

RECEȚIONAT

Agenția Națională pentru Cercetare
și Dezvoltare _____
_____ 2021

AVIZAT

Secția AȘM _____
_____ 2021

RAPORT ANUAL
privind implementarea proiectului din cadrul Programului de Stat (2020-2023)

Tehnologii cuantice hibride avansate
20.80009.5007.07

Prioritatea Strategică Competitivitate economică și tehnologii inovative

Conducătorul proiectului

_____ Macovei Mihai _____



Director adjunct al organizației

_____ Alexei Meșalchin _____



Consiliul științific/Senatul



Chișinău 2021

1. Scopul etapei anuale conform proiectului depus la concurs

Modelul teoretic al senzorului cuantic bazat pe efectele neliniare apărute la interacțiunea moderat de intensă a radiației laserului cu un sistem de oglinzi vibrant

2. Obiectivele etapei anuale

1. Obținerea modelului senzorului cuantic hibrid pentru situațiile în care condiția de rezonanță între semnalul incident și frecvența proprie sau parametrul caracteristic al senzorului nu este atinsă.
2. Determinarea metodei de lucru cu senzorul cuantic ce permite detectarea semnalelor de frecvență în afara condiției de rezonanță cu senzorul.

3. Acțiunile planificate pentru realizarea scopului și obiectivelor etapei anuale

Se va încerca elaborarea unei metode/schemă de senzori pe baza oglinzilor vibrante supuse acțiunii unei radiații incidente coerente, dar care nu va implica și puncte/gropi cuantice. Spre deosebire de alte model/scheme tipice opto-mecano-cuante care au o caracteristică de eficiență cu un maxim puternic pronunțat atunci când semnalul/parametrul detectat se află departe de valorile de rezonanță, în modelele/schemele propuse se va realiza un mod special de rezonanță ce apare atunci când decalajul între frecvența semnalului ultra-slab, care trebuie detectat, și frecvența proprie a senzorului este de un număr întreg de fononi din sistem. Dinamica cuantică a unui astfel de sistem complex este destul de provocatoare chiar și din punct de vedere al modelării numerice, greu de realizat. Pe parcursul etapei vor fi dezvoltate metode numerice pentru simularea legăturilor termodinamice cuantice în sistemele hibride.

4. Acțiunile realizate pentru atingerea scopului și obiectivelor etapei anuale

A fost elaborat și studiat un model de sistem opto-mecano-cuantic caracterizat, de această dată, de un factor de calitate a rezonatorului optic mai scăzut, ceea ce a permis studiul comportamentului sistemului nu numai în apropierea frecvențelor de rezonanță, dar într-un domeniu mult mai larg de frecvențe, ceea ce corespunde mai mult sistemelor reale, de exemplu senzori sau traductori. Sistemul studiat constă dintr-un punct cuantic cu două niveluri inițial excitat, dar cu frecvență de tranziție modulată. Punctul cuantic este încorporat într-un rezonator nanomecanic plasat într-o cavitate optică (între oglinzi) cu rate mari de amortizare. Interacțiunea cavitate-punct cuantic duc la o încetinire a fenomenului de emisie spontană, observabilă la rezolvarea dinamicii cuantice în limita cavității de calitate joasă. S-a demonstrat că semnalele modulate sinusoidale cu amplitudine care variază lent sau semnale sinusoidale cu fluctuații asemănătoare zgomotului de frecvență mai mare, ambele duc la o creștere a timpului de viață a populației de puncte cuantice excitate și a fononilor vibraționali. S-a propus o metodă de reducere a proceselor de decoerență în sistemele optomecanice cu efecte puternice de defazare, precum și că prezența fononilor rezonatorului nanomecanic nu afectează dinamica cuantică a emisiei spontane a punctelor cuantice de tipul celor descrise. Rezultatele pot fi generalizate și pentru sisteme cu oglinzi vibrante.

S-a reușit delegarea a 3 persoane la IUCN din Dubna, Rusia, din contul părții primitoare, pentru realizarea cercetărilor comune, efectuate în cadrul acordurilor de colaborare între IFA-IUCN.

O parte din rezultatele obținute au stat la baza a 4 articole în reviste de specialitate cu factor de impact mare, precum și încă 1 articol în revistă de specialitate din străinătate.

5. Rezultatele obținute

Pentru a arăta că este posibil de realizat sisteme opto-mecano-cuantice cu un domeniu larg de parametri externi aplicați (semnale de modulare) care nu duc la distrugerea imediată a sistemului cuantic, la această etapă a proiectului am investigat impactul diferitelor tipuri de semnale de modulație, precum și influența vibrațiilor mecanice asupra dinamicii cuantice a efectului de emisie spontană a unui emițător plasat într-o cavitate optică, Fig. 1. Sistemul optomecanic constă dintr-un emițător cu două niveluri plasat pe un rezonator mecanic cuantic. Controlul emisie spontane a punctului cuantic se realizează prin plasarea emițătorului într-o cavitate optică cu factor de calitate scăzut, modulând în același timp frecvența de tranziție a acestuia printr-un laser incident off-rezonant. Punctele cuantice sau cristalele moleculare organice sunt emițători adecvați pentru configurația avută în vedere, deoarece sunt capabili să se cupleze cu fononii substratului pe care sunt plasați. Diverse tipuri de rezonatoare mecanice, cum ar fi un nanosferă, membrană vibrațională sau cristale fononice, sunt luate în considerare pentru configurația actuală, deoarece permit limitarea câmpurilor de fononi monomod cu factori de calitate înalți .

