

## PROGRAM COMUN DE CDI

Prezentul Program comun de CDI este incheiat in cadrul Proiectului PCCDI-79/2018 *Dezvoltarea informatiei cuantice si a tehnologiilor cuantice in Romania (QUTECH-RO)* si reprezinta programul de colaborare a partenerilor dupa incheierea proiectului.

### Context

Tehnologiile cuantice reprezinta un domeniu strategic pentru Uniunea Europeana. Atat UE cat si tarile membre investesc masiv in acest domeniu. Exemple reprezentative sunt proiectul european [Quantum Flagship](#) (1 miliard €) si Germania (650 mil. €). Romania a semnat recent aderarea la Infrastructura de Comunicatii Cuantice (European Quantum Communication Infrastructure, [EuroQCI](#)). Toate acestea arata importanta strategica a domeniului pentru cercetarea romaneasca.

Membrii proiectului sunt deja implicați in dezvoltarea domeniului, atat la nivel national (prin participarea la proiecte comune de CDI) cat si pe plan european: directorul de proiect si responsabilii IMT si INCDTIM sunt membri in [Strategic Advisory Board \(SAB\)](#), respectiv [Quantum Community Network \(QCN\)](#), ale Quantum Flagship.

Proiectul QUTECH-RO are continuitate prin existenta rețelei [Romanian Quantum Network \(RoQnet\)](#), forumul comunitatii, și prin derularea unui plan comun de cercetare și dezvoltare, detaliat in continuare.

Directiile de cercetare viitoare au fost definite pornind de la doua idei de baza:

- (i) **aliniera cu agenda strategica europeana** a Quantum Flagship (Fig.1), la care directorul de proiect a contribuit ca membru in SAB;
- (ii) **folosirea expertizei si infrastructurii** existente la nivel national.

Acest lucru va duce, pe de-o parte, la integrarea in principalele directii de cercetare europeana ale viitorului Flagship si pe de alta, la maximizarea expertizei si a infrastructurii de cercetare deja prezente in Romania: *teoria cuantica (informatie cuantica, fermioni Majorana), laseri, fotonica, micro- și nano-tehnologii.*

Directiile strategice propuse sunt:

1. **Teoria informatiei cuantice (IFIN-HH, INCDTIM):** arhitecturi si implementari pentru calcul cuantic (fotonica, fermioni Majorana etc), controlul decoerentei;
2. **Fotonica cuantica integrata (INFLPR, IMT, IFIN-HH):** dispozitive pentru generarea, controlul si detectia starilor cuantice fotonice, folosind multiple grade de libertate (polarizare, vortexuri optice);
3. **Comunicatii cuantice (IFIN-HH, INFLPR, IMT, UPB, INCDTIM):** criptografie si comunicatii cuantice cu multiple grade de libertate, in fibra optica si/sau free-space;
4. **Senzori, imagistica si metrologie cuantica (IFIN-HH, INFLPR, IMT, UPB):** noi

procoale de imagistica cuantica, senzori cuantici, cu aplicatii in imagistica avansata, control nedistructiv, biologie si medicina;

5. **Surse fotonice pentru aplicatii cuantice (INFLPR, IMT, UPB):** noi surse de fotoni (single photon, entangled photons) in fibra optica si integrate;

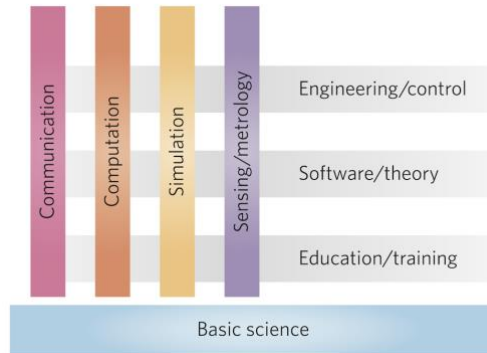


Fig.1: Agenda de cercetare strategica a Quantum Flagship.

