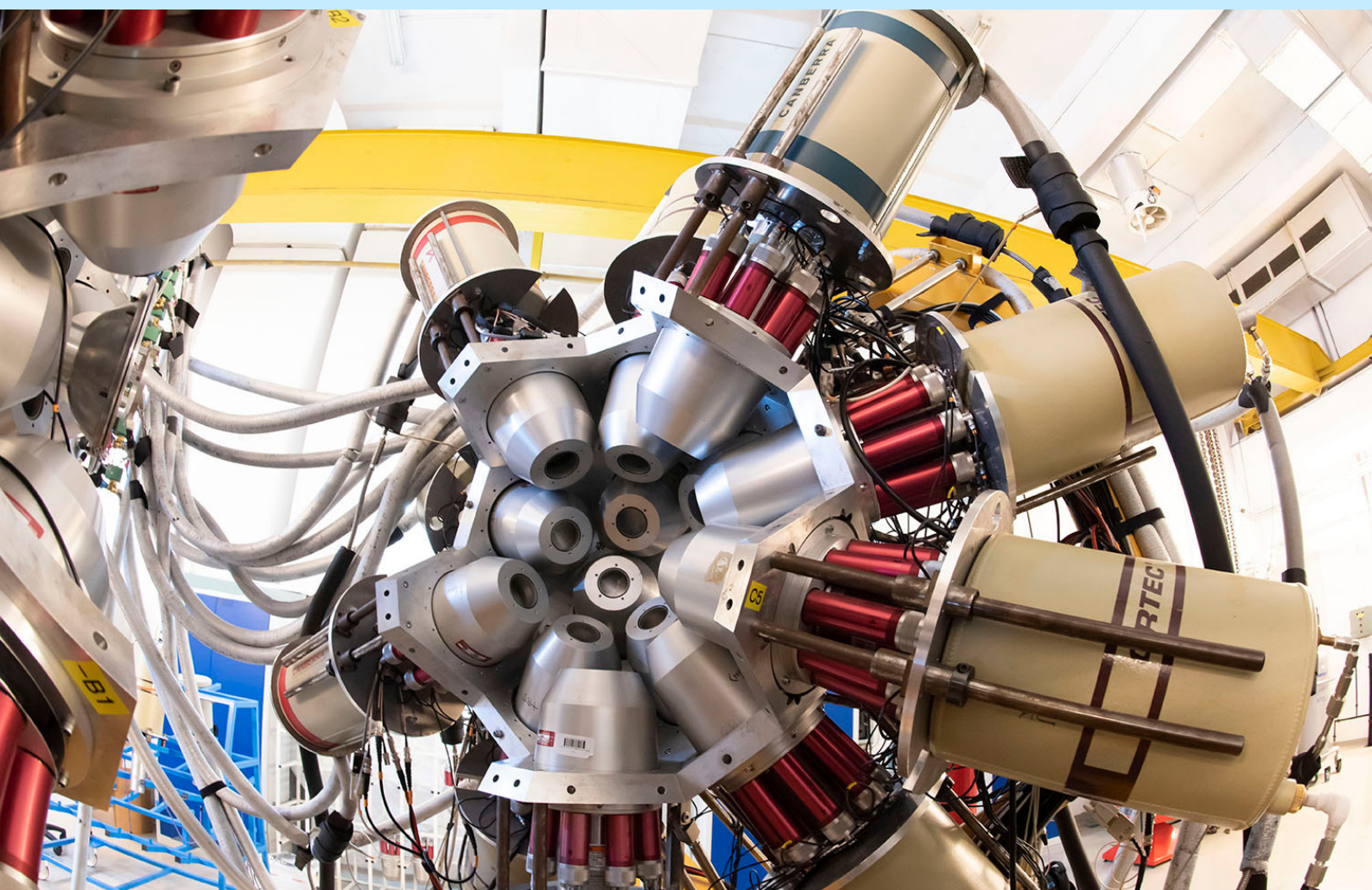


Planul strategic de dezvoltare al **IFIN-HH**

2025-2030



Planul strategic de dezvoltare al IFIN-HH 2025-2030

Capitolul I	Misiunea institutului. Cadrul general de dezvoltare strategică și integrare europeană
Capitolul II	Obiective și direcții științifice strategice de dezvoltare
Capitolul III	Analiza SWOT științifică și financiară
Capitolul IV	Infrastructura de cercetare-dezvoltare-inovare. Exploatare și dezvoltare
Capitolul V	Strategia de resurse umane
Capitolul VI	Plan de măsuri. Planificare operațională
Capitolul VII	Concluzii

Capitolul I – Misiunea institutului. Cadrul general de dezvoltare strategică și integrare europeană

Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Fizică și Inginerie Nucleară "Horia Hulubei", IFIN-HH, își desfășoară activitatea în domeniul înțelegerii fenomenelor naturale fundamentale și a aplicării cunoștințelor acumulate pentru dezvoltarea de aplicații practice.

Misiunea IFIN-HH cuprinde patru obiective generale:

1. Obținerea de rezultate în domeniul cunoașterii naturii, cu grad ridicat de originalitate și impact la nivel internațional, în cercetarea fundamentală experimentală și teoretică;
2. Obținerea de rezultate cu relevanță directă pentru mediul tehnologic, economic, social și calitatea vieții în cercetarea aplicativă;
3. Exercițarea rolului de laborator nuclear național, continuând garantarea calității activităților, precum și asigurarea misiunii de furnizor competent de cunoștințe avizate în sprijinul sistemului de guvernare, al sistemului educațional și al informării publice;
4. Educarea noii generații prin realizarea de parteneriate robuste și pe termen lung cu universitățile și institutele naționale de cercetare-dezvoltare.

În continuarea celor patru obiective generale ce definesc misiunea sa, IFIN-HH urmărește un număr de obiective strategice generale, comune tuturor domeniilor și grupurilor de cercetare:

- Popularizarea științei și promovarea spiritului științific și a gândirii critice în societate;
- Dezvoltarea, promovarea și sprijinirea unor inițiative privind accesibilitatea și vizibilitatea mai bună a producției științifice în domeniu: organizarea de școli de vară, vizite, târguri de știință, programe educaționale folosind infrastructura de cercetare etc.;
- Menținerea și consolidarea colaborărilor cu agenții economici, universitățile, institutele naționale/internaționale și autoritățile statului în vederea dezvoltării de aplicații multidisciplinare ale fizicii și ingineriei nucleare.

