

RECEPȚIONAT

Ministerul Educației și Cercetării

_____ 2025

AVIZAT

Secția Academiei de Științe a Moldovei

_____ 2025

UNIVERSITATEA DE STAT DIN MOLDOVA

(denumirea organizației de drept public din domeniile cercetării și inovării)

INSTITUTUL DE FIZICĂ APLICATĂ

(denumirea unității de cercetare)

RAPORT ȘTIINȚIFIC ANUAL**pentru etapa 2024****privind realizarea subprogramului de cercetare în cadrul
programului instituțional de cercetare al organizației (2024-2027)****Titlul subprogramului OPTICA CUANTICĂ NELINIARĂ ÎN CÂMPURI
ELECTROMAGNETICE COERENTE DE FRECVENȚĂ ÎNALTĂ****Prioritatea strategică Tehnologii inovative, energie sustenabilă, digitalizare****Codul subprogramului 011205**

Directorul unității de cercetare

ȘIKIMAKA Olga

(numele, prenumele)

(semnătura)

Coordonatorul subprogramului
de cercetareMACOVEI Mihai

(numele, prenumele)

(semnătura)

Chișinău, 2025

CUPRINS:

1.	Scopul și obiectivele etapei 2024	3
2.	Acțiunile planificate pentru etapa 2024	3
3.	Acțiunile realizate în 2024	4
4.	Rezultatele obținute	4
5.	Impactul științific, social și/ sau economic al rezultatelor științifice obținute	9
6.	Diseminarea rezultatelor obținute în subprogram în formă de publicații	9
7.	Diseminarea rezultatelor obținute în subprogram în formă de prezentări la foruri științifice	9
8.	Promovarea rezultatelor cercetărilor obținute în subprogram în mass-media	9
9.	Colaborare la nivel național și internațional	9
10.	Teze de doctorat/ postdoctorat susținute și confirmate în anul 2024 de membrii echipei subprogramului	10
11.	Dificultăți în realizarea subprogramului (financiare, organizatorice, legate de resursele umane etc.)	10
12.	Concluzii	11
13.	Anexe	12
	<i>Anexa nr. 1. Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în subprogram în anul 2024 (în limba română și în limba engleză)</i>	12
	<i>Anexa nr. 2. Lista lucrărilor științifice, științifico-metodice și didactice publicate în anul 2024 în cadrul subprogramului de cercetare</i>	14
	<i>Anexa nr. 3. Componenta echipei de cercetare a subprogramului</i>	16

1. Scopul și obiectivele etapei 2024

Etapa anului 2024 a prezentului proiect are denumirea „Statistica cuantica sub-Poissoniană la excitarea sistemelor colective de nuclee cu câmpuri electromagnetice coerente și intense de raze X”, obiectivul aprobat al etapei fiind „propunerea unui formalism teoretic bazat pe descrierea cuantica a unui model hibrid ce constă din sisteme de nuclee (unii izotopi ai fierului, de exemplu) plasate între nano-straturi din diferite materiale pentru a demonstra posibilitatea excitării nucleelor prin intermediul efectelor colective de către radiația de la sursa synchrotron de raze X și descrierea statisticii cuantice a acestora, astfel încât să existe și concordanța dintre datele experimentale și modelul teoretic dezvoltat.”

Ca rezultate preconizate ale executării etapei date au fost aprobate următoarele:

„Va fi propus modelul fenomenului interfeței cuantice hibride eficiente ce permite excitarea sistemelor de nuclee plasate între nano-straturi din diverse materiale.

Se vor stabili valori/domenii ale parametrilor de control necesar pentru generarea de statistici cuantice în domeniul razelor X.”

Indicatorii de cuantificare a rezultatelor obținute la executarea etapei date sunt:

- publicații în reviste internaționale de specialitate cu un factor de impact mare,
- organizarea seminarelor științifice pentru diseminarea rezultatelor obținute,
- pregătirea tinerilor prin programul de doctorat oferit de Instituțiile de profil naționale.

2. Acțiunile planificate pentru etapa 2024

Pentru realizarea etapei anului 2024 a subprogramului, aceasta a fost împărțită în 4 subetape, a câte trei luni calendaristice, fiecare din acestea având un propriu rezultat preconizat/ obiectiv, pentru care a fost aprobat și câte un indicator de cuantificare a rezultatelor obținute.

Subetapa 1 (ianuarie - martie) – „Stabilirea modelului analitic pentru investigarea interacțiunii nucleelor cu un câmp coerent de raze X.”