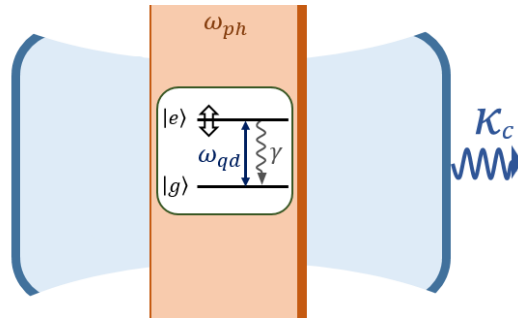


Fig. 1.

Punctul cuantic cu două niveluri este caracterizat prin frecvența sa de tranziție ω_{qd} între stările sale excitată $|e\rangle$ și de bază $|g\rangle$. Operatorii atomici ai punctului cuantic sunt $S^+ = |e\rangle\langle g|$, $S^- = |g\rangle\langle e|$ și $S_z = (|e\rangle\langle e| - |g\rangle\langle g|)/2$ care respectă relațiile comutative standard ale algebrei SU(2): $[S^\pm, S^\mp] = \pm 2S_z$ și $[S^\pm, S_z] = \mp S^\pm$. Vibrațiile cuantice ale rezonatorului mecanic sunt descrise de un câmp de fononi monomod definit de frecvența sa de oscilație ω_{ph} și operatorii bosonici de anihilare și creație b și b^\dagger . Cavitatea optică cu frecvența ω_c este descrisă de operatorii de anihilare și creație a și a^\dagger . Operatorii bosonici respect regulile de comutare $[a, a^\dagger] = [b, b^\dagger] = 1$.

Astfel, Hamiltonianul sistemului are forma:

$$H = \hbar(\omega_{qd} + s(t))S_z + \hbar\omega_{ph}b^\dagger b + \hbar\lambda S^+ S^- (b^\dagger + b) + \hbar\omega_c a^\dagger a + \hbar g(S^- a^\dagger + a S^+), \quad (1)$$

unde primul termen reprezintă energia punctului cuantic liber cu frecvența de tranziție modulată de un semnal periodic $s(t)$. Al doilea termen reprezintă energia liberă a câmpului fononic monomod al rezonatorului mecanic liber. Al treilea termen reprezintă interacțiunea punctului cuantic cu cuantele vibraționale ale rezonatorului mecanic. Această interacțiune este definită de constanta de cuplare λ . Al patrulea termen reprezintă energia liberă a

câmpului electromagnetic de cavitate. Ultimul termen reprezintă interacțiunea cavității cu punctul cuantic, definit de constanta de cuplare g .

Aici se neglijează efectul de emisie spontană care apare datorită interacțiunii punctului cuantic cu vidul electromagnetic din mediu. Această condiție este valabilă atâta timp cât interacțiunea cavității optice cu punctul cuantic este puternică în comparație cu cuplarea cu modurile de vid.

Dinamica cuantică a sistemului este definită în cadrul formalismului matricii de densitate în care ecuația master a operatorului matricii de densitate $\rho = |\Psi\rangle\langle\Psi|$ este:

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} = -\frac{i}{\hbar}[H, \rho] + \kappa(1 + \bar{n})L(b) + \kappa\bar{n}L(b^\dagger) + \kappa_c L(a), \quad (2)$$

unde L reprezintă super-operatorul Liouville acționând asupra unui operator al sistemului Q ca $L(Q) = 2Q\rho Q^\dagger - Q^\dagger Q\rho - \rho Q^\dagger Q$. Primul termen reprezentând relația von-Neumann pentru Hamiltonianul sistemului. Al doilea și al treilea termen reprezintă amortizarea rezonatorului mecanic cuantic de către mediul termic, descrise de termenii de amortizare și, respectiv, de pompare. Efectul de amortizare a fononilor este definit de rata de amortizare κ și de numărul mediu de ocupare a fononilor în rezervorul termic \bar{n} , care depinde de temperatura mediului. Ultimii termeni reprezintă amortizarea fotonilor cavității prin vidul electromagnetic, definită de rata de amortizare κ_c .

În această formă a ecuației master și a Hamiltonianului sistemului dinamica sistemului nu poate fi rezolvată direct și sunt necesare ipoteze suplimentare. Asumpția principală constă în a considera o cavitate optică cu un factor de calitate scăzut, adică $\kappa_c \ll g$. Cu această condiție, complexitatea dinamicii sistemului poate fi redusă prin eliminarea operatorilor câmpului de cavitate. Acest lucru poate fi realizat prin exprimarea Hamiltonianului sistemului și a ecuației master în cadrul reprezentării de interacțiune, de unde sunt deduse ecuațiile mișcării operatorilor fotonici. Aceste ecuații de mișcare sunt rezolvate în limita cavității de calitate joasă, iar soluțiile sunt introduse în expresia ecuației master. Această operație elimină operatorii fotonici din ecuația master și reduce complexitatea dinamicii sistemului astfel încât ecuația master devine numeric rezolvabilă.

Specificul metodei prezentate constă în adaptarea abordării teoretice descrise anterior pentru orice semnal de modulație periodică. Dinamica sistemului este rezolvată pentru un semnal de modulație $s(t)$ dezvoltat în seria Fourier:

$$s(t) = \sum_0^\infty b_j \cos(j\omega t + \phi_j). \quad (3)$$

aici, pentru simplitate, am considerat $\phi_j = 0$ și $b_0 = 0$. Pentru calcule numerice, seria infinită din ecuația (3) este truncată și sunt considerate doar primele j_{max} maximuri. Limitările numerice ale valorilor j_{max} sunt date de complexitatea ecuațiilor diferențiale de mișcare a parametrilor de interes. Pentru j_{max} termeni ai descompunerii Fourier există j_{max}^2 termeni în ecuația diferențială a mișcării. Prin urmare, semnalele de modulație $s(t)$ investigate de mai jos sunt alese în funcție de limitarea numerică a descompunerii Fourier.