6. **Detectori pentru aplicatii cuantice (IMT, INFLPR):** detectori single-photons (chip-integrated, superconducting nanowires etc);

7. **Nanotehnologii si materiale avansate (metamateriale) (INFLPR, IMT, IFIN-HH, INCDTIM):** aplicatii la surse cuantice, detectori single-photon si dispozitive cuantice integrate; topological photonics pentru dispozitive si aplicatii in tehnologii cuantice.

Una din directiile strategice viitoare este dezvoltarea unei retele pilot (test bed) pentru comunicatii cuantice. Ca parte semnatar a EuroQCI, Romania trebuie sa-si dezvolte propria infrastructura de comunicatii cuantice. In acest context, partenerii QUTECH-RO colaboreaza in prezent la definirea si proiectarea **RoQCI**, componenta nationala a EuroQCI (Fig.2).

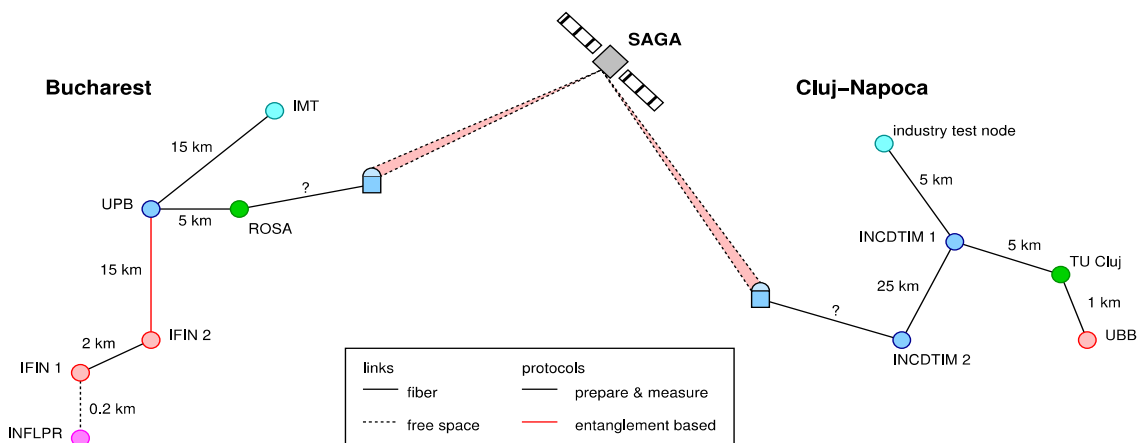


Fig. 2: Arhitectura viitoarei **RoQCI** in care sunt implicati partenerii proiectului.

## **CO - Institutul National de Cercetare Dezvoltare Pentru Fizica si Inginerie Nucleara "Horia Hulubei" (IFIN-HH)**

In strategia IFIN-HH pentru perioada 2020-2025, una din directiile de actiune in cercetarea fundamentala este

*"incubarea de noi domenii de cercetare fundamentală: [...] nanofizica, informația cuantică și tehnologiile cuantice";*

De asemenea, in strategia de dezvoltare a calculului stiintific avansat in IFIN-HH, directia 7 de actiune (Dezvoltare si suport software) specifica:

*"Algoritmi avansati (algoritmi genetici, retele neuronale, algoritmi cuantici, etc.) si aplicatii pentru studiul sistemelor complexe."*

Grupul de informatie cuantica din IFIN-HH este implicat in multiple directii de cercetare teoretice: tomografie cuantica, simulari de porti cuantice, arhitecturi pentru calcul cuantic, protocoale de imagistica cuantica, comunicatii cuantice, controlul decoerentei, stari Gaussiene etc. Aceste directii vor continua si se vor dezvolta in viitor.

In paralel, directorul de proiect este reprezentatul Romaniei in grupul de lucru (Sherpa Group) al EuroQCI. Astfel IFIN-HH are un rol activ in dezvoltarea infrastructurii de comunicatii cuantice in Romania, prin definirea si coordonarea planului de actiune si a strategiei nationale in domeniu. IFIN-HH va fi un nod in proiectul pilot **RoQCI** (Fig.2).

Unul din obiectivele viitoare este de a utiliza expertiza existenta in IFIN-HH (detectori, electronica ultra-rapida etc) in domeniul tehnologiilor cuantice. Astfel ne propunem sa extindem directiile actuale de cercetare (preponderent teoretice) si catre partea experimentală, prin atragerea de cercetatori catre acest domeniu si infiintarea unui laborator experimental dedicat.

