

**Contractor: INCDFM**

**Cod fiscal: 9068280**

***PROPUNERE PROIECT COMPONENT  
PC4***

*(Structura cadru - document: margini 2 cm, 1,2 randuri, font arial 11p)*

**Denumirea Programului Nucleu: Noi dezvoltări in domeniul materialelor avansate cu potential aplicativ, in corelare cu provocările societale si domeniile de specializare inteligenta (MAVPA-PROSOCSPIN)**

**Denumirea obiectivului: Sinergii intre cercetarea avansata in domeniul Fizicii si promovarea Fizicii in societate**

**Domeniul și subdomeniile de specializare inteligentă/politici publice cărora li se adresează propunerea de proiect:**

Correspondenta cu SNCISI: **OS1.1- Creșterea numărului și a competențelor științifice ale cercetătorilor în ecosistemul de CDI din România prin formarea și atragerea talentelor în cercetare; OS.1.2. Asigurarea tranziției către știința deschisă și facilitarea progresului în cercetarea științifică de excelență.**

Specializări inteligente: 5. Materiale funcționale avansate: (5.1) Optoelectronica; (5.4) Materiale pentru aplicații electronice, electrice, fotonice, magnetice și în senzorială.

Agenda Strategică de cercetare: *Domeniul: Digitalizare, industrie și spațiu*

IMPACT: Calcul de nouă generație (edge, neuromorfic, bioinspirat, nano, quantum, fonic, HPC); Materiale avansate, nanomateriale

**Tipul activității de cercetare – dezvoltare, inovare și demonstrare<sup>1</sup>:** cercetare fundamentala, dezvoltare experimentală, cercetare industrială

**Rezumatul Propunerii de proiect (max ½ pagină):**

Proiectul își propune să deruleze activități de dezvoltare și demonstrare care să susțină misiunea și obiectivele Centrului Internațional de Formare și Cercetare Avansată în Fizică (CIFRA)-, filiala a INCDFM, Centru C2 UNESCO, înființat pe baza Acordului dintre guvernul României și UNESCO, care își desfășoară activitatea pe trei direcții: i) cercetare fundamentală în domenii de nișă actuale; ii) formare profesională avansată în fizică și domenii conexe și iii) diseminare și activități de outreach.

Concret proiectul își propune:

1) Inițierea și dezvoltarea de cercetări teoretice avansate în domeniul dezintegrării beta, care să ducă la rezultate științifice în cercetarea din fizică nucleară și astrofizică și care să fie folosite și în aplicații practice cum ar fi metrologia radionuclizilor, evaluarea radioactivității totale a surselor nucleare sau perfecționarea aparatului medical folosit în radioterapie. 2) Pregătirea/formarea avansată a tinerilor pentru abordarea unor tematici de cercetare moderne. În particular se vor elabora tutoriale dedicate stadiului actual de dezvoltare al calculatoarelor și simulărilor cuantice, o tematică actuală, în concordanță cu programul educațional al UE pentru tehnologii cuantice (Quantum Technology Education Project – QTedu) demarat în 2020. 3) Realizarea unor “demonstratoare” pentru publicul larg, utilizabile atât în scop didactic, în cadrul prezentărilor către studenții la nivel de master sau doctorat care își finalizează studiile sau lucrează în cazul diverselor proiecte de cercetare, dar și pentru transferul de cunoștințe pentru publicul larg la evenimente externe (de tip saloane, expoziții, școli de vară, “Noaptea Cercetătorilor”, “Școala altfel” etc.) dar și în cadrul prezentărilor către studenții care își finalizează studiile sau lucrează în proiecte de cercetare.

Pe lângă acestea ne propunem și organizarea de evenimente științifice (școli, workshop-uri, conferințe, lectii publice, etc.) pentru perfecționare profesională, diseminarea rezultatelor obținute și promovarea fizicii în societate.

## 1. Descrierea științifică (maxim 15 pagini)

### 1.1. Prezentarea scopului proiectului

*(se vor descrie rezultatele ce urmează a fi obținute (modele teoretice, modele experimentale, produse, tehnologii, servicii, soluții, etc) în corelare cu țintele propuse)*

Tematica abordată în acest proiect se încadrează în direcțiile tematice și obiectivele strategice (OS) cuprinse în Planul Strategic de Dezvoltare al INCDFM (PN-OS4: Dezvoltarea de sinergii între cercetarea avansată în domeniul Fizicii și promovarea Fizicii în societate). La nivelul activităților de cercetare, prezentul proiect se subsumează direcției 4 din Planul Strategic de Dezvoltare al INCDFM și corespunde și obiectivului strategic **OS5** din plan (transformarea INCDFM și CIFRA într-un centru de elită pentru pregătirea și formarea profesională a tinerilor cercetători din țară și străinătate). Vor fi abordate tematici de modelare la frontiera cunoașterii, dar vor fi desfășurate și activități în direcția implementării conceptului de Știința Deschisă în INCDFM.

Scopul proiectului este de a obține soluții, modele teoretice și rezultate pe următoarele direcții/teme:

**Tema 1: Cercetare avansată.** Aici se are în vedere dezvoltarea de coduri numerice performante (produse informatice) pentru calculul ratelor de dezintegrare beta și beta dubla pentru diferite tranziții și nuclee și obținerea de rezultate științifice publicabile în reviste ISI cu FI ridicat și prezentabile la conferințe internaționale importante

**Tema 2: Formare profesională în domeniul tehnologiilor cuantice.** Atingerea unui nivel adecvat de pregătire în domeniul tehnologiilor cuantice reprezintă o provocare actuală, în contextul dezvoltării rapide a acestora. Ca răspuns preliminar la această problemă vom concepe un set de tutoriale dedicate prin care studenții/tinerii cercetători să devină familiari cu metodele specifice calculului cuantic și cu platformele/modelele experimentale de implementare a acestei tehnologii. Se vor prezenta în detaliu și într-un mod cât mai accesibil metode, soluții și produse informatice pentru modelarea/simularea numerică a unor sisteme și procese fizice complexe.

**Tema 3: Promovarea fizicii în societate.** Această direcție va avea în vedere construcția și utilizarea unor demonstratoare de micro- și nano- caracterizare și manipulare pentru publicul larg.

### 1.2. Prezentarea obiectivelor proiectului

*(se vor avea în vedere următoarele: corelarea și contribuția la obiectivele stabilite în propunerea de Program Nucleu, gradul de originalitate și noutate al propunerii față de situația curentă în domeniu la nivel național și internațional, țintele propuse a fi atinse, fezabilitatea proiectului)*

---

<sup>1</sup> Se menționează tipul/tipurile de cercetare – dezvoltare, inovare și demonstrare în conformitate cu Regulamentul UE nr. 651/2014 al Comisiei de declarare a anumitor categorii de ajutoare compatibile cu piața internă, în aplicarea art. 107 și 108 din Tratat ([www.renasc.eu/documente/Exceptari\\_2014\\_ro\\_863ro.pdf](http://www.renasc.eu/documente/Exceptari_2014_ro_863ro.pdf))

In continuare prezentam obiectivele propuse in cadrul fiecarei directii, motivatia acestora si situatia curenta in domeniu.