Odată ce ipotezele menționate anterior sunt aplicate la ecuația master a sistemului din ecuația (2) și la Hamiltonianul sistemului din ecuația (1), dinamica cuantică a sistemului este

rezolvată prin construirea ecuației de mișcare a parametrilor de interes prin aplicarea la ecuația master a operatorului de densitate ρ :

$$\frac{\partial \langle Q \rangle}{\partial t} = \text{Tr} \left[\rho \frac{\partial Q}{\partial t} \right] = \text{Tr} \left[Q \frac{\partial \rho}{\partial t} \right]. \quad (4)$$

Dinamica sistemului este investigată în continuare prin rezolvarea ecuației de mișcare a populației punctului cuantic $\langle S_z \rangle$. Ecuația diferențială a $\langle S_z \rangle$ nu este afectată de prezența vibrațiilor mecanice sau de cuplarea între punctul cuantic și fononii din mediul înconjurător termic. Astfel, vom observa aici o influență a semnalului modulator $s(t)$ asupra dinamicii de emisie spontană a punctului cuantic.

În continuare vom investiga impactul diferitelor semnale de modulație a frecvenței asupra dinamicii cuantice a populației de puncte cuantice $\langle S_z \rangle$. Vom folosi notațiile: rata de amortizare a cavității $\kappa_c/\omega=2$, constanta de cuplare optică $g/\omega=0,2$, dezacordarea cavitare-punct cuantic $\delta_c=0$.

În Fig.2, populația de puncte cuantice $\langle S_z \rangle$ este reprezentată ca o funcție a timpului $\kappa_c t$. Cazul punctelor cuantice cu frecvența de tranziție nemonulată, adică $s(t)=0$, este reprezentată de linia de jos, albastră. Cazul punctelor cuantice cu frecvența de tranziție modulată de un semnal sinusoidal $A \cos(\omega t)$, $A/\omega=60$, este reprezentat de linia de sus, roșie. Acest caz reprezintă cel mai ordinar tip de semnal folosit pentru a reprezenta modulația de frecvență realizată prin efectul AC Stark, care apare atunci când se aplică un laser nerezonant punctului cuantic. Dezintegrarea populației stării excitate a punctului cuantic este în mod clar încetinită atunci când frecvența de tranziție a punctului cuantic este modulată.

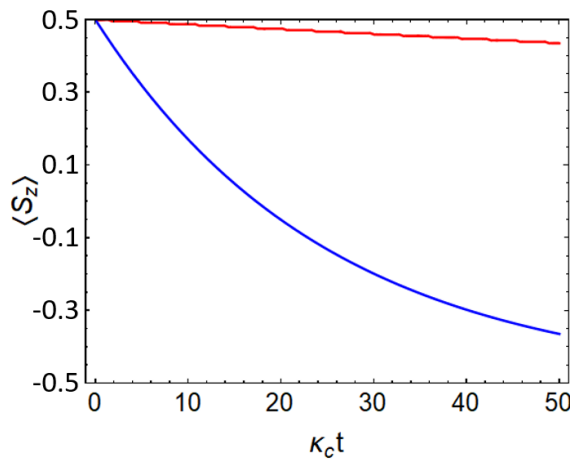


Fig. 2.

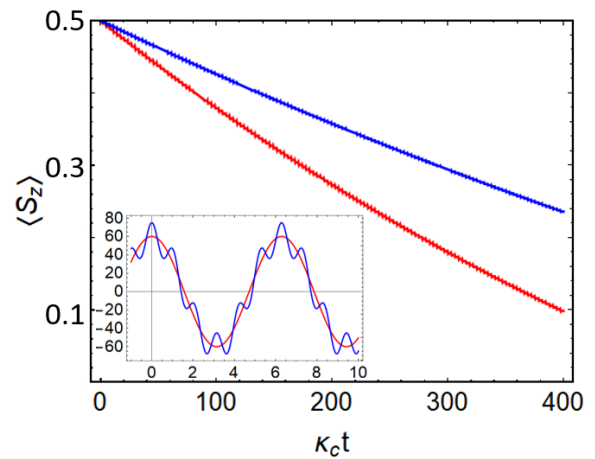


Fig. 3.

În Fig.3., spre deosebire de cazul anterior, al modulării cu semnal de modulație pur sinusoidală, este prezentat cazul unui semnal care posedă unele fluctuații de frecvență mai mari (insertul). Acest tip de fluctuații pot apărea în urma diverselor efecte asemănătoare zgomotului, de exemplu cauzat de imperfecțiunile sistemului sau datorită defazării cauzate de imperfecțiunea nivelurilor energetice din punctele cuantice. Defazarea punctului cuantic este adesea reprezentată ca un termen de zgomot alb adăugat la frecvența de tranziție și este adesea sursa unor decoerențe majore în diferite configurații cuantice. Odată cu includerea termenilor

de frecvență mai mare, se poate aștepta o creștere a timpului de viață a populației stării excitate.

Din cauza limitărilor numerice în estimarea dinamicii cuantice am fost nevoiți să luăm în considerare doar câțiva termeni ai descompunerii în serie Fourier. Deși în Fig.3. este reprezentat doar un semnal $A\cos(\omega t) + A/4\cos(7\omega t)$ definit de un singur termen suplimentar de înaltă frecvență, după cum a fost stabilit, adăugarea mai multor termeni de înaltă frecvență nu va schimba comportamentul general al dinamicii sistemului.