## **P1 - Institutul National de Cercetare Dezvoltare Pentru Fizica Laserilor, Plasmei si Radiației (INFLPR)**

La INFLPR, direcția de cercetare privind tehnologiile cuantice se regăsește în Strategia de dezvoltare pentru perioada 2019 – 2022. Obiectivul "*O1. Consolidarea poziției de lider la nivel național și creșterea vizibilității internaționale în fonică*" cuprinde explicit tematica opticii cuantice și este definite în subramura "*O1.2. Optică cuantică și neliniară, micro- și nano-fonică*".

În afară de obiectivul strategic sus menționat, INFLPR mai contribuie direct sau indirect la planul comun de dezvoltare a parteneriatului prin obiective precum:

O1.1. Dezvoltarea de noi surse laser/fotonice coerente si necoerente;

O1.4. Dezvoltarea de tehnologii noi și emergente bazate pe procesări laseri și fascicule de electroni la scară macro-, micro- și nanometrică;

O1.5 Nanomateriale, micro și nanostructuri, filme subtiri - sinteza și funcționalizare prin tehnici cu laser;

O3.3 Sisteme integrate avansate de detectie și senzori, dezvoltate prin tehnici fotonice, plasmă și radiații.

Echipa de cercetare de la INFLPR implicată în proiect își propune să realizeze în continuare

cercetări fundamentale și activități de dezvoltare tehnologică pentru realizarea de surse fotonice, metode și echipamente de caracterizare a componentelor pentru circuite fotonice integrate, sisteme de detectie ultrasensibilă integrabile în infrastructuri pentru comunicații cuantice.

În INFLPR există o largă comunitate științifică ce a dezvoltat în ultimii 10 ani tematici precum nanostructuri și materiale fotonice, metamateriale, metrologie, senzori și imagistică. Aceste cercetări au potențialul de a contribui în viitorul apropiat la accelerarea dezvoltării tehnologiilor cuantice în România.

## **P2 - Institutul National de Cercetare-Dezvoltare Pentru Microtehnologie (IMT)**

Domeniul tehnologiilor cuantice abordat la IMT Bucuresti reprezinta o componenta importanta de cercetare/dezvoltare care beneficiaza intensiv de catre aplicarea tehnologiilor generice esentiale (TGE) (*key enabling technologies, KET*), tehnologii care prezinta un rol fundamental in strategia de dezvoltare a institutului, reprezentand directiile principale ale institutului.

Acestea sunt:

1. Micro-nanoelectronică, nanosisteme;
2. Micro-nanofotonică;
3. Nanotehnologii și materiale avansate;
4. Integrarea tehnologiilor generice esențiale pentru dezvoltarea de aplicații în domeniile de specializare inteligentă;
5. Noi metode de calcul și inteligență artificială, cu subdirecții de:
  - a. Spintronică;
  - b. Dispozitive și circuite pentru calcul cuantic;
  - c. Dispozitive și circuite pentru arhitecturi de tip neuromorphic, si constituie baza necesara cercetarii si dezvoltarii de componente si sisteme cuantice, surse de fotoni individuali, detectori cuantici, instrumentatie optica care proceseaza informatia la nivel cuantic, circuite optice integrate utilizate in aplicatii cuantice.

Specific, contributia IMT la planul comun de dezvoltare a parteneriatului consta in continuarea si aprofundarea urmatoarelor domenii care contin atat cercetare aplicativa, cat si cercetare fundamentala:

1. Proiectarea, fabricarea si caracterizarea de componente optice si micro-optice cu functionalitate avansata pentru controlul frontului de unda a fasciculului optic, componente care sunt realizate prin tehnologii de microfabricatie a siliciului;
2. Proiectarea, fabricarea si caracterizarea de circuite si sisteme optice integrate pentru aplicatii cuantice;
3. Proiectarea si realizarea de sisteme optice si fotonice in vederea procesarii informatiei la nivel cuantic;
4. Investigarea de detectori cuantici bazati pe materiale supraconductoare si realizarea, respectiv, caracterizarea functionala a acestora. Investigatii privind integrarea acestora cu sisteme fotonice realizate prin tehnologia siliciului;
5. Implementarea de protocoale cuantice prin realizarea experimentală de sisteme optice utilizand componentele si sistemele fabricate la IMT-Bucuresti.