**Obiective Tema 1: a) Studiul dezintegrarilor beta si al proceselor de captura electronica asociate; b) Investigarea violarii invariantei Lorentz in studiul dezintegrarii beta duble pe stari excitate**

*Situatia curenta in domeniu:* Procesul de captura electronica (EC) este un proces nuclear de dezintegrare prin care un nucleu atomic capteaza un electron din paturile atomice. Detectia acestor procese se face prin masuratori ale radiatiilor gama emise de nucleul fiica daca acesta ramane in stari excitate dupa dezintegrare si prin masuratori ale radiatiilor X si electronilor Auger emisi in urma proceselor de rearanjare a paturilor atomice ale atomului fiica, daca electronul captat nu provine din patura cea mai exterioara. Un studiu recent al eficientei de masurare a acestor procese arata ca aceasta scade considerabil la Q-values foarte joase [1.1], prin urmare o descriere precisa a ratelor de EC in care sa se tina seama de rearanjarilor electronilor din paturile atomice, inclusiv cele superioare, este foarte necesara. Pe langa metrologia radionuclizilor, studiul proceselor de EC in dezintegrari beta este foarte util si in alte aplicatii. De exemplu, electronii Auger de joasa energie emisi prin dezintegrarea izotopilor de viata scurta, sunt ingrediente cheie in radioterapie, in timp ce izotopii de viata lunga isi gasesc utilitatea in estimarea radioactivitatii totale a siturilor nucleare in situatii cand alte tehnici, precum spectroscopia gama, nu sunt posibile. Alte aplicatii vizeaza domeniul astrofizicii, unde cunoasterea precisa a ratelor de dezintegrari beta de toate tipurile sunt esentiale in descrierea mediilor stelare. In prezent codurile uzuale de calcul sunt LogFT si EC-capture care au insa limitari. De exemplu ele se limiteaza la calculul ratelor de captura electronica numai pentru tranzitii beta permise si primele doua unic interzise. Probabilitatea de captura electronica per patura electronica este determinata separat pentru paturile K si L, in timp ce contributiile de pe paturile M si superioare sunt calculate global. Calculul considera numai paturi inchise si utilizeaza ca input valorile tabulate pentru densitatea radiala a functiei de unda electronice (f.u.e) la suprafata nucleului si pentru parametrii de suprapunere si corectii de schimb [1.2].

Noile metode presupun obtinerea functiilor de unda electronice exacte, atat pentru stari legate cat si stari in continuu [1.3-1.5]. In proiectul de fata ne propunem dezvoltarea unei metode mai precise de calcul a ratelor de EC. In prima etapa vom dezvolta un cod de calcul pentru obtinerea f.u.e., bazat pe pachetul RADIAL pentru rezolvarea unei ecuatii Dirac-Hartree-Fock-Slater intr-un potential Coulombian obtinut dintr-o distributie de sarcina de tip Fermi. Codul va calcula amplitudinile Coulombiene si corectiile de overlap si de schimb din functiile de unda. De asemenea, va calcula si factorii spatiu de faza pentru fiecare patura si sub-patura electronica precum si rapoartele de probabilitate de captura electronica dintre doua paturi diferite.

Apoi, in etapa a 2-a vom calcula ratele de EC de pe diferite paturi atomice pentru un numar mare de nuclee de interes pentru diferite domenii.

Dezintegrarea beta dubla este un proces prin care un nucleu par-par de masa  $A$  se transforma intr-un alt nucleu par-par cu aceeasi masa sarcina atomica schimbata cu doua unitati. Confirmat experimental pentru 11 nuclee este modul de dezintegrare cu emisie de doi neutrini ( $2\nu\beta\beta$ ), prezis in cadrul Modelului Standard (MS). Din punct de vedere teoretic interesant este si modul de dezintegrare beta dubla fara emisie de neutrini ( $0\nu\beta\beta$ ) (ce poate fi explicat numai de modele mai generale decat MS, care accepta neconservarea numarului leptonic), care ar confirma masa diferita de zero a neutrinelor si caracterul lor de tip Majorana. Procesul de dezintegrare beta-dubla permite multe investigatii de fizica dincolo de limitele MS, printre ele si investigarea violarii invariantei Lorentz

(LIV) [1.7]. Parametrii ce controleaza LIV au fost constransi recent din masuratorile spectrelor energetice ale electronilor emisi din dezintegrari  $2\nu\beta\beta$  intre stari fundamentale [1.8]. De asemenea a fost propusa si o metoda de strangere a parametrilor LIV din corelatiile unghiulare dintre electronii emisi [1.9, 1.10]. Avand in vedere interesul (atat experimental, cat si teoretic) crescut in domeniu, vom propune extinderea investigatiilor LIV si in cazul tranzitiilor dublu-beta pe stari excitate si vom dezvolta un cod de calcul pentru obtinerea spectrelor energetice si a factorilor spatiu de faza pentru aceste tranzitii, cu si fara includerea deviatiilor datorate LIV. Aceste rezultate vor fi utilizate pentru strangerea parametrilor LIV in cadrul experimentelor ce masoara tranzitii  $2\nu\beta\beta$  din stari fundamentale pe stari excitate.

## **Obiectiv Tema 2: Dezvoltarea de tutoriale dedicate platformelor fizice pentru implementarea tehnologiilor cuantice si metodelor teoretice asociate**

*Situatia curenta in domeniu:* Maturizarea si extinderea iminenta a tehnologiilor cuantice [2.1] dincolo de cadrul academic ridica problema pregatirii unei forte de munca (asa-numita quantum workforce) capabila sa le utilizeze in diverse sectoare ale industriei si economiei [2.2]. De asemenea, la nivelul Uniunii Europene a fost demarat in 2020 un program educational pentru tehnologii cuantice (Quantum Technology Education Project – QTedu) [2.3]. In cadrul acestei teme vom elabora tutoriale dedicate in principal stadiului actual de dezvoltare al *calculatoarelor si simularilor cuantice* [2.4].

Corelatiile cuantice (entanglement) reprezinta un fenomen fara echivalent in fizica clasica, avand implicatii majore asociate modului de interpretare al mecanicii cuantice [2.5]. Mai mult, la nivelul aplicatiilor, corelatiile cuantice intre *perechi de fotoni* constituie cea mai importanta resursa pentru implementarea protocoalelor de comunicatii cuantice [2.6] precum si pentru realizarea repetitoarelor cuantice. Spre deosebire de comunicatiile cuantice in care unitatea de informatie este fotonul, in cazul calculatoarelor cuantice entanglement-ul trebuie realizat intre starile cuantice ale unor sisteme "solide" (solid-state qubits). Pornind de la aceasta cerinta, realizarea fenomenului de entanglement multipartit in retele de ioni trapati (trapped ions) [2.7], ansambluri de spini [2.8] sau centri de culoare [2.9] reprezinta o directie de cercetare experimentală si teoretică de mare actualitate pentru dezvoltarea calculatoarelor si retelelor cuantice (Quantum Internet).

In esenta, un calculator cuantic presupune un cadru experimental care sa asigure urmatoarele conditii:

- i) "prepararea" unei perechi de nivele cuantice care sa formeze asa-numitul bit cuantic (qubit);
- ii) posibilitatea de a masura/citi aceste stari fara a pierde coerenta cuantica;
- iii) metode de a cupla mai multi qubits pentru a implementa asa-numitele operatii/porti cuantice.