O altă posibilă abatere de la semnalul pur sinusoidal este reprezentată în Fig.4. Aici este considerat un semnal sinusoidal $s(t) = A(t)\cos(6\omega t)$, cu o amplitudine încet variabilă în timp $A(t) = 0,7A + 0,3A\cos(\omega t)$. Acest tip de modulație poate fi realizat prin varierea intensității laserului off-rezonant aplicat. Aici efectul de emisie spontană poate fi încetinit mai mult sau mai puțin în funcție de factorul de calitate al cavității optice luate în considerare. În Fig.4, se observă o încetinire clară a emisiei spontane pentru o rată de amortizare $\kappa_c/\omega = 2$. Cu toate acestea, o creștere a ratei de amortizare a cavității va diminua acest efect. Pentru rate de amortizare suficient de mari, semnalele cu amplitudini lent variabile duc la îmbunătățirea emisiei spontane în comparație cu cazul modulației sinusoidale pure, de exemplu, în modelul considerat, această condiție este atinsă pentru $\kappa_c/\omega > 10$. Această diferență în comportamentul emisiei spontane se referă la sensibilitatea sistemului la rezonanța sa cu cavitata optică. Ratele de amortizare mai mici sunt asociate de cavități cu factorii de calitate mai mari, care au un spectru mai îngust al câmpului de cavitata și, prin urmare, o selectivitate mai mare la rezonanța punctului cuantic modulat cu cavitata optică.

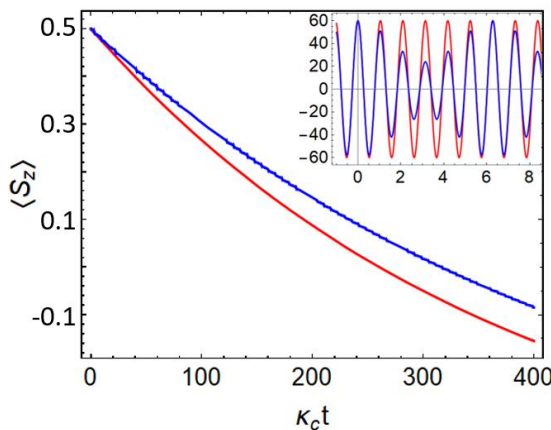


Fig. 4.

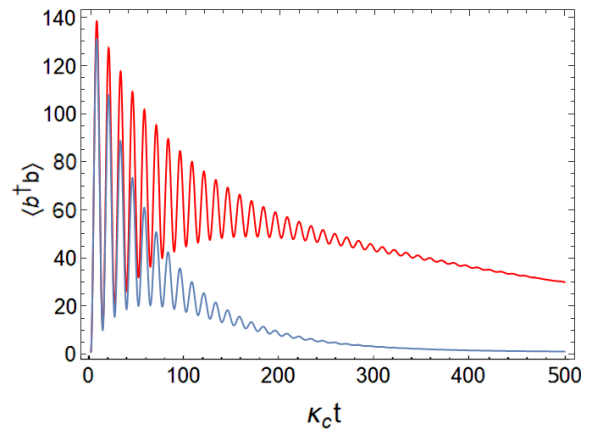


Fig. 5.

Pentru a putea realiza dispozitive reale, care trebuie să funcționeze la scări de timp accesibile electronicii uzuale, este important de a prelungi timpul de viață a stărilor excitate cât mai mult. Durata de viață a stării excitate a sistemului cuantic este îmbunătățită de încetinirea dinamicii emisiilor spontane, ceea ce se poate de văzut din dinamica numărului de excitoni (fononi) în sistem, exprimată prin numărul mediu de fononi în sistem, care depinde, printre altele, de forma, structura, calitățile materialului din care este confecționat rezonatorul nanomecanic.

Pentru același tip de sistem, considerat mai sus, în aceeași condiție de aplicare a unui semnal modulator sinusoidal, vom face o comparație a numărului mediu de fononi în sistem

$\langle b^\dagger b \rangle$ pentru două cazuri de material al rezonatorului, cu două rate de amortizare diferite, exprimate prin valori diferite ale raportului κ_c/ω . Rezultatele obținute sunt prezentate în Fig. 5., în care curba superioară, roșie reprezentând numărul mediu de fononi în sistem pentru un factor de amortizare $\kappa_c/\omega=10^{-3}$, iar curba de jos, albastră, reprezentând cazul unei amortizări de un ordin de mărime mai mare, $\kappa_c/\omega=10^{-2}$. După cum se poate vedea, pentru o amortizare mai slabă (curba superioară, roșie), numărul mediu de fonon scade mai lent în timp. Rezultatele obținute sunt bine interpretabile în modelul nostru, în care efectul de amortizare a fononilor care definește pierderile de fonon în cadrul rezonatorului este suprapus efectului de încetinire al dezintegrării spontane a stărilor excitate ale sistemelor cuantice, care duce la timpi specifici mai mari ai proceselor de creare a fononilor.

Analizând rezultatele obținute, putem concluda că acestea pot fi relevante pentru senzori cuantici de estimare a maselor obiectelor cuantice ultra mici de ordinul molecular, care operează cu fononi unimodali cu durate de viață mari.

O parte din rezultatele obținute au fost trimise spre publicare în reviste recenzate de specialitate (cu factor de impact) și chiar și publicate.

6. Diseminarea rezultatelor obținute în proiect în formă de publicații

6.1 Articole în reviste științifice

6.1.1 în reviste din bazele de date Web of Science și SCOPUS:

6.1.1.1 MÎRZAC, A., CÂRLIG, S. and MACOVEI, M. A. Microwave multiphoton conversion via coherently driven permanent dipole systems. *Phys. Rev. A.* 2021, **103**(4), 043719. Doi: 10.1103/PhysRevA.103.043719. <https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRevA.103.043719> (IF: 3,140).

6.1.1.2 MIHAESCU, T., CECOI, E., MACOVEI, M. A. and ISAR, A. Geometric discord for a driven two-qubit system. *Rom. Rep. Phys.* 2021, **73**(1), 101-1—101-16. IBN: 126872. <http://www.rpp.infim.ro/2021/AN73101.pdf> (IF: 1,785).