Rezultatul preconizat al subetapei: obținerea Hamiltonianului de interacțiune a nucleelor excitate cu un câmp coerent de raze X.

Indicatori de cuantificare a rezultatelor obținute la realizarea subetapei: forma compactă a Hamiltonianului.

Subetapa 2 (aprilie – iunie) – „Determinarea dinamicii nucleelor excitați de surse intense de lumina coerenta de raze X.”

Rezultatul preconizat al subetapei: soluționarea ecuațiilor mișcării ce descriu sistemul de nuclee plasați în rezonator, modul căruia este pompat cu un câmp intens de fotoni din spectrul razelor X.

Indicatori de cuantificare a rezultatelor obținute la realizarea subetapei: soluția ecuațiilor de mișcare.

Subetapa 3 (iulie – septembrie) – „Estimarea funcțiilor de corelație Glauber între nucleii excitați și fotoni de raza X.”

Rezultatul preconizat al subetapei: calcularea funcțiilor de corelație de gradul doi între nucleii excitați, fotoni de raza X sau nucleii-fotoni.

Indicatori de cuantificare a rezultatelor obținute: obținerea graficelor funcțiilor de corelații ale nucleelor excitați.

Subetapa 4 (octombrie - decembrie) – „Stabilirea parametrilor de control necesar pentru generarea statisticii cuantice sub-Poissoniene în domeniul frecvențelor razelor X.”

Rezultatul preconizat al subetapei: demonstrarea naturii cuantice a corelațiilor nucleelor în interacțiunea lor cu fotoni de rază X.

Indicatori de cuantificare a rezultatelor obținute la realizarea subetapei: prezentarea manuscriselor articolelor științifice bazate pe rezultatele obținute la această etapă.

3. Acțiunile realizate în 2024

Subiectele propuse au fost realizate integral folosindu-se metode analitice adecvate ale fizicii teoretice, însă adaptate pentru descrierea fenomenelor în diapazonul razelor X. O astfel de metodă este tehnica standard a ecuației master, care, aplicată modelelor emițătorilor cu număr mic de nivele energetice distanțate regulat sau neregulat, a fost modificată corespunzător pentru a trata detaliile și atinge obiectivele specifice ale fiecărei etape în parte. De asemenea, s-au folosit metode numerice de modelare și analiză a sistemelor propuse, adecvate descrierii complexității interacțiunilor a mai multor nuclee, inclusiv celor mediate de diverși rezonatori la frecvențele razelor coerent X.

4. Rezultatele obținute

În conformitate cu tematica etapei și planul de activități propus, pornind de la cele mai recente realizări în studiile experimentale și teoretice [1-3] ale sistemelor cuantice cu interacțiuni cooperative între mai mulți emițători cu două niveluri energetice, a fost ales pentru studiu interacțiunea colectivă a unui ansamblu mic și foarte compact de N emițători cu două niveluri energetice aflați în repaos, interacționând cu radiația coerentă a unui laser, aplicată din exterior. Distanțele dintre particule fiind mai mici decât lungimea de undă a radiației emise corespunzătoare, interacțiunile dipol-dipol dintre emițătorii cu două niveluri sunt relevante și trebuie luate în considerație. Ne-am concentrat atenția, în special, asupra situației în care frecvența Rabi, care apare datorită interacțiunii la rezonanță a ansamblului de emițători cu radiația coerentă a laserului comensurabilă cu puterea interacțiunii dipol-dipol, dar totuși mai mare. În aceste condiții, am calculat analitic spectrul de fluorescență de rezonanță colectivă, împrăștiat spontan de emițătorii cu două niveluri care interacționează dipol-dipol, pompați de laser, și am constatat că acesta constă din $2N + 1$ linii spectrale distincte. Fiecare dintre cele N linii spectrale laterale sunt plasate simetric față de linia centrală ce coincide cu linia radiației laserului. În plus, aceste benzi laterale spectrale devin bine distincte dacă puterea cuplajului dipol-dipol, presupusă constantă pentru toate perechile de emițători implicați, este mai mare decât relaxarea spontană colectivă (dezintegrarea stărilor).