În definirea prezentului plan strategic de dezvoltare a IFIN-HH s-a ținut cont de faptul că toate activitățile desfășurate în institut sunt complet corelate cu temele de cercetare abordate pe plan internațional, toate grupurile din institut fiind integrate în comunitatea științifică internațională. Cercetarea științifică fundamentală fiind complet globalizată, Planul strategic al institutului, inclusiv obiectivele formulate în capitolul următor, decurg în mare parte din planurile și perspectivele comunității din care IFIN-HH face parte. În acest context, IFIN-HH a participat și participă direct la elaborarea strategiilor principalelor domenii în care activează la nivel european: *The Long Range Plan 2024 for European Nuclear Physics* al NuPeCC (*Nuclear Physics European Collaboration Committee*), *European Strategy for Particle Physics* care este actualizată în prezent de către ECFA (*The European Committee for Future Accelerators*) și *The European Astroparticle Physics Strategy* elaborată de către APPEC (*Astroparticle Physics European Consortium*). Contribuția IFIN-HH la dezvoltarea domeniilor respective la nivel european este menționată în aceste documente, reprezentanții institutului fiind membri ai organismelor respective.

Pe plan național, actualul Plan strategic se integrează în Strategia Națională de Cercetare, Inovare și Specializare Inteligentă 2022-2027 (SNCISI). În același timp componenta aplicativă este determinată preponderent de satisfacerea nevoilor naționale de servicii specifice, dezvoltare de aplicații și educație în domeniul nuclear.

Capitolul II - Obiective și direcții strategice de dezvoltare

Activitatea de cercetare desfășurată în cadrul IFIN-HH acoperă o arie foarte extinsă, de la studii de cercetare fundamentală atât experimentale cât și teoretice și până la cercetare aplicativă și dezvoltare tehnologică și instrumentală.

Provocarea majoră a studiilor de **fizică nucleară** desfășurate **la energii joase și medii** în următorul deceniu o constituie mai buna înțelegere a modului cum protonii și neutronii interacționează în interiorul nucleului atomic, dar și a mecanismelor prin care se desfășoară reacțiile și dezintegrările nucleare. Înțelegerea și descrierea acestor procese deschide calea către o utilizare sigură și sustenabilă a energiei nucleare și va permite înțelegerea cantitativă a compoziției chimice a Universului și a mediilor stelare care o dictează. Pe de o parte studiul acestor fenomene fundamentale ale naturii va continua să se extindă de la nucleele stabile către cele exotice, iar pe de altă parte vor fi identificate din ce în ce mai multe manifestări specifice ale unor efecte nucleare inedite. În același timp, un efort major este necesar pentru dezvoltarea bazelor de date nucleare, atât de reacție cât și de structură, care reprezintă instrumentele esențiale prin care cunoștințele acumulate sunt transferate către dezvoltarea de aplicații. Teoria nucleului atomic acoperă o gamă largă de probleme de structură și dinamică nucleară, stabilitate și reacții, dezintegrări radioactive, emisia de particule, fenomene de fuziune și fisiune, interacția nucleului cu câmpuri electromagnetice și radiația laser, reacții exotice, ciocniri de ioni grei. Aceste direcții de cercetare au implicații în astrofizica nucleară și cosmologie. Totodată, unele metode ale teoriei nucleare își au originea în teoria stării condensate, unde sunt aplicate în fizica materialelor și fizica statistică, în special pentru studiul sistemelor mezoscopice și nanoscopice.

Direcțiile majore pentru domeniul **astrofizicii nucleare** cuprind studii experimentale de fizică nucleară pentru astrofizică și studii teoretice referitoare la ecuația de stare a materiei nucleare în obiecte și procese cosmice în condiții extreme de densitate și temperatură.

Aplicațiile **fotonicii** în fizica nucleară sunt dezvoltate de Extreme Light Infrastructure - Nuclear Physics (ELI-NP) care este un centru de cercetare în cadrul căruia comunitățile științifice din domeniul fizicii laserelor și plasmei și al fizicii nucleare și-au unit eforturile pentru a extinde cercetarea în domeniul fotonicii nucleare la interacțiunea fasciculelor extreme de fotoni cu materia. Principalele direcții de cercetare sunt legate de studii de fizică nucleară realizate direct cu fascicule extreme de fotoni sau de radiațiile secundare generate de acestea. Aceste fascicule se vor utiliza pentru studii de cercetare fundamentală, precum și pentru dezvoltarea de aplicații cu puternic impact societal.

În domeniul **fizicii nucleare la energii mari**, înțelegerea completă a diagramei de fază a materiei formate din constituenți care interacționează puternic este unul din domeniile de frontieră ale cercetării fundamentale. Dacă teoria cromodinamicii cuantice reușește să explice datele experimentale la valori mari ale transferului de impuls, adică în regim perturbativ, la valori mici ale acestuia și ale variabilei Bjorken datele experimentale nu mai pot fi explicate în cadrul acestei teorii. Experimentul ALICE (*A Large Ion Collider Experiment*) de la LHC (*Large Hadron Collider*) – CERN (*European Council for Nuclear Research*) furnizează date experimentale cu statistică ridicată în ciocnirile proton-proton, proton-Pb și Pb-Pb care permit analize de tip multi-diferențial, singurele care pot discrimina între multitudinea de modele teoretice, astfel încât să se înțeleagă într-un mod univoc proprietățile materiei produse în aceste ciocniri la energiile LHC și care, conform scenariilor cosmologice, ar corespunde stării Universului la câteva microsecunde după Big-Bang. Studiul materiei hadronice cu densitate barionică foarte mare, presupusă a fi specifică miezului stelelor neutronice, va fi realizat în experimentul CBM (*Compressed Baryonic Matter*) de la FAIR (*Facility for Antiproton and Ion Research*).