Mentionam ca laboratorul de optica cuantica constituit in cadrul proiectului va fi utilizat in cadrul viitoarelor proiecte de cercetare in domeniul tehnologiilor cuantice.

### **P3 - Universitatea Politehnica din Bucuresti (UPB)**

Strategia UPB specifică

*"pregătirea de specialiști în diferite domenii tehnice, capabili de a utiliza cunoștințe științifice și tehnice, de a contribui la progresul tehnologic".*

În acest sens, echipa UPB din proiect va facilita accesul studenților (doctoranzi, masteranzi, licență) de la orice facultate din UPB, la cele două laboratoare înființate în cadrul proiectului: laboratorul de informatică cuantică aplicată (optică cuantică) și laboratorul de calcul cuantic. Acestea sunt amplasate în cele două noi centre de cercetare ale UPB, CAMPUS și PRECIS, și astfel contribuie la crearea *"noului profil de universitate tehnică, ce promovează forme de pregătire adaptate cerințelor unei societăți în plină competiție"*.

*"Misiunea principală a UPB este formarea inginerului capabil să se adapteze cerințelor economiei de piață și noilor tehnologii"*. Pentru aceasta, echipa UPB implicată în proiect va pregăti studenți și va contribui astfel la formarea masei critice de personal specializat (viitorii *quantum engineers*) în tehnologii cuantice: comunicații cuantice, calcul cuantic, optică cuantică, algoritmi cuantici.

O misiune importantă a UPB constă în *"producerea de cunoaștere, prin cercetare științifică"*. De aceea, pentru valorificarea rezultatelor cercetării proiectului, echipa își propune:

1. elaborarea de teme de disertație și de doctorat în domeniul utilizării surselor de fotoni entangled, cu extensie la comunicații cuantice;
2. extinderea colaborărilor cu parteneri (laboratoare, institute, universități) care să dezvolte laboratoare similare și teme de cercetare de optică cuantică și calcul cuantic;
3. dezvoltarea aplicațiilor de imagistică cuantică;
4. elaborarea de noi protocoale de calcul cuantic care folosesc entanglement ca resursa;
5. folosirea expertizei dobândite în realizarea unei surse de fotoni entangled, pentru participarea la viitoarea rețea de comunicații cuantice prin fibră optică, în care UPB va fi un nod principal;
6. obținerea de rezultate de cercetare de nivel TRL 4-7 compatibile cu transferul tehnologic catre parteneri industriali.

### **P4 - Institutul National de Cercetare Dezvoltare Pentru Tehnologii Izotopice si Moleculare (INCDTIM)**

Directiile de cercetare privind tehnologiile cuantice au fost incluse in Strategia de dezvoltare a INCDTIM. Tematica de cercetare este numita *"Sisteme si componente nanoelectronice si optice pentru tehnologii cuantice"*. Ea include atat o componenta fundamentala, teoretica, cat si una experimentală, bazate pe experienta si infrastructura de cercetare existente, in acest moment, in institut.

In cadrul proiectului QUTECH-RO, grupul din INCDTIM a dobandit experienta in studiul proprietatilor materialelor ca aluminiu granular, folosit in jonctiunile Josephson utilizate in

qubitii supraconductori si dicalcogenidele metalelor de tranzitie, utilizate in implementarile qubitilor Majorana. O alta directie de cercetare este modelarea regimului de functionare pentru qubitii supraconductori.

Coordonatorul partenerului P4 este membru in [Quantum Community Network \(QCN\)](#) din partea Romaniei. QCN are un rol in coordonarea actiunilor Comisiei Europene in cadrul Quantum Flagship cu cele ale statelor membre pentru maximizarea impactului proiectelor de tehnologii cuantice din cadrul Flagship-ului.