6.1.1.3 KHVOROSRTUKHIN, A. S., KOLOMEITSEV, E. E. and TONEEV, D. D. Hybrid model with viscous relativistic hydrodynamics: a role of constraints on the shear-stress tensor. *Eur. Phys. J. A.* 2021, **57**(10), 294. Doi: 10.1140/epja/s10050-021-00599-1. <https://link.springer.com/article/10.1140%2Fepja%2Fs10050-021-00599-1> (IF: 3,043).

6.1.1.4 ABRAMOV, B. M., BAZNAT, M., BORODIN, Yu. A., BULYCJOV, S. A., DUKHOVSKOY, I. A., KRUTENKOVA, A. P., KULIKOV, V. V., MARTEMIANOV, M. A., MATSYUK, M. A. and TURDAKINA, E. N. Cumulative π -Mesons in $12\text{C}+9\text{Be}$ -Interactions at 3.2 GeV/Nucleon. *Phys. Part. Nuclei.* 2021, **84**(4), 467—474. Doi: 10.1134/S1063778821040037. <https://link.springer.com/article/10.1134%2FS1063778821040037> (IF: 0,420).

6.1.2 în reviste din străinătate recunoscute

6.1.2.1 NAZAROVA, E., AKHAT, R., BAZNAT, M., TERYAEV, O. and Zinchenko, A. Monte Carlo Study of Λ Polarization at MPD. *Phys. Part. Nuclei Lett.* 2021, **18**(4), 429—438. Doi: 10.1134/S1547477121040142. <https://link.springer.com/article/10.1134%2FS1547477121040142>

6.2 Teze ale conferințelor științifice

6.2.1 în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova):

6.2.1.1 S. Carlig, A. Mirzac, P. Bardetski and M. A. Macovei, Quantum photon conversion via coherently driven permanent dipole systems. In: Abstract Book of 5th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, November 3-5.2021, pp. 61, Chisinau, Republic of Moldova.

6.2.1.2 V. Ceban and M. A. Macovei, Population Dynamics in a Modulated Optomechanical Setup. In: Abstract Book of 5th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, November 3-5.2021, pp. 84, Chisinau, Republic of Moldova.

7. Impactul științific, social și/sau economic al rezultatelor științifice obținute în cadrul proiectului

O parte din rezultatele obținute au fost trimise spre publicare în reviste recenzate de specialitate (cu factor de impact) și chiar și publicate.

Rezultatele obținute la etapa dată sunt de interes atât pentru cercetătorii teoreticieni și experimentatorilor, cât și cercetătorilor și inginerilor proiectanți ai diverselor dispozitive performante destinate detectării semnalelor ultra-slabe sau maselor foarte mici, transmițerii sau prelucrării informației la nivel cuantic, sau a oricăror altor dispozitive micro și nanodimensionale ce necesită controlul fluxurilor de energii și semnale la nivel cuantic.

În urma realizării etapei proiectului au fost obținute realizări noi, relevante pentru viitoarele tehnologii cuantice bazate pe interfețe hibride, care implică interacțiuni ale punctelor și gropilor cuantice cu diferite tipuri de rezonatoare optice / oglinzi sau nanomecanice, precum și cu câmpuri electromagnetice clasice sau cuantificate. În special rezultatele obținute vor fi de interes specialiștilor preocupați de crearea unor senzori cuantici ultra-sensibili.

8. Infrastructura de cercetare utilizată în cadrul proiectului:

- 2 cabinete (total 40 m.p.) amenajate pentru 8 posturi de lucru,
- 7 stații de lucru (calculatoare personale),
- centrul de calcul (cluster de calculatoare) din IUCN, Dubna, Rusia,
- acces la internet (email, acces la cărți și articole științifice disponibile prin Open Access sau biblioteci/depozitarii libere)

9. Colaborare la nivel național în cadrul implementării proiectului.

-

10. Colaborare la nivel internațional în cadrul implementării proiectului:

- S-a reușit delegarea a 3 persoane la IUCN din Dubna, Rusia, din contul părții primitoare, pentru realizarea cercetărilor comune, efectuate în cadrul acordurilor de

colaborare între IFA-IUCN. Datorită posibilității de rulare a modelelor numerice realizate pe infrastructura de calcul a IUCN s-a reușit de a obține mai multe rezultate valoroase, o parte din care au stat la baza a două articole în reviste internaționale de specialitate chiar în anul 2021, un articol fiind în revistă cu IF.

- O parte din lucrările din cadrul proiectului au fost realizate în comun cu colegii din Romania (IFIN-HH, Institutul National de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica si Inginerie Nucleara Horia Hulubei) și în baza rezultatelor a fost publicat în anul 2021 un articol în revistă de specialitate cu IF.