Dezvoltând tehnologiile necesare studierii la energii din ce în ce mai mari a proprietăților fundamentale ale materiei și interacțiilor, **fizica particulelor elementare** a făcut descoperiri care au transformat înțelegerea științifică a lumii. Cu toate acestea, multe dintre misterele universului sunt încă neelucidate, cum ar fi natura materiei întunecate și asimetria materie-antimaterie. Studiul acestora și a simetriilor fundamentale sunt componente cruciale ale căutării unor fenomene fizice noi. În următorul deceniu, LHC, incluzând varianta sa cu luminozitate mărită HL-LHC (*High Luminosity-LHC*), va rămâne principalul instrument științific dedicat explorării frontierei fizicii particulelor la energie înaltă. Având un timp de viață relativ mare și o lărgime mică a masei, bozonul Higgs este foarte eficient pentru măsurarea cuplajelor mici caracteristice unor noi particule elementare. Căutarea canalelor de dezintegrare invizibile sau încă nedetectate devine astfel foarte importantă. În plus, studiarea interacției particulei Higgs cu ea însăși este cheia înțelegerii structurii universului. Cum frontiera extremă a fizicii teoretice implică distanțe geometrice foarte reduse și energii foarte mari, direcțiile strategice de dezvoltare sunt așadar fizica dincolo de Modelul Standard, teoria corzilor, gravitația cuantică și cosmologia universului timpuriu. Teoria cuantică a câmpurilor și fenomenologia particulelor elementare fac legătura cu observațiile experimentale accesibile în prezent.

La limita extremă a energiilor detectate, studiul astroparticulelor investighează extrapolarea modelelor de interacție nucleară și mecanismele de accelerare intra- și extra-galactice.

Pe lângă înțelegerea fenomenelor fizice observate experimental, **fizica teoretică** are ca obiectiv unificarea modelelor în teorii mai generale, capabile să acopere clase distincte de fenomene. Dezvoltarea aparatului formal al fizicii teoretice constituie un domeniu de sine stătător, cel al fizicii matematice. Preocupările principale în cadrul acestui domeniu în IFIN-HH sunt legate de grupuri de simetrie, sisteme dinamice neliniare, teoria solitonilor, integrabilitatea ecuațiilor fizicii matematice și metode geometrice avansate în fizică. **Teoria informației cuantice** constituie fundamentul pentru dezvoltarea protocoalelor de procesare și transmitere a informației cuantice ce au potențialul de a revoluționa multe domenii din știință și tehnologie prin exploatarea a noi moduri de calcul și comunicare, bazate pe legile mecanicii cuantice în locul celor ale fizicii clasice.

Trecând la **domeniul aplicativ**, dezvoltarea și implementarea de noi algoritmi și metode numerice pentru susținerea cercetării în domeniile fizicii subatomice și condensate, proiectării de nanodispozitive electronice și analizei genomului uman cunosc în prezent o evoluție explozivă datorată progresului rapid al tehnologiilor experimentale și al tehnicii de calcul. Pentru următorii ani preocupările IFIN-HH în aceste direcții se subsumează obiectivelor SNCISI (Strategia Națională de Cercetare, Inovare și Specializare Inteligentă) care includ susținerea cercetării în domeniul nanomaterialelor pentru aplicații electronice, în senzorială, în detecția biomarkerilor, utilizarea tehnologiei Big Data în genomică și dezvoltarea depozitelor digitale pentru tranziția către știința deschisă.

Descifrarea răspunsului celulelor eucariote ca urmare a expunerii lor la radiații ionizante rămâne cheia înțelegerii modului în care acestea pot fi utilizate eficient în aplicațiile medicale. Diversificarea condițiilor de iradiere prin combinarea acestora cu alte tehnici (chemoterapie, imunoterapie, nanomateriale) conferă domeniului un caracter profund de interdisciplinaritate. Analiza efectului radioizotopilor (naturali sau rezultați din activitățile umane) asupra componentelor din mediu înconjurător, în particular asupra populației din zona investigată, reprezintă un domeniu de referință în care IFIN-HH activează atât prin studii teoretice cât și experimentale.

Odată cu dezvoltarea ingineriei nucleare, aplicațiile non-energetice ale tehnologiilor nucleare bazate pe radiații ionizante devin din ce în ce mai importante, iar utilizarea lor trebuie să crească dramatic în viitorul apropiat pentru a adresa provocările economice și societale. Astfel, în IFIN-HH se are în vedere dezvoltarea de aplicații ale radiațiilor în agroștiințe, sterilizarea cu radiații, îmbunătățirea înțelegerii

efectelor radiațiilor într-un organism viu și comportamentul acestuia în mediu, medicină nucleară (diagnoză și terapie), în științele materiale și sistemele de control nedistructiv, analiza instrumentală și datarea cu radioizotopi, managementul deșeurilor radioactive în contextul economiei circulare etc.

Enumerăm în continuare obiectivele specifice fiecărui domeniu discutat mai sus:

Obiectivele **domeniului structurii, dezintegrărilor și reacțiilor nucleare** pentru perioada prezentului plan de dezvoltare sunt:

- Înțelegerea structurii, dinamicii și a mecanismelor de reacție nucleare prin studii experimentale exploatând atât acceleratoarele locale (complexul de tandemuri și sursa γ a ELI-NP) cât și infrastructura la care avem acces în cadrul colaborărilor internaționale (CERN, FAIR, ILL (*Institut Laue-Langevin*), GANIL (*Grand Accélérateur National d'Ions Lourds*), EC-JRC (European Commission - *Joint Research Center*) etc.);
- Descrierea unitară a structurii și dinamicii nucleelor exotice (proprietăți spectrale, deformare, etc.), studiul simetriilor fundamentale și a interacțiilor efective nucleon-nucleon prin studii teoretice cu scopul corelării rezultatelor experimentale cu predicții teoretice relevante pentru structura și dinamica nucleară și în astrofizică;
- Rezolvarea autoconsistentă a problemei de *many-body* aplicată la descrierea radioactivității nucleare;
- Înțelegerea rolului interacției de *pairing* proton-neutronic și a corelațiilor de tip α în nuclee cu $N=Z$;
- Dezvoltarea infrastructurii de cercetare locale: (1) dezvoltarea unor noi sisteme de detecție la acceleratoarele existente și modernizarea acestora, (2) dezvoltarea infrastructurii pentru producerea de fascicule radioactive și (3) definirea caracteristicilor unui nou accelerator de particule stabile având ca scop creșterea energiei maxime și diversificarea fasciculelor disponibile;
- Generarea experimentală de date nucleare de structură și reacție și extinderea capacității de evaluare a acestora.