Grupul din INCDTIM participa la un proiect european QuantERA ([QuCos 120/16.09.2019](#)), proiect cu mai multi parteneri internationali al carui obiectiv este imbunatatirea designului qubitilor supraconductori.

Grupul de informatie cuantica din INCDTIM urmareste sa-si extinda activitatea. Impreuna cu colaboratorii din QUTECH-RO si colaboratori locali va dezvolta software pentru simulari cuantice pentru aplicatii NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum) si procesarea informatiei criptata cuantic. Va dezvolta surse electrice de fotoni entanglati bazate pe filme monoatomice de WS<sub>2</sub> si jonctiuni Josephson din aluminiu granular. INCDTIM planuieste sa atraga cercetatori specializati in fizica starii condensate (experimental) si opto-electronica (experimental) pentru a putea sa participe la proiecte in cadrul Quantum Flagship si pentru a putea sustine activitatea partenerilor in cadrul **RoQCI**, coordonat de IFIN-HH. De asemenea, INCDTIM va colabora cu companii software din Cluj-Napoca pentru dezvoltarea de algoritmi cuantici, aplicatii cuantice si software pentru criptografie cuantica.

### **Proiecte depuse in comun sau individual de către parteneri**

Planul de dezvoltare al parteneriatului va fi susținut prin atragerea de resurse financiare și umane în cadrul unor proiecte de cercetare-dezvoltare sau de parteneriate cu mediul privat. Avem în vedere programele naționale de finanțare CDI (proiecte PCE, PED, TE, PD, etc), programele europene (Horizon2020, ERACERT, Marie Curie, Connecting Europe) si programele de dezvoltare regională, în parteneriat cu potențialii beneficiari ai tehnologiilor cuantice (administrații publice, instituții guvernamentale) sau cu firme private ca parteneri în realizarea tranferului de tehnologii cuantice.

In prezent partenerii QUTECH-RO sunt implicati in redactarea unui COST Action in comunicatii cuantice, proiect ce va fi depus in curand alaturi de partenerii europeni.

Vom initia o colaborare cu IBM Romania care și-a arătat disponibilitatea de a susține tineri cu activități de cercetare în domeniul quantum computing.

In cadrul proiectarii și constructiei **RoQCI**, partenerii QUTECH-RO sunt in discutie cu Ministerul Educației și Cercetării, Agentia Spatuala Romana (ROSA) și au in vedere atragerea altor ministere (Transporturilor, Infrastructurii și Comunicațiilor, Economiei, Energiei și Mediului de Afaceri) in acest proiect.

Până la acest moment au fost depuse sau sunt în fază de evaluare următoarele proiecte de cercetare relevante pentru domeniul științific al proiectului QUTECH-RO:

1. 2019: IFIN-HH + INFLPR, Proiect PED "*Detector compact pentru comunicatii cuantice*" (CODEQ), PN-III-P2-2.1-PED-2019-1786

2. 2020: INFLPR, Proiect PCE "*Structuri nanofotonice pentru surse cuantice integrate*" (PHOTONIQS), PN-III-P4-ID-PCE-2020-2789.

In final, precizam că planul comun prezentat de parteneri este corelat atât cu Strategia de cercetare și planul instituțional de dezvoltare al fiecărui partener, cât și cu strategia națională privind dezvoltarea tehnologiilor cuantice, asumată de Guvernul României prin aderarea la structura europeana EuroQCI.

**Coordonator: IFIN-HH**

Reprezentant legal: **Dr. Nicolae M. Mărginean**

Director proiect: **Dr. Radu Ionicioiu**

**Partener 1: INFLPR**

Reprezentant legal: N/A

Responsabil proiect: **Dr. Marian Zamfirescu**

**Partener 2: IMT**

Reprezentant legal: **Dr. Miron Adrian Dinescu**

Responsabil proiect: **Dr. Cristian Kusko**

**Partener 3: UPB**

Reprezentant legal: **Rector Mihnea Costoiu**

Responsabil proiect: **Conf. dr. Mona Mihailescu**

**Partener 4: INCDTIM**

Reprezentant legal: **Dr. ing. Romulus Valeriu Flaviu Turcu**

Responsabil proiect: **Dr. Liviu Zarbo**