O formulare mai precisa se regaseste in criteriile enuntate de DiVincenzo [2.10]. Indeplinirea acestor criterii motiveaza o buna parte din studiile experimentale pentru nanosisteme si nanostructuri raportate in ultimii 20 ani [2.11,2.12,2.13]. In ultimii ani s-au inregistrat progrese remarcabile in realizarea si operarea calculatoarelor cuantice pe baza de qubits *supraconductori*, atat Google cat si IBM raportand crestere constante ale numarului de qubits accesibili. De asemenea, exista rezultate promitatoare si pentru calculatoarele cuantice cu qubits localizati in doturi cuantice de siliciu [2.14] (in acest caz qubit-ul este numit *semiconductor*, dupa natura platformei fizice in care este initializat si manipulat).

Cele doua clase de qubits (supra- si semi-conductori) prezinta similaritati dar si diferente importante, atat din punct de vedere al tehnicilor experimentale de manipulare dar si in ceea ce

priveste metodele teoretice complementare de descriere a tipurilor de cuplaj qubit-qubit si a dinamicii acestora. In cadrul proiectului vom elabora tutoriale pentru fiecare tip de qubit, cu scopul de a pune la dispozitia masteranzilor si asistentilor de cercetare o baza de pornire (in prezent inexistentă) pentru studii ulterioare.

Una dintre principalele motivatii de dezvoltare a calculatoarelor cuantice consta in elaborarea de solutii si metode mai performante de modelare/simulare numerica a unor sisteme si procese fizice complexe. In acest scop problema fizica de interes trebuie in primul rand "tradusa" intr-o secventa complexa de operatii fizice elementare efectuate asupra setului de  $N$  qubits ai calculatorului cuantic. Aceasta combinatie complexa de operatii este descrisa schematic de asa-numitul *circuit cuantic*, care poate fi vazut ca un analog al diagramelor Feynman din fizica teoretica. Rezultatele furnizate de "executarea" circuitului cu ajutorul calculatorului cuantic reprezinta o *simulare cuantica* pentru problema propusa. Cu toate acestea resursele de calcul cuantic sunt inca limitate, chiar si in cazul modelarii sistemelor fizice simple. De aceea s-au dezvoltat asa-numitele *simulatoare de circuite cuantice*. Aceste simulatoare reprezinta defapt coduri numerice (produse informatice) scrise in limbaje de programare specifice care, executate pe calculatoare clasice, reproduc rezultatul obtinut prin programarea unui calculator cuantic (fara a avea insa si rapiditatea acestuia).

In ultimii ani domeniul *simulatoarelor cuantice* a cunoscut o dezvoltare consistenta, atat la nivelul metodelor teoretice [2.4,2.15-2.17] dar si la nivelul asa-numitelor limbaje de programare cuantica sau pachete de software cuantic. In particular, in anul 2020 divizia de inteligenta artificiala a Google a lansat pachetul OpenFermion (<https://quantumai.google/openfermion>) care alaturi de platforma Cirq permite deja modelarea unor sisteme si probleme fizice complexe.

Din pacate, mediul de cercetare din Romania este putin familiarizat cu tehnologiile cuantice, fapt constatat si in analiza efectuata in cadrul Programului Sectorial PS 2/2021 "Elaborarea strategiei pentru dezvoltarea capabilitatilor nationale in domeniul comunicatiilor cuantice (QTSTRAT)" in care INCDFM este partener alaturi de Universitatea Babes-Bolyai. Aceasta stare de fapt motiveaza suplimentar tematica propusa.

De asemenea, la nivel national materialul didactic dedicat calculului cuantic este in prezent insuficient, fiind focalizat mai degraba pe prezentarea algoritmilor consacrați (Shor, Grover, Deutsch-Zsoza), relevanti pentru aplicatiile in domeniul securitatii cibernetice. In schimb, nu exista nici un curs sau tutorial dedicat simulării/modelării unor sisteme fizice prin intermediul unor simulatoare de circuite cuantice existente (de ex. Cirq sau Qiskit). Elaborarea de documentatii specifice si prezentarea metodelor si solutiilor de simulare cuantica studentilor, doctoranzilor sau tinerilor cercetatori constituie tintele definitorii acestei directii a proiectului.

### **Obiectiv Tema 3: Demonstratoare de micro- si nano- caracterizare si manipulare pentru publicul larg.**

*Situatia curenta in domeniu:* La ora actuala, la un nivel international, se cauta metodele pentru un mai bun transfer al cunoasterii din domeniul cercetării si al stiintelor exacte catre publicul larg si mai ales catre noua generatie. O mai buna adaptare notiunilor si conceptelor este necesara, iar o metoda eficienta de invatare este prin noi demonstratoare adaptate din domeniul cercetării de frontiera.

Microscopul de forta atomica (AFM) de exemplu este o unealta esentiala pentru explorarea proprietatilor de material la scara nanometrica si chiar subnanometrica. Asa cum inventarea telescopului in secolul XVII a revolutionat intelegerea universului, descoperirea microscopului de

forța atomică în anii '80 a permis dezvoltarea unor domenii științifice ce includ nanostiintele și nanotehnologiile. În ciuda interesului pentru aceste dispozitive, prețurile rămân încă prohibitive pentru publicul larg.

La fel, un alt exemplu ar fi sistemele robotice de micro-manipulare, unde apar o serie de dificultăți inerente la această scară micrometrică, interesante de studiat, dar unde de asemenea se pot găsi potențiale aplicații interesante în special în domeniul bio-medical. Pentru aceste sisteme de asemenea nu există aplicații portabile, de înaltă dexteritate, și de un preț scăzut astfel încât să permită demonstrarea principiilor de funcționare și a posibilităților de utilizare în fața unui public larg. Există deja câteva realizări în domeniu [3.1 – 3.3] materializate în publicații și brevete, având co-autor pe unul din membrii echipei proiectului.

### **1.3. Contribuția științifică și tehnică, metodologia de implementare**

*(se vor avea în vedere: noutatea soluțiilor propuse în proiect, prezentarea metodologiei de cercetare - descrierea fazelor și activităților necesare atingerii obiectivelor proiectului, diagrama GANTT, milestones, prezentarea infrastructurii existente pentru realizarea proiectului, dezvoltarea infrastructurii dacă este necesar pentru realizarea proiectului, aspecte de etică acolo unde este cazul).*

Soluțiile propuse în prezentul proiect se adresează celor trei direcții descrise mai sus (cercetare avansată, formare în domeniul tehnologiilor cuantice și promovarea fizicii în societate). Fazele proiectului sunt prezentate mai jos, alături de metodologie.

[Faza 4.1.1 \(2023\): Construirea unui cod de calcul pentru obținerea funcțiilor de undă electronice pentru stări legate și continue.](#)

Obiective: Obținerea unor funcții de undă electronice exacte, ingrediente cheie în calculul funcțiilor Fermi, a ratelor de dezintegrare beta și EC și a corecțiilor de “exchange” și “overlap” ce trebuie incluse pentru o precizie mai bună a calculelor.

Milestones: Construirea unor coduri numerice performante pentru calculul efectelor atomice ce influențează ratele de dezintegrare beta și procesele de captură electronică.