Obiectivele **domeniului fotonicii nucleare** se concentrează pe interacțiunea fotonilor cu materia, următoarele subiecte fiind considerate ca prioritare:

- Înțelegerea mecanismelor interacțiunii laser-materie cu ajutorul tehnicilor experimentale nucleare și dezvoltarea de modele teoretice care să permită simularea cu mare precizie a proceselor fizice implicate;
- Identificarea de noi scheme de accelerare a particulelor cu ajutorul laserelor de mare putere cu impulsuri foarte scurte și dezvoltarea de fascicule intense de particule pentru experimente de fizică nucleară și aplicații;
- Studiul reacțiilor nucleare de interes astrofizic în condiții de plasmă generată cu laseri de mare putere pentru evaluări ale secțiunii de reacție sau ale modificărilor timpilor de viață ai stărilor nucleare în condiții similare celor din mediul stelar;
- Înțelegerea proceselor de nucleosinteză folosind reacții fotonucleare;
- Înțelegerea fenomenelor exotice din nuclee precum violarea parității în interacțiunea nucleară, stările nucleare de tip *scissors*, rezonanțe gigant dipolare și *Pygmy* etc. prin reacții fotonucleare;
- Generarea de impulsuri de neutroni intense și de durată scurtă cu aplicații în studiul reacțiilor de captură neutronică relevante pentru evoluția stelară;
- Studii avansate de electrodinamică cuantică vizând fenomene precum reacția radiației sau procese Breit-Wheeler de creare a perechilor electron - pozitron în vid;
- Detectarea de candidați pentru *dark energy* prin metoda *4-wave mixing* în vid cu lasere de mare putere.

Obiectivele **fizicii nucleare ultra-relativiste** sunt:

- Înțelegerea proprietăților materiei deconfinată în contextul valorificării noului regim energetic unic al LHC la CERN. Participare consistentă la programul cuprinzător de studiere a ciocnirilor proton-proton, proton-nucleu și nucleu-nucleu la mai multe energii, folosind detectorul ALICE de la LHC.

- Studiul materiei hadronice cu densitate barionică foarte mare în experimentul CBM de la FAIR. Studiul asupra naturii tranziției de fază de la materia hadronică la o fază deconfinată și asupra existenței unui punct critic în diagramă de fază a materiei formate din constituenți a căror interacție este determinată de forța tare;
- Dezvoltarea unor arhitecturi noi de detectori rapizi, cu granularitate mare și rezistenți la radiații pentru identificarea electronilor și hadronilor;
- Dezvoltarea electronicii *front-end* la nivel de circuite integrate și sisteme de procesare și stocare a datelor experimentale;
- Menținerea și dezvoltarea performanțelor sistemelor de calcul distribuit de tip *Grid*;
- Inițierea și dezvoltarea unei rețele eficiente de excelență la nivel național bazată pe cercetări vizibile și competitive ale unor grupuri formate din diferite institute și universități naționale, din toată țara, pe obiectivele științifice de interes comun, folosind infrastructura locală.

Obiectivele **fizicii particulelor** sunt:

- Continuarea implicării consistente în experimentele aflate în derulare la CERN, valorificând la maxim potențialul științific oferit de acceleratorii LHC / HL-LHC și SPS și optimizările succesive ale detectorilor ATLAS (*A Toroidal LHC Apparatus*), LHCb (*Large Hadron Collider beauty*) și NA62, prin studii dedicate măsurătorilor de mare precizie a parametrilor Modelului Standard (SM) și prin studierea implicațiilor fenomenologice ale fizicii dincolo de SM;
- Finalizarea cu succes a proiectelor dedicate îmbunătățirii caracteristicilor funcționale ale echipamentelor realizate pentru programele și fazele de UPGRADE ale detectorilor ATLAS și LHCb, precum și lărgirea tematicilor de dezvoltare tehnologică abordate;
- Dezvoltarea unor tehnologii inovatoare, implementări, metode, produse, modele și prototipuri hardware și software dedicate participării la marile proiecte internaționale de la CERN - ECFA Detector R&D și *Future Circular Collider* (FCC), conform obiectivelor Strategiei Europene a Fizicii Particulelor și Programului Tehnologic Strategic de Cercetare-Dezvoltare pentru Viitoarele Experimente de la CERN;
- Continuarea participării la experimentele SIDDHARTA2 de la LNF și PANDA de la FAIR.

Obiectivele **astrofizicii nucleare și studiului astroparticulelor** experimentale sunt:

- Determinarea unor secțiuni eficace de importanță în astrofizică prin măsurători directe în instalațiile proprii (acceleratorul de 3 MV al IFIN-HH, laboratorul de fond ultra-scăzut μBq din salina Slănic, instalația de coincidențe BEGA, o linie nouă de fascicul la acceleratorul de 3 MV) sau prin metode indirecte folosind fascicule radioactive sau stabile în institute din străinătate (Texas A&M University, RIKEN, GSI/FAIR, LNS (*Laboratori Nazionali del Sud*) Catania);
- Investigarea teoretică a dinamicii stelare pe baza ecuației de stare a materiei nucleare în condiții extreme de densitate și temperatură; studiul efectelor posibile ale gradelor de libertate exotice, cum ar fi hiperonii, rezonanțele barionice, mezonii sau o eventuală tranziție către faza de quarcuri deconfinat;
- Înțelegerea originii și propagării astroparticulelor utilizând sisteme hibride de detecție.