Modelul teoretic studiat

Sistemul considerat de noi constă dintr-un ansamblu de N emițători cu două niveluri, interacționând dipol-dipol și pompați coerent din exterior de un laser, sistemul fiind de tip Dicke [4]. Hamiltonianul ce descrie sistemul dat, în aproximațiile de dipol și de undă rotativă [2,5-11], în care frecvența de rotație a sistemului de referință este chiar frecvența radiației laserului ω_L , va fi de forma:

$$H = \sum_k \hbar(\omega_k - \omega_L) a_k^\dagger a_k + \hbar \Delta S_z + \hbar \Omega(S^+ + S^-) - \hbar \tilde{\delta} S^+ S^- + i \sum_k (\vec{g}_k \cdot \vec{d})(a_k^\dagger S^- - S^+ a_k), \quad (1)$$

unde $\Delta = \omega_0 - \omega_L + \tilde{\delta}$, iar ω_0 fiind frecvența radiației emisă de emițători. Operatorii atomici colectivi, $S^+ = \sum_{j=1}^N |e\rangle_{jj} \langle g|$ și $S^- = [S^+]^\dagger$, satisfac relațiile de comutare uzuale ale algebrei su(2),

adică $[S^+, S^-] = 2S_z$ și $[S_z, S^\pm] = \pm S^\pm$, unde $S_z = \sum_{j=1}^N (|e\rangle_{jj} \langle e| - |g\rangle_{jj} \langle g|) / 2$ este operatorul de inversie al stărilor pure. $|e\rangle_j$ și $|g\rangle_j$ sunt stările excitate și, respectiv, de bază ale emițătorului j ,

iar $a_k^\dagger$ și a_k sunt operatorii de creare și anihilare ale câmpului electromagnetic al mediului (CEM) din rezervorul vidat, care satisfac relațiile de comutare bosonice standard $[a_k, a_{k'}^\dagger] = \delta_{kk'}$ și $[a_k, a_{k'}] = [a_k^\dagger, a_{k'}^\dagger] = 0$ [2,5-11]. În Hamiltonianul (1), energiile libere ale modelelor de vid ale CEM și ale subsistemelor atomice sunt date de primii doi termeni ai Hamiltonianului. Termenii trei și patru descriu interacțiunea emițătorilor cu două niveluri cu radiația laserului și CEM ale vidului înconjurător. Ω este frecvența Rabi datorată câmpului extern coerent al radiației laserului, iar $\vec{g}_k = \sqrt{2\pi\hbar\omega_k/V}\vec{e}_p$ reprezintă cuplarea între atomii cu puține niveluri și modele CEM ale vidului. $\vec{e}_p$ folosit aici este vectorul de polarizare al fotonului ($p \in \{1, 2\}$), iar V este volumul de cuantizare.

Sub acțiunea radiației laserului, sistemul este convenabil descris folosind formalismul stărilor îmbrăcate [12,13]: $|e\rangle_j = \cos\theta|\tilde{e}\rangle_j - \sin\theta|\tilde{g}\rangle_j$ și $|g\rangle_j = \sin\theta|\tilde{e}\rangle_j + \cos\theta|\tilde{g}\rangle_j$ cu $\cot 2\theta = \Delta/2\Omega$. Hamiltonianul sistemului (1) poate fi rescris ca $H = H_0 + H_I$, unde

$$\begin{aligned} H_0 &= \sum_k \hbar(\omega_k - \omega_L) a_k^\dagger a_k + \hbar\bar{G}R_z - \hbar\bar{\delta}R^+R^-, \\ H_I &= i\sum_k (\vec{g}_k \cdot \vec{d}) \{a_k^\dagger (\sin 2\theta R_z/2 + \cos^2\theta R^- - \sin^2\theta R^+) - H.c.\}, \end{aligned} \quad (2)$$

în care $\bar{G} = G + \tilde{\delta}(\sin^4\theta - \sin^2 2\theta/2)$, $G = \sqrt{\Omega^2 + (\Delta/2)^2}$ și $\bar{\delta} = \tilde{\delta}(\cos^4\theta + \sin^4\theta - \sin^2 2\theta)$. Noi am neglijat termenii rapid-oscilanți, proporționali cu $e^{\pm ikGt}$, $\{k=2, 4\}$ din partea Hamiltonianului descriind interacțiunea dipol-dipol, deoarece am presupus că $\Omega \gg \tilde{\delta}$, precum și am folosit relația

$R_z^2/4 + (R^+R^- + R^-R^+)/2 = j(j+1)$, cu $j = N/2$. Noii operatori cuazi-spin $R^+ = \sum_{j=1}^N |\tilde{e}\rangle_{jj} \langle \tilde{g}|$, $R^- = [R^+]^\dagger$ și $R_z = \sum_{j=1}^N (|\tilde{e}\rangle_j \langle \tilde{e}| - |\tilde{g}\rangle_{jj} \langle \tilde{g}|)$ operează într-un tablou de stări îmbrăcate și respectă relațiile de comutație $[R^+, R^-] = R_z$ și $[R_z, R^\pm] = \pm 2R^\pm$.