11. Dificultățile în realizarea proiectului

- 11.1 Folosirea facilităților colegilor din străinătate conform planului nu a putut fi realizată din cauza ca astfel de lucrări necesită planificări din timp, imposibil de realizat în condițiile incerte ale restricțiilor impuse de pandemia COVID. Ca urmare, suntem nevoiți să recurgem la modificări majore de buget, care, la rândul lor, sunt îngreunate de formalitățile de aprobare a modificărilor de buget în câteva instanțe, fiecare instanță tratând diferit legislația locală și ne-ținând cont complet de natura proiectului. Astfel se ajunge la situație când nu suntem în stare să satisfacem toate cerințele, uneori contradictorii, în timp real.
- 11.2 Cerința de a aproba **orice** modificare de personal doar prin aprobare prealabilă a ANCD este imposibil de urmat. Oamenii reali provoacă modificări de personal imprevizibile - se concediază, cer concedii (inclusiv de sănătate sau de maternitate), mor, susțin teze de doctor (și pretind pe drept la funcții/sporuri suplimentare) – la toate acestea organizația trebuie să facă modificări de personal prompt, în conformitate cu legislația în vigoare. Procedura de aprobare a modificării listei executorilor necesită durate mari de timp pentru a obține propuneri de modificări în direcția/serviciile organizației executoare, aprobări ale consiliilor științifice, apoi a ANCD – și asta în cazul ideal în care propunerea de modificare este acceptată. În caz de ne-acceptare, inclusiv pe teme formal (formatul documentelor depuse, care nu este indicat niciunde), procedura trebuie reluată de la început, pe când suplینirea funcțiilor vacante trebuie de efectuat în decurs de zile, nu luni.
- 11.3 Nerespectarea clauzelor contractuale de către ANCD:
- a. de drept, în contract este stipulat:
 - „4.1. *Beneficiarul proiectului are următoarele obligații:*
 - m) să prezinte raportul financiar anual, cu anexarea tuturor documentelor justificative și a raportului științific anual aprobat de către secțiile de știință corespunzătoare ale Academiei de Științe a Moldovei, până la data de 1 martie a anului următor;”
 - „4.4. *Autoritatea contractantă are următoarele drepturi:*
 - b) să solicite rapoarte privind executarea proiectului în termenele și modul stabilite.”
 - b. de fapt, însă, ANCD solicită rapoartele cu mai mult de două luni înainte de finisarea etapei anuale (cu 25% înainte de finisarea etapei !), făcând imposibilă prezentarea informației la astfel de puncte ale raportului cum ar fi susțineri de teze, publicații, delegații etc.
- 11.4 Există multe neclarități în formularele pentru raport (modificate în fiecare an), de exemplu:

- a. La depunerea proiectelor ne-a fost indicat sa nu includem în proiect activități finanțate din alte surse. Însă în raport, la p. 9 și 10, se cere de a indica colaborarea națională și internațională **în cadrul proiectului**, deci activități finanțate din mai multe surse simultan.
- b. La p. 15 al raportului se cere de indicat „Teze de doctorat / postdoctorat susținute și confirmate în anul 2021”, ori tezele de doctorat susținute în ultimele luni ale anului vor fi aprobate de ANACEC doar anul viitor. Astfel, dacă am respecta aceste cerințe de „susținute și confirmate”, tezele susținute în noiembrie-decembrie nu ar trebui să le includem în raportul din acest an, dar deja nici în raportul din anul viitor.
- c. Lista publicațiilor elaborate în cadrul proiectului (p. 6) trebuie îndeplinită conform clasificării prezentate în anexa 1A, însă anexa 1A este un formular separat în sine și nu este clar cum trebuie de procedat: de a nu completa p. 6 al raportului, dar de a prezenta Anexa 1A, sau invers, sau amândouă de completat (pentru ce)?
- d. În nota din Anexa 1A lista publicațiilor se cere a fi făcută conform SM ISO 690:2012, dar imediat mai jos se cere de a modifica forma de scriere prin completare cu „depozitul electronic internațional, național sau instituțional în care aceasta este înregistrată, precum și adresa electronică la care poate fi accesată lucrarea”. Termenul de „depozit electronic internațional, național sau instituțional” este confuz (DOI, arxiv/pubmed/pubchem/alte, IBN, biblioteca internă a institutului etc. ?), iar dacă acesta există (sa zicem ca e vorba de DOI), atunci numărul/identificatorul publicației în sine este deja o adresă electronică (de exemplu <http://doi.org/xxxxxxx>). Care este depozitul electronic național (care este codul depunerii la IBN, dacă despre acesta este vorba)? Ce înseamnă depozit electronic al instituției - colecția de documente/publicații în format electronic a laboratorului/institutului?
- e. Publicațiile/referințele menționate în prezentul raport trebuie formatate în mod diferit la diferite puncte ale raportului, ceea ce este amețitor și contradictoriu. De exemplu, se cere respectarea SM ISO 690:2012 în p.6 sau anexa 1A, iar, pe de altă parte, la p. 14 sau 12 este indicat un format complet diferit.

12. Diseminarea rezultatelor obținute în proiect în formă de prezentări la foruri științifice (comunicări, postere – pentru cazurile când nu au fost publicate în materialele conferințelor, reflectate în p. 6)

➤ Manifestări științifice internaționale (în Republica Moldova)

- Cârlig, Sergiu, dr.; A 5-a ediție a Conferinței Științifice Internaționale „5th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering”; organizatori: Asociația "Societatea de Inginerie Biomedicală din Moldova", Universitatea Tehnică a Moldovei și Universitatea de Stat de Medicină și Farmacie „Nicolae Testemițanu”, Chișinău, R. Moldova, 3-5 noiembrie 2021; S. Carlig, A. Mirzac, P. Bardetski and M. A. Macovei „Quantum Photon Conversion via Coherently Driven Permanent Dipole Systems”, raport oral, de secție (S1-1.3).
- Ceban, Victor, dr.; A 5-a ediție a Conferinței Științifice Internaționale „5th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering”; organizatori: Asociația

"Societatea de Inginerie Biomedicala din Moldova", Universitatea Tehnică a Moldovei și Universitatea de Stat de Medicină și Farmacie „Nicolae Testemițanu”, R. Moldova, 3-5 noiembrie 2021; V. Ceban and M. A. Macovei „ Population Dynamics in a Modulated Optomechanical Setup”, raport oral, de secție (S3-1.6).

13. Aprecierea și recunoașterea rezultatelor obținute **în proiect** (premier, medalii, titluri, alte aprecieri)

-

14. Promovarea rezultatelor cercetărilor obținute **în proiect** în mass-media

- Articole de popularizare a științei

Cârlig, S.; Ciornea, V.; Macovei, M. / Fizica și Tehnologiile Moderne. 2021, **73-74**(1-2), 13—17. Doi: 10.53081/1810-6498.2021.73-74.13 / Sisteme optomecanice – de la utilizări clasice la aplicații moderne.