Pe lângă obiectivul esențial de a elabora, dezvolta și testa modele și metode teoretice pentru înțelegere fundamentală a fizicii nucleului atomic și particulelor elementare având ca scop explicarea fenomenelor observate și ghidarea efortului experimental pe întreg domeniul de energii de interacție, **fizica teoretică** are un număr de obiective specifice:

- Aplicarea unor metode specifice geometriei diferențiale, spinoriale și algebrice în studiul fizicii dincolo de Modelul Standard;
- Identificarea și utilizarea simetriilor extinse adecvate pentru descrierea fenomenelor la energii ultraînalte sau la distanțe foarte mari;
- Obținerea de rezultate exacte și elaborarea de aproximații pentru spații și ecuații discrete sau continue, relevante în fizica clasică și cuantică;

- Studiul fundamentelor mecanicii cuantice, al corelațiilor, resurselor cuantice și protocoalelor de procesare și transmitere a informației cuantice;
- Modelarea proprietăților materialelor emergente și a sistemelor mezoscopice și nanoscopice pentru cercetare fundamentală și aplicații pentru dispozitive ultrasensibile;
- Elaborarea de metode numerice avansate, integrarea și optimizarea rezultatelor matematice în rezolvarea problemelor de fizică.

Fizica computațională și tehnologiile informaționale aplicate în studiul materiei subatomice și condensate au următoarele obiective:

- Dezvoltarea infrastructurii hardware și software de calcul avansat, extinderea aplicării tehnologiilor Cloud și Big Data, pentru a satisface cerințele marilor colaborări internaționale la care participă institutul, cum sunt *Worldwide LHC Computing Grid* și *European Open Science Cloud*;
- Aplicarea metodelor fizicii computaționale, inclusiv tehnici de învățare automată, pentru investigarea proprietăților sistemelor subatomice și condensate, a metamaterialelor, nanostructurilor semiconductoare și a biomoleculelor conectate la sisteme anorganice;
- Realizarea de servicii și aplicații informatice pentru modelarea și simularea computațională a sistemelor biomoleculare complexe și pentru suportul activității de analiză a datelor de secvențiere de nouă generație;
- Contribuția la noile inițiative TIC (inter)naționale prin integrarea depozitului digital de date științifice publice al institutului în infrastructura europeană pentru știința deschisă și dezvoltarea rețelei naționale de comunicații cuantice.

Biofizica celulară și moleculară, radiobiologia și radioecologia au următoarele obiective:

- Continuarea și extinderea studiilor de radiobiologie privind efectele radiațiilor ionizante (în particular fascicule de ioni accelerați) asupra celulelor tumorale și sănătoase cu scopul optimizării metodelor de radioterapie;
- Utilizarea unor factori precum medicamente, peptide, compuși naturali, nanomateriale, singuri sau în combinație cu radiațiile ionizante, în modele biologice *in vitro* și *in vivo* cu scopul eficientizării și personalizării acțiunii antitumorale;
- Dezvoltarea și adaptarea capacităților de cercetare la necesitățile/cerințele radiologice privind impactul radiologic și sanitar al activităților nucleare asupra mediului ambiental. Continuarea dezvoltării modelelor de analiză a datelor privind impactului radiologic;
- Extinderea cartografierii teritoriului României privind radioactivitatea solurilor; utilizarea izotopilor radioactivi ca trasori în managementul solurilor; măsurări γ spectrometrice în fond de radiații ultrascăzut;
- Dezvoltarea competențelor de monitorizare radiologică pentru personal.

Domeniul **aplicațiilor multidisciplinare** ale fizicii și ingineriei nucleare are următoarele obiective:

- Dezvoltarea de aplicații ale fasciculelor de ioni accelerați în știință, educație și tehnologie dedicate obținerii de radiofarmaceutice inovative pentru imagistică și radioterapie, dezvoltării tehnologice de dispozitive experimentale cu fascicule de ioni accelerați: spectrometrul ToF-ERDA, noi linii de fascicul, baterii cu hidrogen, detectori de radiații etc, precum și cu aplicabilitate în cercetarea științifică: utilizarea radioizotopilor pentru determinarea vârstei prin datare, aplicarea tehnicilor nucleare în științele mediului și materialelor, în domeniul resurselor minerale, arheometrie etc.;
- Proiectarea, dezvoltarea și implementarea unui centru multidisciplinar de cercetare și dezvoltare tehnologică pentru obținerea de noi materiale compozite cu proprietăți avansate, dezvoltarea și implementarea de metode noi de testare, dezvoltare de aplicații ale tehnicilor nucleare și biotehnologii pentru agricultură, reciclare și mediu. Acestea se vor baza atât pe utilizarea metodelor analitice convenționale cât și pe tehnici bazate pe utilizare de fasciculele de ioni accelerați;
- Dezvoltarea aplicațiilor iradierilor tehnologice în industrii cu valoare adăugată mare;
- Dezvoltarea și aplicarea tehnicilor nucleare în caracterizarea și conservarea patrimoniului cultural;
- Dezvoltarea metrologiei radiațiilor ionizante;

- Dezvoltarea și implementarea de teste de duranță pentru materiale cu aplicații în energia nucleară (fiziune, fuziune), în domeniul aerospațial și în experimente de fizica energiei înalte;
- Dezvoltarea de tehnologii și practici ingineresti privind depozitarea și depozitarea definitivă a deșeurilor radioactive pentru care nu sunt disponibile în prezent soluții adecvate sau mature industrial și optimizarea celor existente;
- Dezvoltarea criminalisticii nucleare având la bază progresele în instrumentația analitică și în tehnicile de evaluare a datelor cu scopul reducerii amenințărilor la adresa securității nucleare;
- Dezvoltarea de aplicații bazate pe radiația cosmică secundară (tomografie miuonică în vederea investigării structurii interne a structurilor geologice și antropice de mari dimensiuni, studii de mediu etc.).

Obiectivele programului **de cercetare aplicativă ancorate în capacitățile unice ale ELI-NP** sunt:

- Dezvoltarea de noi tehnologii cu potențial pentru aplicații medicale, cum ar fi: radioterapia cu ioni, imagistica cu raze X cu contrast de fază, generarea de radioizotopi de interes medical;
- Utilizarea fasciculelor de radiație γ cu putere de penetrare mare pentru imagistică și analiză elementală nedistructivă în aplicații industriale și de securitate nucleară;
- Studiul materialelor cu ajutorul pozitronilor generați de fascicule γ de energie înaltă;
- Înțelegerea comportamentului materialelor în câmpuri intense de radiații mixte generate de lasere de mare putere.