Metodologie: Pentru realizarea obiectivului se va dezvolta un cod numeric pentru obținerea funcțiilor de undă electronice bazat pe pachetul RADIAL [1.4] pentru rezolvarea unei ecuații Dirac-Hartree-Fock-Slater într-un potențial Coulombian obținut dintr-o distribuție de sarcină de tip Fermi. Interacțiunile dintre electroni vor fi luate în considerare printr-un câmp mediu. Funcțiile de undă electronice vor fi calculate pentru nucleele părinte și fiica luând în considerare și vacanța creată după captură electronului. Codul va folosi metode numerice avansate de integrare, interpolare și estimare a erorilor din pachetul Wolfram Mathematica. Vor fi de asemenea create scripturi “bash shell” pentru utilizarea pachetelor RADIAL [1.6] și pentru eficientizarea stocării datelor privind funcțiile de undă electronice în stări legate și continue. Apoi, codul va fi testat și comparat cu alte calcule obținute cu utilizarea unor coduri diferite.

[Faza 4.1.2 \(2024\): Calculul ratelor de captură electronică în dezintegrări beta ale nucleelor cu  \$Z\[4-99\]\$ .](#)

Obiective: Estimarea mai precisa a ratelor de EC prin includerea contributiilor din paturi superioare

Milestones: Descrierea procesului de EC prin includerea contributiilor date de toate paturile electronice.

Metodologie: Pentru acest, codul dezvoltat anterior va fi folosit pentru calculul functiilor Fermi, ratelor EC si corectiilor de "exchange" si "overlap" pentru un numar mare de nuclee din intervalul  $Z = [4, 99]$ . Calculele vor fi efectuate pentru capturi de electroni din diferite paturi, inclusiv exterioare. Rezultatele vor fi comparate cu cele experimentale existente sau vor fi folosite in predictii pentru cazurile cand acestea nu exista inca.

Elementele de noutate pentru aceste etape constau in i) metoda noastra foloseste un potential de tip Coulombian imbunatatit care ia in considerare marimea finita a nucleului atomic (nucleul nu mai este considerat un punct incarcat electric inconjurat de un potential electrostatic uniform) iar forma potentialului este dat de o distributie Fermi realista a densitatii de protoni din nucleu. ii) exista posibilitatea de calcul direct a contributiilor de captura electronica individuale din paturi si subpaturi, inclusiv de pe cele superioare si introducerea lor in rata totala de EC. In celelalte coduri de calcul mai vechi, din literatura, se puteau calcula numai contributiile de captura electronica totale din paturile superioare paturilor K si L; iii) calcularea pentru prima data a factorilor spatiu de faza si a spectrelor energetice ale electronilor emisi din dezintegarea  $2\nu\beta\beta$  de pe stare fundamentala pe stari excitate luand in considerare efectele LIV.

Mentionam ca membrii echipei care se vor ocupa de aceasta directie au experienta in calcule similare, rezultatele obtinute fiind publicate [1.3-1.5] si prezentate in conferinte internationale.

[Faza 4.1.3 \(2026\): Investigarea violarii invariantei Lorentz \(LIV\) prin studiul dezintegrarilor beta-duble pe stari excitate.](#)

Obiective: Obtinerea spectrelor energetice si a factorilor spatiu de faza in cazul dezintegrarii  $2\nu\beta\beta$  din stari fundamentale pe stari excitate, cu si fara influentele LIV.

Milestones: Furnizarea ingredientelor teoretice (factori de faza, spectre electronice) necesare analizei datelor experimentale ce pot evidentia eventuale incalcarii ale invariantei Lorentz in tranzitiile beta-duble cu emisie de neutrini, pe stari excitate.

Metodologie: Pentru realizarea obiectivului se va dezvolta un cod numeric pentru calcularea factorilor spatiu de faza si a spectrelor energetice ale electronilor emisi din dezintegarea  $2\nu\beta\beta$  de pe stare fundamentala pe stari excitate. Acest cod va primi ca parametrii de intrare numarul atomic si numarul de masa al nucleului fiica, impreuna cu functiile de unda ale electronilor emisi, calculate prin codul dezvoltat in cadrul obiectivului 1.1. Pentru evaluarea numerica a integrarelor ce stau la baza spectrelor si a factorilor spatiu de faza se va folosi metoda adaptiva de cuadraturi Gauss-Kronrod. De asemenea, se va dezvolta formalismul teoretic ce descrie modificarile aduse de LIV in dezintegarea  $2\nu\beta\beta$  de pe stare fundamentala pe stari excitate.

Elementele de noutate pentru aceste obiective ce vizeaza partea de cercetare avansata constau in i) posibilitatea de calcul direct a contributiilor de captura electronica din paturi superioare si introducerea lor in rata totala de EC si ii) calculul contributiilor de captura electronica totale cu includerea si a celor din paturi superioare paturilor K si L; iii) Imbunatatirea metodei de calcul a spectrelor energetice ale electronilor emisi si a factorilor de faza pentru dezintegarea  $2\nu\beta\beta$  de pe



stare fundamentala pe stari excitate, in cadrul SM, si calcularea pentru prima data a acelorasi cantitati luand in considerare efectele VIL.

In continuare prezentam fazele si metodologia de implementare a tematicii de formare profesionala, respectiv de dezvoltare a competentelor de cercetare in domeniul tehnologiilor cuantice prin tutoriale dedicate.

#### Faza 4.2.1 (2023): Instalarea unui kit educational pentru studiul corelatiilor cuantice (entanglement).

Obiective: 1. Asigurarea conditiilor optime de functionare a demonstratorului de entanglement (kit educational QuED - Quantum Entanglement Demonstrator - deja achizitionat de la firma QuTools) la sediul Centrului. 2. Elaborarea unui scurt tutorial dedicat fenomenului de entanglement si platformelor fizice in care poate fi observat, in conformitate cu cele mai noi rezultate experimentale. 3. Organizarea de seminarii si sesiuni de laborator cu studenti si asistenti de cercetare. 4. Atragerea studentilor interesati de o cariera de cercetare in domeniu. CIFRA are personal calificat pentru a coordona lucrari de licenta, masterat si doctorat.

Milestones: 1. Atingerea unei vizibilitati mai mari de 90% a fenomenului de entanglement. 2. Verificarea violarii inegalitatii Bell cu ajutorul kit-ului experimental.

Metodologie: Se va instala un demonstrator (montaj experimental) pentru fenomenul de entanglement (corelatii cuantice), care va fi ulterior accesibil studentilor, masteranzilor si tinerilor cercetatori din instituturile de cercetare de pe platforma Magurele, impreuna cu un tutorial dedicat corelatiilor cuantice si rolului acestora in tehnologiile cuantice. Se vor organiza: i) un seminar introductiv de corelatii cuantice intreperechi de fotoni; ii) sesiuni de laborator in care se va demonstra experimental fenomenul de entanglement si se va pune in evidenta violarea inegalitatilor Bell. In functie de existenta finantarii necesare se are in vedere si up-gradarea echipamentului cu alte module care sa permita si realizarea unor experimente mai complexe (de ex. experimente de interferenta Michelson, Handbury-Brown & Twiss, distribuirea de chei cuantice de criptare – quantum key distribution QKD).

#### Faza 4.2.2 (2024): Tutorial dedicat simularilor cuantice si limbajelor de programare cuantica.

Obiective: 1. Prezentare introductiva a circuitelor cuantice. 2. Prezentarea metodelor teoretice necesare pentru simularile cuantice asociate unor probleme specifice. 3. Prezentarea produselor informatice (quantum software) si a unor aplicatii relevante. 4. Redactarea si diseminarea tutorialului.