15. Teze de doctorat / postdoctorat susținute și confirmate în anul 2021 de membrii echipei proiectului

Alexandra Mîrzac, „Studiul dinamicii cuantice în sistemele moleculare dipolare”, teză de doctor în științe, conducător științific – dr. hab. Mihai Macovei, susținere preliminară stabilită pentru luna decembrie 2021.

16. Materializarea rezultatelor obținute în proiect

-

17. Informație suplimentară referitor la activitățile membrilor echipei în anul 2021

-

18. Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect

În rezultatul realizării etapei anului 2021 a proiectului a fost studiat un sistem format dintr-un punct cuantic cu două niveluri inițial excitat, dar cu frecvență de tranziție modulată. Punctul cuantic este încorporat într-un rezonator nanomecanic plasat într-o cavitate optică (între oglinzi) cu rate mari de amortizare. Interacțiunea cavitate-punct cuantic duc la o încetinire a fenomenului de emisie spontană și a dinamicii fononilor vibraționali, observabile la rezolvarea dinamicii cuantice în limita cavității de calitate mică. Acest efect de încetinire este cauzat de modularea frecvenței de tranziție a punctelor cuantice, fenomenul putând fi amplificat atunci când se iau în considerare diferite tipuri de semnale de modulație. S-a demonstrat, anume, că semnalele sinusoidale cu amplitudine care variază lent sau semnale sinusoidale cu fluctuații asemănătoare zgomotului de frecvență mai mare, ambele pot duce la o creștere a timpului de viață a populației de puncte cuantice excitate și, prin urmare, la o diminuare eficientă a emisiei spontane.

Pe lângă încetinirea emisiei spontane, prezentul studiu sugerează o metodă de reducere a proceselor de decoerență în sisteme optomecanice cu efecte puternice de defazare, în care pot fi induse semnale de modulație care conțin termeni de frecvență mai mare. De asemenea, a fost arătat că prezența fononilor rezonatorului nanomecanic nu afectează dinamica cuantică a emisiei spontane a punctelor cuantice de tipul celor descrise.

Aceste rezultate sunt foarte interesante, sistemele propuse putând avea și aplicații practice sau experimentale, deoarece sunt formate din elemente deja utilizate pe larg de experientatori. Astfel, aceste rezultate pot fi considerate și drept model preliminar al viitoarelor posibile experimente.

Rezultatele obținute corespund obiectivelor proiectului și tuturor rezultatelor preconizate, ceea ce ne permite să afirmăm că etapa dată a proiectul a fost realizat cu succes.

During the 2021 stage of the project, a system made of an initially excited two-level quantum-dot with modulated transition frequency was studied. The quantum dot is embedded on a nanomechanical resonator and is placed in an optical cavity with high damping rates. The cavity-quantum-dot interaction leads to a slow-down of the spontaneous emission phenomenon as well as of the vibrational phonon dynamics when solving the quantum dynamics within the bad cavity limit. This slow-down effect is caused by the modulation of the quantum-dot transition frequency and may be enhanced when considering various modulation signals. The sinusoidal signals with *slowly varying amplitude* or sinusoidal signals with higher frequency noise-like fluctuations can both lead to an enhancement of the lifetime of the excited quantum-dot population and, therefore, to a decrease of the effective spontaneous emission rate.

Additional to the slowed-down spontaneous emission, the present study suggests a method of reduction of decoherent processes in optomechanical systems with strong dephasing effects driven by modulation signals which contain higher frequency terms. The presence of phonons of the nanomechanical resonator was shown to not affect the quantum dynamics of the quantum-dot spontaneous emission.

These results are very interesting, the proposed systems are experimentally feasible and possible being of perspective for applications because of being composed of elements already widely used. Thus, these results can also be considered as preliminary models for future possible experiments.

The results correspond to the objectives of the project and to the expected results, that allowing to consider this stage of the project being successfully completed.

19. Recomandări, propuneri

-

Conducătorul de proiect _____/ Mihai Macovei

Data: _____

**Lista lucrărilor științifice, științifico-metodice și didactice
publicate în anul de referință în cadrul proiectului din Programul de Stat**

Tehnologii cuantice hibride avansate

1. Articole în reviste științifice

1.1. în reviste din bazele de date Web of Science și SCOPUS:

- 1.1.1. MÎRZAC, A., CÂRLIG, S. and MACOVEI, M. A. Microwave multiphoton conversion via coherently driven permanent dipole systems. *Phys. Rev. A.* 2021, **103**(4), 043719. Doi: 10.1103/PhysRevA.103.043719. <https://journals.aps.org/pra/abstract/10.1103/PhysRevA.103.043719> (IF: 3,140).
- 1.1.2. MIHAESCU, T., CECOI, E., MACOVEI, M. A. and ISAR, A. Geometric discord for a driven two-qubit system. *Rom. Rep. Phys.* 2021, **73**(1), 101-1—101-16. IBN: 126872. <http://www.rpp.infim.ro/2021/AN73101.pdf> (IF: 1,785).
- 1.1.3. KHVOROSRTUKHIN, A. S., KOLOMEITSEV, E. E. and TONEEV, D. D. Hybrid model with viscous relativistic hydrodynamics: a role of constraints on the shear-stress tensor. *Eur. Phys. J. A.* 2021, **57**(10), 294. Doi: 10.1140/epja/s10050-021-00599-1. <https://link.springer.com/article/10.1140%2Fepja%2Fs10050-021-00599-1> (IF: 3,043).
- 1.1.4. ABRAMOV, B. M., BAZNAT, M., BORODIN, Yu. A., BULYCJOV, S. A., DUKHOVSKOY, I. A., KRUTENKOVA, A. P., KULIKOV, V. V., MARTEMIANOV, M. A., MATSYUK, M. A. and TURDAKINA, E. N. Cumulative π -Mesons in $^{12}\text{C}+^9\text{Be}$ -Interactions at 3.2 GeV/Nucleon. *Phys. Part. Nuclei.* 2021, **84**(4), 467—474. Doi: 10.1134/S1063778821040037. <https://link.springer.com/article/10.1134%2FS1063778821040037> (IF: 0,420).