Capitolul III - Analiza SWOT științifică și financiară

Factori interni	
Puncte tari	Puncte slabe
• Caracterul multidisciplinar al activității: combinarea activităților de cercetare fundamentală și aplicativă reprezintă singura cale realistă de a genera inovația. • Resursa umană deja existentă foarte bine pregătită. • Infrastructura unică. Operarea unor instalații experimentare și/sau sisteme de detecție cu caracteristici unice pe plan mondial. • Tradiția de excelență.	• Accesul limitat la resursa umană. Numărul relativ mic de conducători de doctorat raportat la numărul total de cercetători. • Riscul de a considera că accesul la infrastructura de cel mai înalt nivel poate înlocui efortul individual și creativitatea.
Factori externi	
Oportunități	Pericole
• Globalizarea activităților de cercetare în general și în domeniile majore specifice institutului (fizica nucleară, fizica energiilor înalte, fotonica) în particular având ca rezultat selectarea temelor științifice abordate. • Perspectivele și speranța de reformă a sistemului de cercetare național având ca obiectiv stimularea performanței științifice.	• Resursa umană disponibilă este redusă și insuficient calificată. • Finanțarea, rămâne impredictibilă și discontinuă. • Specificul domeniului fizicii nucleare, în care mediul economic național și chiar mondial nu permite decât într-o măsură limitată transferul tehnologic direct.

Capitolul IV - Infrastructura de cercetare-dezvoltare-inovare. Exploatare și dezvoltare.

Infrastructura de cercetare existentă în IFIN-HH cuprinde un număr de șapte instalații mari precum și un număr semnificativ de instalații medii și mici. În prezentul plan de dezvoltare strategică vom descrie principalele direcții de dezvoltare în perioada 2025-2030 ale marilor instalații experimentale exploatare de IFIN-HH:

Sistemul de laseri de mare putere instalați la ELI-NP, operațional deja la începutul acestei perioade, trebuie să exploateze avantajul de a reprezenta cel mai puternic sistem de lasere din lume. În particular, experimentele desfășurate la puterea maximă de 10 PW au un caracter de unicitate pe plan mondial; sistemul va trebui folosit mai ales pentru experimente de fizică fundamentală la limita cunoașterii umane.

Sursa γ a ELI-NP va deveni operațională în cursul anului 2026 și va reprezenta, de asemenea, o instalație experimentală cu caracteristici excepționale. La orizontul anului 2030 se vor desfășura primele experimente.

Sistemul de acceleratoare Tandem va fi exploatat atât pentru experimente de fizică fundamentală cât și aplicată. În particular, Tandem-ul de 9 MV va continua să furnizeze fascicule stabile în paralel cu continua îmbunătățire a sistemelor de detecție disponibile în zona experimentală (spectrometrul ROSPHERE și nu numai). Totuși, până în anul 2030 trebuie declanșată discuția privind perspectiva înlocuirii Tandem-ului de 9 MV cu o altă instalație capabilă să furnizeze fascicule de ioni stabili. În perioada aceasta, comunitatea științifică va trebui să definească parametrii unei astfel de noi instalații experimentale pornind de la problemele științifice cheie deschise în domeniul structurii și dinamicii nucleare.

În perioada 2025-2030 IFIN-HH își propune de asemenea dezvoltarea unei **instalații capabile să producă fascicule radioactive, RIF@IFIN-HH**. Unicitatea acestora se bazează pe utilizarea tehnologiilor de ultimă oră în separarea și extragerea fragmentelor de fotofisiune (celule criogenice cu gaz, covoare de radio-frecvență) pentru a optimiza eficacitatea de producție a fasciculelor radioactive, în special a elementelor refractare. Mai multe stații experimentale echipate cu sisteme de detecție eficiente vor permite studiul proprietăților acestor nuclee dar și studii aplicative în domeniul materialelor. În paralel, o stație de iradiere va fi dedicată producerii prin reacții fotonucleare de izotopi radioactivi cu potențial teragnostic pentru dezvoltarea de noi produse radiofarmaceutice.

Acceleratorul Ciclotron TR19 (CCR) este destinat producerii de radiofarmaceutice și realizării de experimente în domeniul biofizicii. În perioada descrisă de actualul plan, echipa ce exploatează ciclotronul va continua să exploreze și să dezvolte tehnici inovative de aplicare a fizicii nucleare în domeniul biologic și medical. Ca un element de noutate, va fi încurajată colaborarea cu instituții medicale abilitate să implementeze studii clinice în vederea testării noilor radiofarmaceutice propuse de colectivul de cercetători de la CCR.

Folosind o sursă radioactivă de mare putere, **IRASM** va continua să fie exploatat atât pentru aplicații cu caracter economic și cultural cât și pentru studii privind efectul radiațiilor γ asupra diverselor structuri (materiale, componente electronice etc.).

Stația de Tratare a Deșeurilor Radioactive (STDR) și Depozitul Național de Deșeuri Radioactive de Joasă și Medie Activitate Băița-Bihor (DNDR) asigură în România ciclul complet de gestionare a deșeurilor radioactive instituționale, din afara ciclului combustibilului nuclear.

Dezvoltarea acestui domeniu este susținută de faptul că România își propune reducerea emisiilor de CO₂ prin implementarea accelerată a energiei nucleare dar și de faptul că în următorii 15-20 de ani o serie de instalații nucleare și radiologice puse în operare în secolul XX vor fi dezafectate iar deșeurile radioactive rezultate vor trebui gestionate în siguranță.

IFIN-HH operează un **sistem *Grid*** extins exploatat în primul rând pentru analiza fluxurilor de date generate la CERN, în special la experimentele de la LHC. Pe lângă dezvoltarea acestui sistem astfel încât să poată face față nevoilor extinse ale marilor colaborări internaționale, IFIN-HH își propune să continue dezvoltarea unui sistem care permite accesul facil al altor cercetători (din cadrul institutului și nu numai) la o putere de calcul semnificativă gestionată centralizat la nivelul institutului.