Milestones: 1. Clasificarea portilor cuantice. 2. Clasificarea algoritmilor cuantici in functie de aplicatiile vizate. 3. Clasificarea limbajelor de programare cuantica.

Metodologie: Se vor prezenta in detaliu aspectele teoretice aflate la baza modelarii unui sistem fizic cu ajutorul unui calculator sau simulator cuantic. Se vor discuta unele limbaje de programare cuantica open-source (de ex. Cirq) si se vor prezenta aplicatii relevante pentru optica cuantica si fizica starii condensate (de ex. testarea unor solutii de simulare cuantica pentru sisteme de qubits sau a dinamicii acestora). Tutorialul va fi incarcat pe pagina CIFRA siva putea fi prezentat intr-o serie de seminarii. Se are in vedere si atragerea de studenti si masteranzi pentru elaborarea unor lucrari de licenta sau master.

#### Faza 4.2.3 (2025): Tutorial dedicat platformelor fizice pentru calcul cuantic I: qubits supraconductori.

Obiective: 1. Prezentarea diferitelor tipuri de qubits cuantici supraconductori si a metodelor teoretice de descriere a dinamicii acestora. 2. Corelarea solutiilor si metodelor teoretice cu rezultatele experimentale.

Milestones: 1. Sectiune de tutorial dedicata platformelor experimentale pentru qubits supraconductori. 2. Sectiune de tutorial dedicata metodelor teoretice.

Metodologie: Elaborarea tutorialului prevazut pentru acest obiectiv presupune o abordare dubla: i) prezentarea cadrului teoretic pe care se bazeaza metodele experimentale de control al qubit-ului de tip supraconductor si a mecanismelor de cuplaj intre mai multi qubits; ii) selectarea si prezentarea celor mai recente solutii experimentale asociate problemelor de calcul cuantic si simulare cuantica. Tutorialul va fi incarcat pe pagina CIFRA si va putea fi prezentat si intr-o serie de seminarii. Se are in vedere si atragerea de studenti sau masteranzi pentru elaborarea unor lucrari de licenta sau master.

#### [Faza 4.2.4 \(2026\): Tutorial dedicat platformelor fizice pentru calcul cuantic II: qubits semiconductori](#)

Obiective: 1. Prezentarea diferitelor tipuri de bits cuantici semiconductori si a metodelor teoretice de descriere a dinamicii acestora. 2. Corelarea solutiilor si metodelor teoretice cu rezultatele experimentale.

Milestones: 1. Sectiune de tutorial dedicata platformelor experimentale pentru qubits semiconductori. 2. Sectiune de tutorial dedicata metodelor teoretice.

Metodologie: Elaborarea tutorialului prevazut pentru aceasta etapa presupune o abordare dubla: i) prezentarea cadrului teoretic pe care se bazeaza metodele experimentale de control al qubit-ului semiconductor si a mecanismelor de cuplaj intre mai multi qubits de acest tip; ii) selectarea si prezentarea celor mai recente solutii experimentale asociate problemelor de calcul cuantic si simulare cuantica. Tutorialul va fi incarcat pe pagina CIFRA si va putea fi prezentat si intr-o serie de seminarii. Se are in vedere si atragerea de studenti sau masteranzi pentru elaborarea unor lucrari de licenta sau master.

*Elementele de noutate* legate de realizarea fazelor F4.2.1-F4.2.4 constau in primul rand in faptul ca, din cate cunoastem, astfel de tutoriale dedicate platformelor fizice pentru bits cuantici cat si simulatoarelor cuantice nu exista inca in programele de studiu din invatamantul superior. Prin urmare consideram ca se vor dovedi deosebit de utile pentru dezvoltarea competentelor specifice pentru tinerii vor sa abordeze acest domeniul tehnologiei cuantice. In al doilea rand, metodele si solutiile teoretice prezentate in cadrul tutorialului sunt foarte actuale si vor putea fi folosite pentru noi modelari ale unor sisteme cuantice hibride precum si a dinamicii acestora.

Mentionam de asemenea ca exista deja experienta in elaborarea de tutoriale, anterior creandu-se unele tutoriale dedicate metodelor teoretice avansate folosite in optica cuantica si descrierea sistemelor cuantice deschise. Ele se gasesc ca open-source pe site-ul CIFRA.

#### [Faza 4.3.1 \(2025\) Configurarea unei platforme de tip demonstrator din domeniul caracterizarii de tip AFM si a micro-manipularii, la distanta sau prin contact.](#)

Obiectiv: Realizarea unor demonstratoare pentru publicul larg, utilizabile la evenimente externe (de tip saloane, expozitii, scoli de vara, noaptea cercetatorilor, scoala altfel etc.) dar si in cadrul prezentarilor catre studentii la nivel de master sau doctorat care isi finalizeaza studiile sau lucreaza in cazul diverselor proiecte de cercetare.

Milestones: Constructia si utilizarea la diferite evenimente, unui demonstrator pentru caracterizarea de micro/nano structuri.

Metodologie: Pornind de la anumite lucrari deja realizate [3.1-3.3] vor fi evaluate etapele pentru adaptarea si reconfigurarea a minim doua platforme de tip demonstrator din domeniul caracterizarii de tip AFM si a micro-manipularii, la distanta sau prin contact. Tipul de actionare privilegiat va fi de tip magnetic si optional piezoelectric. Etapele cuprind modelarea actuatorilor, proiectarea circuitelor electronice de comanda si achizitie de la senzori, programarea modulelor cu microcontroller sau calculator imbarcat, programarea interfetei cu utilizatorul. In cadrul institutului vor fi identificate posibile aplicatii pentru aceste demonstratoare, de exemplu caracterizarea unor micro-structuri sau esantioane nano-structurate realizate in Institut. Se urmareste o realizare cat mai completa a platformelor, pana la etape TRL suficient de ridicate pentru utilizarea directa de catre publicul larg.

Elementul de noutate in crearea acestor platforme de demonstratie consta in aflarea solutiilor tehnologice de reducere a costurilor si dimensiunilor echipamentelor, fara a compromite semnificativ performantele acestora, de exemplu prin utilizarea elementelor de tip open-source si proiectarea/fabricarea proprie a unor sub-ansamble sensibile.

**Prezentarea infrastructurii existente:** La CIFRA exista urmatoarea infrastructura de calcul pentru efectuarea calculelor numerice necesare proiectului:

- 2 noduri cu cate 36 de nuclee (cores) fiecare (72 threads) si memorie DDR4 de 256GB, plus 100Gb/s infiniband si retea 10Gb/s
- 1 nod cu 40 nuclee (80 threads) si memorie DDR4 de 256GB, plus 100Gb/s infiniband
- storage cu 4 nuclee (4 threads) si 16GB de memorie DDR3 memory, plus 40Gb/s infiniband.

Printre pachetele de programe folosite la modelarea si simularea unor procese fizice complexe se numara: Intel OneAPI, Quantum Espresso suite, Mathematica Wolfram software.