1.2. în reviste din străinătate recunoscute:

- 1.2.1. NAZAROVA, E., AKHAT, R., BAZNAT, M., TERYAEV, O. and Zinchenko, A. Monte Carlo Study of Λ Polarization at MPD. *Phys. Part. Nuclei Lett.* 2021, **18**(4), 429—438. Doi: 10.1134/S1547477121040142. <https://link.springer.com/article/10.1134%2FS1547477121040142>

2. Teze ale conferințelor științifice

2.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova):

- 2.1.1. S. Carlig, A. Mirzac, P. Bardetski and M. A. Macovei, Quantum photon conversion via coherently driven permanent dipole systems. In: Abstract Book of 5th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, November 3-5.2021, pp. 61, Chisinau, Republic of Moldova.
- 2.1.2. V. Ceban and M. A. Macovei, Population Dynamics in a Modulated Optomechanical Setup. In: Abstract Book of 5th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, November 3-5.2021, pp. 84, Chisinau, Republic of Moldova.

Executarea devizului de cheltuieli, conform anexei nr. 2.3 din contractul de finanțare
Cifrul proiectului: 20.80009.5007.07

Cheltuieli, mii lei				
Denumirea	Cod		Anul de gestiune	
	Eco (k6)	Aprobat	Modificat +/-	Precizat
Remunerarea muncii angajaților conform statelor	211180	892,0		892,0
Contribuții de asigurări sociale de stat obligatorii	212100	258,7		258,7
Deplasări în interes de serviciu peste hotare	222720	37,1	-37,1	
Indemnizații pentru incapacitatea temporară de muncă achitate din mijloacele financiare ale angajatorului	273500	2,7		2,7
Procurarea pieselor de schimb	332110		+37,1	37,1
Procurarea materialelor de uz gospodăresc și rechizitelor de birou	336110	2,8		2,8
Total		1193,3	0,0	1193,3

Director adjunct al organizației _____ / Alexei Meșalchin

Economist șef _____ / Larisa Mitroșenco

Conducătorul de proiect _____ / Mihai Macovei

Data: _____

Componența echipei proiectului

Cifrul proiectului: 20.80009.5007.07

Echipei proiectului conform contractului de finanțare (la semnarea contractului)						
Nr	Nume, prenume (conform contractului de finanțare)	Anul nașterii	Titlul științific	Norma de muncă conform contractului	Data angajării	Data eliberării
1.	Gherman Corneliu	1973	dr.	1	04.01.2021	-
2.	Macovei Mihai	1972	dr. hab.	0,5	04.01.2021	-
3.	Bardețchi Profirie	1944	dr.	1	04.01.2021	-
4.	Baznat Mircea	1947	dr.	1	04.01.2021	-
5.	Cârlig Sergiu	1978	dr.	1	04.01.2021	-
6.	Ciornea Viorel	1977	dr.	0,5	04.01.2021	-
7.	Ceban Victor	1987	dr.	1	04.01.2021	-
8.	Popov Serghei	1966	dr.	0,5	04.01.2021	31.08.2021
9.	Hvorostuhin Andrei	1978	dr.	0,5	04.01.2021	-
10.	Palii Iurie	1963	dr.	0,5	04.01.2021	-
11.	Mîrzac Alexandra	1990		1	04.01.2021	-
12.	Cecoi Elena	1988		0,5	04.01.2021	-
13.	Chiriac Tatiana	1987		0,5	04.01.2021	-

Ponderea tinerilor (%) din numărul total al executorilor conform contractului de finanțare	31,6
---	-------------

Modificări în componența echipei pe parcursul anului 2021					
Nr	Nume, prenume	Anul nașterii	Titlul științific	Norma de muncă conform contractului	Data angajării
1.	Baznat Mircea	1947	dr.	-1.0	
2.	Cârlig Sergiu	1978	dr.	0.5	04.01.2021
3.	Ciornea Viorel	1977	dr.	0.5	04.01.2021
4.	Baznat Mircea	1947	dr.	1.0	28.02.2021
5.	Cârlig Sergiu	1978	dr.	-0.5	
6.	Ciornea Viorel	1977	dr.	-0.5	
7.	Hvorostuhin Andrei	1978	dr.	-0.5	
8.	Ceban Victor	1987	dr.	0.5	04.01.2021
9.	Palii Iurie	1963	dr.	-0,5	
10.	Mîrzac Alexandra	1990	dr.	0.5	04.01.2021
11.	Mîrzac Alexandra	1990	dr.	-1.0	
12.	Cârlig Sergiu	1978	dr.	1.0	01.05.2021
13.	Bardețchi Profirie	1944	dr.	0.5	01.05.2021
14.	Palii Iurii	1963	dr.	-0.5	
15.	Ciornea Viorel	1977	dr.	0.5	01.05.2021

16.	Baznat Mircea	1947	dr.	-1.0	
17.	Podlesnii Igor	1982	dr.	1.0	01.09.2021
18.	Popov Serghei	1966	dr.	-0,5	
19.	Podlesnii Igor	1982	dr.	0.5	01.09.2021
20.	Mirzac Alexandra	1990	dr.	-1.0	
21.	Cârlig Sergiu	1978	dr.	0.5	01.10.2021
22.	Bardețchi Profirie	1944	dr.	0.5	01.10.2021

Ponderea tinerilor (%) din numărul total al executorilor la data raportării	31,6
--	------

Director adjunct al organizației _____ / Alexei Meșalchin

Economist șef _____ / Larisa Mitroșenco

Conducătorul de proiect _____ / Mihai Macovei

Data: _____