În finalul acestui foarte concis plan de exploatare și dezvoltare al marilor instalații operate de IFIN-HH până în anul 2030, menționăm că mentenanța, operarea și dezvoltarea instalațiilor medii și mici este un proces continuu și esențial pentru funcționarea institutului și păstrarea caracterului multidisciplinar al activității sale științifice.

Capitolul V - Strategia de resurse umane.

La sfârșitul anului 2024 IFIN-HH își desfășura activitatea cu un număr de 386 de cercetători (293 atestați, 15 asistenți postdoctorali și 78 asistenți doctorali) și 292 personal auxiliar dintr-un total de 914 angajați. Numărul relativ mare al personalului auxiliar în comparație cu alte institute naționale se justifică prin prezența în cadrul institutului a 7 instalații și obiective speciale de interes național alături de un număr mult mai mare de instalații experimentale cu relevanță ridicată. Dimensiunea personalului administrativ se datorează suprafeței terenului și numărului mare de clădiri aflate în administrarea institutului. Pe parcursul ultimilor 10 ani s-a remarcat o creștere constantă a numărului total de angajați (aproximativ 20%), în special în prima jumătate a decadei, fapt explicat într-o mare măsură prin demararea proiectului ELI-NP. O dinamică notabilă a avut-o numărul de asistenți de cercetare care practic s-a dublat în perioada menționată. Numărul de asistenți postdoctorali, o poziție inclusă relativ recent în structura de personal, a rămas în continuare modest, motivul derivând din specificul național care oferă posibilitatea obținerii unei poziții permanente la scurt timp după finalizarea studiilor doctorale. Singura categorie la care s-a remarcat o modificare negativă substanțială în ultimii 5 ani este numărul de conducători de doctorat care a scăzut cu aproximativ o treime din cauza pensionărilor.

Evoluția numărului de angajați în ultima decadă este însă în măsură să conducă la o concluzie excesiv de optimistă. Excluzând subunitatea ELI-NP, numărul angajaților a rămas aproximativ constant, fapt care s-a datorat în parte extinderii unor contracte peste limita legală de pensionare în lipsa unor alternative consistente de noi angajări fie a unor tineri absolvenți, fie a unor cercetători repatriați din diaspora. Estimăm că aceste două surse se vor dovedi insuficiente pentru a evita scăderea numărului angajaților pe parcursul următoarei decade. Generațiile tinere care optează să studieze fizica în România sunt semnificativ mai puțin numeroase. Contribuția diasporei, care a fost în mare parte formată din cercetători cu studiile efectuate în anii '90, va deveni din ce în ce mai modestă, lucru observat deja. Instituțiile de prestigiu occidentale s-au confruntat cu această problemă în urmă cu 30 de ani. Soluția - atragerea de cercetători străini - a fost deja implementată cu succes în cadrul proiectului ELI-NP și izolat în celelalte departamente ale IFIN-HH. Această abordare trebuie generalizată. Atuurile de care se poate face uz sunt integrarea cât mai vizibilă în comunitatea internațională prin participarea la mari colaborări experimentale (fapt deja implementat, dar practic încă nefolosit la potențialul său pentru atragerea de cercetători tineri la nivel de asistent postdoctoral sau superior) și nivelul salarial competitiv.

Pe plan local, atragerea tinerilor către o carieră în cercetare se face din perioada ciclului de licență, în strânsă colaborare cu universitățile partenere (în principal Universitatea din București și Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București), prin efectuarea stagiilor de practică în laboratoarele IFIN-HH. Tot în acest scop au fost incluse în curriculum cursuri de specializare pe tematici de interes direct (de exemplu fotonica nucleară). Ulterior, studenții au posibilitatea de a efectua lucrarea de licență sau master în cadrul institutului, lista de tematici disponibile fiind actualizată continuu. Institutul este parte a unor școli doctorale înființate în parteneriat cu Universitatea din București, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București și Universitatea Tehnică Darmstadt. Studenții doctoranzi sunt sprijiniți prin decontarea unor taxe administrative cât și prin oferirea unui loc de cazare în căminul de doctoranzi al institutului. O componentă esențială pentru satisfacerea necesarului de personal specializat pe termen lung din surse proprii este nevoia de stopare sau chiar inversare a declinului numărului de conducători de doctorat.

IFIN-HH este gazda unor importante instalații experimentale, unice la nivel național și competitive pe plan mondial. În contextul în care școlile tehnice sunt practic inexistente, singura modalitate viabilă de a asigura personal specializat pentru operarea și mentenanța echipamentelor este pregătirea lor locală. Ne propunem reconstrucția segmentului personalului auxiliar de tip tehnicieni prin întărirea și

extinderea capacității de educare a Centrului de Pregătire și Specializare în Domeniul Nuclear. Se impune de asemenea inițierea unor demersuri concentrate pentru obținerea sprijinului autorităților în a reforma acest sector deosebit de important al educației.

Pe parcursul ultimei decade evaluarea personalului de specialitate s-a efectuat anual, metodologia fiind una scientometrică. Recompensarea personalului performant s-a făcut folosind această informație în procesul de negociere salarială. În ultimii ani această abordare a fost parțial suspendată, metoda scientometrică pierzând din relevanță deoarece riscă să recompenseze cantitatea în detrimentul calității. Au fost inițiate discuții în cadrul forurilor de conducere pentru elaborarea unui nou Regulament de evaluare a cercetătorilor care să diminueze ponderea evaluărilor scientometrice. Regulamentele și criteriile de promovare au fost actualizate recent menținând standarde ridicate, fiind aliniate la normele și practicile mondiale în domeniu, astfel încât să asigure calitatea rezultatelor științifice și recunoașterea internațională a expertizei specialiștilor institutului.