**Diagrama GANTT** asociata proiectului este prezentata mai jos:

Temă / fază	2023				2024				2025				2026			
F4.1.1																
F4.1.2																
F4.1.3																
F4.2.1																
F4.2.2																
F4.2.3																
F4.2.4																
F4.3.1																

#### 1.4. Structura echipei de cercetare

*(se va prezenta structura intregii echipe de cercetare; se va descrie rolul a maxim 5 membri cheie ai echipei proiectului; se vor prezenta și justifica posturile vacante pe proiect; se vor anexa CV-ul extins al responsabilului proiectului și CV-urile sintetice ale persoanelor cheie prezentate pe maxim ½ pagină)*

Echipa de cercetare implicata in acest proiect cuprinde 2(3) CS1, 1 CS2, 3 CS3, 1 CS, 3 ACS (asistent cercetare stiintifica) si 1 IDT2 si este structurata pe grupuri responsabile cu realizarea celor 6 obiective,/etape, dupa cum urmeaza:

**Fazele 4.1.1-4.1.3:** echipa coordonata de S. Stoica (CS1) din care fac parte A. Neacsu-CS3, O. Nitescu - ACS, S. Ghinescu - ACS, V. Sevestrean -ACS). Activitatile vor fi de documentare, programare, testare si rulare programe, interpretarea rezultatelor, publicarea lor. De asemenea aceasta echipa va fi implicata si in organizarea de manifestari stiintifice pe tematici de fizica nucleara, fizica particulelor elementare, astrofizica, fizica neutrinilor, etc.

**Fazele 4.2.1 – 4.2.4:** echipa coordonata de V. Moldoveanu (CS1 – persoana cheie in prezentul proiect), atat pe partea de redactare a tutorialelor cat si pe partea de diseminare si organizare a seminarilor si cursurilor pentru studenti, masteranzi etc. Realizarea etapelor si indeplinirea obiectivelor vor fi asigurate de o echipa formata din 5 persoane: 1 CS I (V. Moldoveanu), 1 CS II (M. Tolea), 2 CS III (B. Ostahie si M. Nita) si 1 CS (R. Dragomir). Implementarea demonstratorului de entanglement si prezentarea montajului experimental vor fi asigurate de CS III B. Ostahie. Tematica de simulari si limbaje de programare cuantice va fi dezvoltata in principal de CS III M. Tolea si CS Radu Dragomir. Precizam ca unii dintre membrii echipei au colaborat deja, in cadrul unui proiect CIFRA anterior, la elaborarea de tutoriale dedicate metodelor teoretice avansate folosite in optica cuantica si descrierea sistemelor cuantice deschise.

**Faza F4.3.1** va fi coordonata de I. Ivan-IDT2

## REFERINTE :

- [1.1] R. Coulon et al, Metrologia **57**, 035009 (2020).
- [1.2].N. Grove, M. Martin, Atomic Data and Nuclear Data Sheets, **10**, 205 (1971)
- [1.3]. S. Stoica, M. Mirea, Phys. Rev. C **88**, 037303 (2013).
- [1.4] S. Stoica, Chinese Phys. C **43**, 064108(2019).
- [1.5] O. Nitescu et al., Universe **7**, 147 (2021).
- [1.6] F. Salvat, J. M. Fernandez-Varea, W. Williamson Jr, Comp. Phys. Commun. **90**, 151 (1995).
- [1.7] D. Colladay and V. A. Kostelecky, Phys. Rev. D **58**, 116002 (1998).
- [1.8] V. A Kostelecky and N. Russell, Rev. Mod. Phys. **83**, 11 (2011).
- [1.9] O. Nitescu, S. A. Ghinescu, M. Mirea and S. Stoica, Phys. Rev. D **103**, L031701 (2021).
- [1.10] S. A. Ghinescu, O. Nitescu and S. Stoica, Phys. Rev. D **105**, 055032 (2022).
- [2.1] Quantum Flagship Strategic Research Agenda 2020, [https://qt.eu/app/uploads/2020/04/Strategic\\_Research- Agenda\\_d\\_FINAL.pdf](https://qt.eu/app/uploads/2020/04/Strategic_Research- Agenda_d_FINAL.pdf).

- [2.2] M. J. B. Fox, B. M. Zwickl, and H. J. Lewandowski, *Preparing for the quantum revolution: What is the role of higher education?*, Phys. Rev. Phys. Educ. Res. **16**, 020131 (2021). [2.3] 2021 QTedu - *Coordination and support action for Quantum Technology Education*  
<https://qt.eu/about-quantum-flagship/projects/education-coordination-support-actions/>.
- [2.4] I. M. Georgescu, S. Ashhab, and F. Nori, *Quantum simulation*, Rev. Mod. Phys. **86**, 153 (2014).
- [2.5] R. Horodecki, P. Horodecki, M. Horodecki, and K. Horodecki, *Quantum entanglement*, Rev. Mod. Phys. **81**, 865 (2009).
- [2.6] Z-S. Yuan, X-H. Bao, C-Y. Lu, J. Zhang, C-Zhi Peng, J-W. Pan, *Entangled photons and quantum communication*, Physics Reports **497**, 1 (2010).
- [2.7] N. Friis et al., *Observation of Entangled States of a Fully Controlled 20-Qubit System*, Phys. Rev. X **8**, 021012 (2018).
- [2.8] M. T. Madzik et al., *Precision tomography of a three-qubit donor quantum processor in silicon*, Nature **601**, 348 (2022).
- [2.9] C. E. Bradley et al., *A Ten-Qubit Solid-State Spin Register with Quantum Memory up to One Minute*, Phys. Rev. X **9**, 031045 (2019).
- [2.10] D. P. DiVincenzo, *The Physical Implementation of Quantum Computation*, Fortschr. Phys. **48**, 771 (2000).
- [2.11] L. M. K. Vandersypen and M. A. Eriksson, *Quantum computing with semiconductor spins*, Physics Today **72**, 38 (2019).
- [2.12] S. Pezzagna and J. Meijer, *Quantum computer based on color centers in diamond*, Applied Physics Reviews **8**, 011308 (2021).
- [2.13] M. Kjaergaard, M. E. Schwartz, J. Braumüller, P. Krantz, J. I.-J. Wang, S. Gustavsson, and W. D. Oliver, *Superconducting Qubits: Current State of Play*, Annu. Rev. Condens. Matter Phys. **11**, 369 (2020).
- [2.14] S. C. J. Philips, et al., *Universal control of a six-qubit quantum processor in silicon*, Nature **609**, 919 (2022).
- [2.15] M. Steudtner and S. Wehner, *Quantum codes for quantum simulation of fermions on a square lattice of qubits*, Phys. Rev. A **99**, 022308 (2019).
- [2.16] A. Macridin, P. Spentzouris, J. Amundson, and R. Harnik, *Electron-Phonon Systems on a Universal Quantum Computer*, Phys. Rev. Lett. **121**, 110504 (2018).
- [2.17] A. Miessen, P. J. Ollitrault, and I. Tavernelli, *Quantum algorithms for quantum dynamics: A performance study on the spin-boson model*, Phys. Rev. Research **3**, 043212 (2021).
- [3.1] I. A. Ivan, C. Petit, I. V. Gurgu, and R. Toscano, *AFM Nanocyte – Development of an education oriented high resolution profilometer*, IFAC-Pap., vol. 50, no. 1, pp. 2385–2390, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.ifacol.2017.08.430.
- [3.2] C. Petit, M. Kechiche, I. A. Ivan, R. Toscano, V. Bolcato, E. Planus & F. Marchi, *Visuo-haptic virtual exploration of single cell morphology and mechanics based on AFM mapping in fast mode*, J. Micro-Bio Robot., vol. 16, pp. 147–160, Dec. 2020, doi:10.1007/s12213-020-001405.
- [3.3] I. A. Ivan, M. Ardeleanu, and V. Despa, *Dispozitiv de actionare magneto-pezoelectric pentru micromanipulare*, Brevet OSIM No. RO129160-A2, Apr. 30, 2015