IFIN-HH se implică în mod activ în dezvoltarea carierelor personalului. Există un sprijin consistent atât la nivel administrativ, cât și tehnic pentru: susținerea manifestării active a grupurilor de cercetare din institut în cadrul marilor colaborări europene și internaționale și încurajarea participării institutului la programele și proiectele de cercetare dezvoltate în parteneriat cu instituții de cercetare de prestigiu; stimularea diseminării rezultatelor cercetării; examene de promovare în grad regulate; recompensare salarială motivantă a cercetătorilor participanți în proiecte câștigate prin competiție.

Se vor continua eforturile de promovare a beneficiilor unei cariere științifice la nivelul societății. Din această categorie menționăm evenimentele anuale „Noaptea Cercetătorilor Europeni” și „Școala de vară de știință și tehnologie” organizate de IFIN-HH în colaborare cu instituții partenere. De asemenea, există disponibilitate permanentă de a organiza tururi ghidate ale instalațiilor experimentale de excepție ale institutului (ansamblul de acceleratoare Tandem și laserul de mare putere din cadrul ELI-NP) precum și a expoziției DUROCERN (dedicată contribuțiilor românești la CERN) pentru grupe de studenți și elevi.

Capitolul VI - Plan de măsuri. Planificare operațională.

Fiecare dintre obiectivele științifice prezentate în capitolele anterioare, ca și dezvoltarea infrastructurii de cercetare necesită o planificare detaliată, sarcină care revine fiecărui departament în parte. În acest capitol nu ne referim la aceste planuri specifice, ci la acele măsuri ce vizează deficiențele și pericolele identificate în analiza SWOT prezentată anterior.

Probabil cel mai important pericol identificat, *accesul limitat la resursa umană* necesită următoarele măsuri:

- În vederea extinderii colaborării cu universitățile, cercetătorii principali vor fi încurajați să obțină abilitarea de a conduce studenți la doctorat. Stimularea cercetătorilor abilitați să îndrume studenți doctorali.
Responsabil: Direcția științifică. Termen: permanent.
- Încurajarea stagiilor de practică în IFIN-HH, în particular pentru studenții din universitățile din România. Actualizarea anuală a ofertei de practică în cadrul IFIN-HH și extinderea acordurilor cu universități.
Responsabil: Direcția științifică. Termen: luna martie a fiecărui an.
- Integrarea în proiecte cu finanțare europeană pentru susținerea rețelelor de instituții de cercetare care asigură specializare și mobilitate pentru studenți doctoranzi și post-doctorali (programe MCSA).
Responsabil: Direcția științifică. Termen: permanent.

Finanțarea insuficientă și impredictibilă necesită următoarele măsuri:

- Încurajarea cercetătorilor să aplice la apeluri de proiecte cât mai variate cu un accent mai mare pe programele cu finanțare europeană. Identificarea și prezentarea oportunităților variate de finanțare a activității științifice către cercetători.
Responsabil: Direcția științifică. Termen: permanent.
- Identificarea mai activă a oportunităților de colaborare cu mediul privat.
Responsabil: Compartimentul de Transfer Tehnologic. Termen: 2028.
- Finalizarea unui proiect pentru asigurarea unei părți din necesarul de energie electrică din surse regenerabile.
Responsabil: Director tehnic, Termen: 2026.
- *Riscul* identificat în analiza SWOT de a considera că *accesul la infrastructura de cel mai înalt nivel poate înlocui efortul individual și creativitatea* va fi combătut prin încurajarea cercetătorilor de a se implica în proiecte multiple, colaborări internaționale, propuneri de experimente la instalații din străinătate. Totuși, trebuie evitată dispersarea excesivă a efortului. Vom prefera implicarea activă, cu impact științific evident, și nu participarea pasivă în grupuri mari.
Responsabil: Consiliul Științific + Direcția științifică, Termen: 2028.
- Analiza SWOT identifică, de asemenea, *pericolul legat de faptul că transferul tehnologic direct în domeniul nuclear este dificil*. Valorificarea inovației în acest domeniu este esențială (energetică, medicină etc.) dar necesită timp îndelungat, de ordinul deceniilor. Pe termen scurt cercetarea fundamentală produce însă prestigiu și vizibilitate internațională și educație la nivel local. Totuși este necesară consolidarea activității în domeniul transferului tehnologic prin încurajarea producerii de brevete și valorificarea acestora.
Responsabil: Compartimentul de Transfer Tehnologic. Termen: 2030.

În vederea dezvoltării infrastructurii de cercetare se preconizează următoarele măsuri:

- Realizarea activităților necesare pentru finalizarea cu succes a proiectului ELI-NP, inclusiv a sistemului sursei γ .

Responsabil: Director subunitate ELI-NP. Termen: 2026.

- Derularea etapelor necesare pentru decomisionarea ciclotronului U120-1 și pentru pregătirea spațiului astfel eliberat în vederea instalării echipamentelor pentru producerea de fascicule radioactive accelerate.

Responsabil: Director cu securitatea nucleară. Termen: 2030

- Continuarea demersurilor necesare pentru obținerea unei finanțări pentru realizarea noii clădiri a Centrului de cercetare pentru științele vieții, mediului și schimbărilor climatice.

Responsabil: Director tehnic, Șefii de departament, Termen: permanent.

Având în vedere schimbările în curs ale mediului de cercetare din România, lipsa de predictibilitate a finanțării necesare pentru implementarea măsurilor de mai sus, dar și caracterul inerent dinamic al activității de cercetare, prezentul plan poate suferi modificări și actualizări de parcurs.

Capitolul VII - Concluzii

La orizontul anului 2030, Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară "Horia Hulubei" își va întări poziția de lider în cercetarea românească și cea de contribuitor major la nivel european. Beneficiind de efortul de reformă a mediului de cercetare la nivel național și de faptul că este deja complet integrat în sistemul de cercetare european, IFIN-HH se poate dezvolta accelerat cu condiția să aibă acces la resursă umană competentă și finanțare suficientă și predictibilă.

Având în vedere dimensiunea sa, calitatea resursei umane existente și infrastructura unică de care dispune, până la începutul deceniului patru al secolului XXI institutul își va consolida statutul de emblema al României, contribuind semnificativ la imaginea Europei ca pol de bunăstare bazat pe cunoaștere științifică și progres tehnologic.