## 2. Structura bugetului proiectului (maxim 2 pagini)

*(se vor avea în vedere cheltuielile cu salariile, materiile prime și materialele, cheltuieli cu echipamentele și serviciile necesare realizării proiectului, inclusiv de acces la infrastructură, cheltuieli cu deplasări, diseminare, brevetare, cheltuieli de capital, cheltuieli indirecte – corelate cu specificul institutului; corelarea bugetului cu obiectivele proiectului, schema de realizare a proiectului cu evidențierea fazelor și a termenelor de predare a fazelor conform modelelor din tabele anexate)*

Alocarea și folosirea resurselor se va realiza conform obiectivelor/activităților proiectului și sunt menționate în tabelul de mai jos. Bugetul solicitat pentru fiecare categorie de cheltuieli a fost judicios calculat ținând cont de necesitățile materiale și financiare ale proiectului.

Cheltuielile de personal vor asigura plata salariilor și a contribuțiilor la salarii pentru personalul care va lucra la proiect, plățile urmând a fi efectuate în funcție de norma de timp alocată pentru realizarea activităților din schema de realizare a proiectului (atașată mai jos).

Cheltuielile cu logistica vizează: (i) achiziționarea unor noi module pentru kit-ul educational QuED (de ex. module pentru interferența Michelson, Handbury-Brown Twiss sau pentru tomografie cuantică); (ii) dezvoltarea infrastructurii de calcul (cluster și sisteme de calcul individuale).

Cheltuielile cu serviciile vizează asistența tehnică și consultanța pentru audit financiar, dar și costurile pentru prezentarea rezultatelor în reviste *open access*.

Cheltuielile de deplasare vor fi utilizate pentru participarea la conferințe internaționale pentru a prezenta rezultatele obținute. Cheltuielile indirecte vor fi folosite pentru cheltuieli generale de administrație.

**AICI trebuie incluse bugetul și schema de realizare!**

## 3. Managementul riscului (maxim 1 pagină)

*(Riscuri asociate implementării activităților proiectului și plan de contingență, se consideră riscul și impactul asupra execuției proiectului)*

Dezvoltarea programelor de calcul pentru tranzițiile beta, incluzând și procese de captură electronică (studiate în F4.1.2-F4.1.3) nu presupune riscuri profesionale și/sau tehnice de realizare. Echipa responsabilă are suficientă experiență în dezvoltarea de software specific pentru calcule de fizică atomică și nucleară, iar infrastructura de calcul existentă permite efectuarea calculelor propuse.

Elaborarea tutorialelor dedicate tehnologiilor cuantice (prevăzute pentru fazele F4.2.1-F4.2.4) nu poate fi afectată de riscuri severe. În particular, demonstratorul de entanglement (montajul experimental) a fost achiziționat recent. De asemenea, aplicațiile de simulare cuantică și limbajele de programare cuantică presupun folosirea unor pachete software open-source (de ex. OpenFermion sau Cirq), nefiind necesară achiziționarea de licențe de operare. Nu în ultimul rând,

implementarea etapelor proiectului NU afecteaza in mod grav mediul (singurul efect fiind asociat consumului de electricitate aferent simularilor numerice, care in acest caz nu necesita putere de calcul excesiv de mare sau timpi lungi ).

Pentru construirea demonstratorului asumat in faza F4.3.1, de asemenea, nu exista riscuri din punct de vedere profesional. Echipa are experienta anterioara pentru construirea si utilizarea unor demonstratoare similare.

Singurul risc pentru nerealizarea proiectului poate fi de ordin financiar, prin diminuarea/incetarea finantarii contractate.

#### **4. Impactul proiectului (maxim 2 pagini)**

*(se vor evidenta: impactul stiintific, economico-social, de mediu)*

Realizarea obiectivelor din fazele [F4.1.1-4.1.3](#) va avea un impact in cercetarile de fizica nucleara, prin furnizarea unor valori mai precise pentru ratele de dezintegrari beta de diferite tipuri si de captura electronica, recalulate pentru o plaja foarte mare de nuclee. De asemenea vor avea si un impact practic prin perfectionarea metodelor de estimare a radioactivitatii totale a unor situri nucleare si in calibrarea aparaturii medicale utilizata in radioterapie.

Impactul disruptiv al tehnologiilor cuantice este deja dovedit si cu siguranta va fi amplificat de dezvoltarile viitoare. In fapt, aceste tehnologii ofera solutii la probleme societale relevante (de ex. securitate cibernetica, identificarea unor noi capabilitati de calcul in vederea modelarii de materiale noi). Apreciem ca elaborarea tutorialelor (prevazute in obiectivele asociate fazelor [F4.2.1-4.2.4](#)) dedicate platformelor fizice de implementare a tehnologiilor cuantice cat si calculatoarelor cuantice va ridica nivelul de informare si educare inca foarte redus al studentilor si cercetatorilor debutanti.

Din punct de vedere al impactului stiintific, se poate spera ca diseminarea tutorialelor va coagula echipe de cercetare care vor incepe sa dezvolte tematici de cercetare in domeniu si la nivel national si in vederea depunerii de proiecte cu finantare internationala (de ex. consortii QuantERA).

#### **5. Planul de diseminare și exploatare a rezultatelor (maxim 3 pagini)**

*(se vor evidenta: rezultate estimate; efecte ale aplicării rezultatelor estimate; grup țintă al rezultatelor cercetării; modul de diseminare a rezultatelor; modul de exploatare/valorificare a rezultatelor estimate; proprietate intelectuală)*

Ne propunem urmatoarele livrabile si moduri de diseminare si exploatare a rezultatelor obtinute:

[F4.1.1-F4.1.3](#): cod numeric performant de calcul a tranzitiilor beta de diferite tipuri, inclusiv rate de captura electronica. Publicarea a cel puțin un articol intr-o revista ISI relevanta si prezentarea rezultatelor la cel puțin 2 conferinte. Grupurile tinta sunt cele ce efectueaza cercetari de fizica nucleara si cele implicate in zona de aplicatii descrise mai sus.

[F4.2.1-F4.2.4](#): 4 tutoriale open-source, disponibile pe site-ul CIFRA. Cursuri si seminarii cu tineri care doresc sa intre in domeniul tehnologiei informatiei. Grupurile tinta sunt studentii si tinerii cercetatori care vor sa abordeze tematici asociate tehnologiilor cuantice.

**F4.3.1:** Demonstratoare fizice (1-2), manuale utilizare, articole. Folosirea lor la diferite manifestari stiintifice, expozitii, evenimente, pentru promovarea stiintei in societate.

Grupurile tinta sunt: studenti ce vor sa-si aprofundeze cunostiintele de fizica inginerie prin folosirea unor astfel de demonstratoare, precum si publicul larg care in cadrul demonstratiilor facute de membri ai proiectului la diferite evenimente, vor avea posibilitatea sa cunoasca si a inteleaga mai bine aplicatii ale stiintei si utilitatea lor pentru societate.

## **6. Alte informații care promovează / susțin proiectul – dacă este cazul (maxim 1 pagină)**

*(se pot face trimiteri la documente programatice; se pot anexa expresii de interes, scrisori suport etc. )*

## **7. Declarațiile responsabilului de proiect**

Sub sancțiunea descalificării propunerii de proiect, sau după caz, a nulității contractului de finanțare, precum și a consecințelor legale decurgând din furnizarea de date si informații false sau incorecte, declar pe propria răspundere:

1. Proiectul propus nu a fost, nu este finanțat în cadrul altor programe.
2. Datele și informațiile privind propunerea de proiect sunt reale, exacte, corecte.

<sup>1</sup> Se mentioneaza tipul/tipurile de cercetare – dezvoltare, inovare si demonstrare in conformitate cu Regulamentul UE nr. 651/2014 al Comisiei de declarare a anumitor categorii de ajutoare compatibile cu piata interna, in aplicarea art. 107 si 108 din Tratat ([www.renascce.eu/documente/Exceptari 2014 ro\\_863ro.pdf](http://www.renascce.eu/documente/Exceptari%202014_ro_863ro.pdf))





**SCHEMA DE REALIZARE APROIECTULUI COMPONENT ...**

**Faze de realizat pe toată durata proiectului component:**

<b>Nr. crt.</b>	<b>Luna începere/luna finalizare</b>	<b>Denumire fază</b>	<b>Valoare - lei -</b>	<b>Termen de predare</b>	<b>Ținte și indicatori de realizare</b>
<b>ANUL 2023</b>					
1	1 Ianuarie 2023-29 decembrie 2023	Instalarea unui kit educational pentru studiul corelatiilor cuantice (entanglement).	603794	29 decembrie 2023	Tinte: - Instalarea unui demonstrator de entanglement la sediul Centrului.  - Organizarea de seminarii si sesiuni de laborator cu studenti si asistenti de cercetare.  Indicatori de realizare: testare montaj experimental, 3 studii, 2 metode, tutorial disponibil online.
2	1 Ianuarie 2023 – 29 decembrie 2023	Construirea unui cod de calcul pentru obtinerea functiilor de unda electronice pentru stari legate si continue	603795	29 decembrie 2023	Tinte: Construirea unor rutine de calcul pentru rezolvarea ecuatiei Dirac-Hartree-Fock-Slater intr-un potential Coulombian obtinut dintr-o distributie de sarcina de tip Fermi.  Indicatori de realizare: cod numeric
SUBTOTAL anul 2023			1207589		
<b>ANUL 2024</b>					

Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
1	1 Ianuarie 2024 – 31 decembrie 2024	Tutorial dedicat simularilor cuantice si limbajelor de programare cuantica	603794	31 decembrie 2024	<p>Tinte: Redactarea unui tutorial dedicat modelarii unor sisteme fizice si a dinamicii acestora cu ajutorul simulatoarelor de circuite cuantice.</p> <p>Indicatori de realizare: 2 studii, 4 metode, tutorial disponibil on-line.</p>
2	1 Ianuarie 2024 – 31 decembrie 2024	Calculul ratelor de captura electronica in dezintegrari beta ale nucleelor cu $Z[4-99]$	603795	31 decembrie 2024	<p>Tinte: Includerea contributiilor la ratele EC de pe paturi atomice superioare paturilor K si L.</p> <p>Indicatori de realizare: publicarea unei lucrari stiintifice intr-o revista ISI</p>
SUBTOTAL anul 2024			1207589		
<b>ANUL 2025</b>					

Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
1	1 Ianuarie 2025 – 31 decembrie 2025	Tutorial dedicat platformelor fizice pentru calcul cuantic I: qubits supraconductori	603794	31 decembrie 2025	<p>Tinte: Redactarea unui tutorial despre sistemele de qubits supraconductori pentru calcul cuantic.</p> <p>Indicatori de realizare: 2 studii, 4 metode, tutorial disponibil online.</p>
2	1 Ianuarie 2025 – 31 decembrie 2025	Configurarea unei platforme de tip demonstrator din domeniul caracterizării de tip AFM și a micro-manipulării, la distanță sau prin contact.	603795	31 decembrie 2025	<p>Tinte: identificarea soluțiilor tehnologice de reducere a costurilor și dimensiunilor echipamentelor (fără a compromite semnificativ performanțele demonstratorului), de exemplu prin utilizarea elementelor de tip open-source și proiectarea/fabricarea proprie a unor sub-ansamble sensibile.</p> <p>Indicatori de realizare: construirea unei platforme demonstrator</p>
SUBTOTAL anul 2025			1207589		
<b>ANUL 2026</b>					

Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
1	1 Ianuarie 2026 – 31 decembrie 2026	Tutorial dedicat platformelor fizice pentru calcul cuantic II: qubits semiconductori	603794	31 decembrie 2026	Tinte: Redactarea unui tutorial despre sistemele de qubits semiconductori pentru calcul cuantic.  Indicatori de realizare: 2 studii, 4 metode, tutorial disponibil online.
2	1 Ianuarie 2026 – 31 decembrie 2026	Investigarea violării invariantei Lorentz (LIV) prin studiul dezintegrărilor beta-duble pe stări excitate	603795	31 decembrie 2026	Tinte: Calculul spectrelor electronice cu și fără violarea LIV pentru tranziții beta duble pe stări excitate.  Indicatori de realizare: Construirea unui cod de calcul pentru prezicerea teoretică a spectrelor electronice în cazul acestor tranziții  Indicatori: o lucrare publicată într-o revistă ISI.
SUBTOTAL anul 2026			1207589		
<b>TOTAL GENERAL</b>					
			4830356		

**BUGETUL PROIECTULUI COMPONENT (DEVIZ CADRU)**

Categoriile de cheltuieli	Costuri estimative (lei)				
	Anul 2023	Anul 2024	Anul 2025	Anul 2026	TOTAL pe categorii de cheltuieli
1	2	3	4	5	6=2+3+4+5
Cheltuieli salariale (cu încadrare în plafoanele din anexa 3. pct.1 la normele metodologice) și asimilate acestora; contribuții	525265	525265	525265	525265	2101060
Cheltuielile cu deplasările	6498	6498	6498	6498	25992
Cheltuielile cu materialele, materiile prime și obiectele de inventar	72203	72203	72203	72203	288812
Cheltuieli cu serviciile (prevăzute în Hotărârea Guvernului nr.134/2011)	9025	9025	9025	9025	36100
Cheltuieli de capital	81228	81228	81228	81228	324912
Cheltuieli indirecte (valoare estimată pentru acoperirea cheltuielilor indirecte reprezentând maxim 43% din total buget proiect)	513370	513370	513370	513370	2053480
<b>Buget anual</b>	<b>1207589</b>	<b>1207589</b>	<b>1207589</b>	<b>1207589</b>	<b>4830356</b> <b>TOTAL PROIECT</b>

**Nota:** Baza de calcul fundamentează doar valoarea de finanțare, structura cheltuielilor din devizul cadru se întocmește de fiecare institut după necesitățile proprii, cu respectarea procentului de maxim 43% cheltuieli indirecte.