Forma finală a ecuației master descriind doar subsistemul atomic, dedusă după cum este descris în pas-cu-pas în articolul nostru [18], va fi

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}\rho(t) + \frac{i}{\hbar}[H_a, \rho(t)] &= -\frac{\Gamma_0}{8}\sin^2 2\theta[R_z, R_z\rho] - \\ &- \frac{1}{2}\cos^4\theta[R^+, \hat{\Gamma}^{(+)}R^-\rho] - \frac{1}{2}\sin^4\theta[R^-, R^+\hat{\Gamma}^{(-)}\rho] + H.c., \end{aligned} \quad (3)$$

unde $\Gamma_0 = \gamma(\omega_L)$ și $\hat{\Gamma}^{(\pm)} = \gamma(\omega_L \pm \hat{\omega})$ sunt ratele de dezintegrare spontane, adică $\gamma(\omega) = 2d^2\omega^3/(3\hbar c^3)$, pentru frecvențele ω_L și $\omega_L \pm \hat{\omega}$, corespunzător. Menționăm că, am folosit aproximația seculară pentru a obține relația (3), adică am neglijat termenii rapid oscilanți proporționali cu $e^{\pm ik\bar{G}t}$, $\{k \in 2, 4\}$, ceea ce semnifică că $2\bar{G} \gg \{N\gamma(\omega_L), \bar{\delta}\}$. De asemenea, observăm că $\hat{\Gamma}^{(\pm)} \approx \Gamma_0 \equiv \gamma$ deoarece valorile proprii ale operatorului de inversie al stărilor îmbrăcate ia valori de $\pm N$ și noi considerăm că $\omega_L \gg 2\bar{G} \pm \bar{\delta}N$.

La rezonanță, când $\Delta = 0$ sau $\omega_L = \omega_0 + \tilde{\delta}$, avem $\theta = \pi/4$ și ecuația master (3) are o soluție pentru starea staționară

$$\rho_s = \frac{\hat{I}}{N+1}, \quad (4)$$

unde $\hat{I}$ este operatorul unitate [2,14]. Soluția pentru starea staționară (4) vom folosi-o la deducerea

spectrului de fluorescență de rezonanță a atomilor cu două niveluri energetice interacționând dipol-dipol sub acțiunea unui radiații coerente moderat intensă al unui laser.

Spectrul de fluorescență de rezonanță colectiv

În limita câmpului îndepărtat, $R = |\vec{R}| \ll \lambda$, întregul spectru de fluorescență în starea staționară poate fi exprimat prin operatori atomici colectivi ca

$$S(\nu) = \Phi(R) \text{Re} \left\{ \int_0^\infty d\tau e^{i(\nu - \omega_L)\tau} \langle S^+ S^-(\tau) \rangle_s \right\}, \quad (5)$$

unde subindicele s indică starea staționară. În continuare, vom considera $\Phi(R)$ - un factor geometric, valoarea căruia o fixăm ca unitate, iar ν va indica frecvența fotonului. În tabloul stărilor îmbrăcate, la rezonanță, adică atunci când $\theta = \pi/4$, spectrul de fluorescență se modifică în aproximația seculară devenind

$$S(\nu) = \text{Re} \int_0^\infty d\tau e^{i(\nu - \omega_L)\tau} \left\{ \langle R_z R_z(\tau) \rangle_s + \langle R^+ R^-(\tau) \rangle_s + \langle R^- R^+(\tau) \rangle_s \right\} / 4. \quad (6)$$

Acum, folosind ecuația master (3), pot fi obținute dependențele de timp ale operatorilor colectivi a stărilor îmbrăcate din (6) pentru cazul spectrului de fluorescență de rezonanță [18]:

$$\begin{aligned} R_z(\tau) &= R_z e^{-\gamma\tau/2}, \\ R^-(\tau) &= e^{-(i\hat{\omega} + \hat{\gamma}_c)\tau} R^-, \\ R^+(\tau) &= R^+ e^{(i\hat{\omega} - \hat{\gamma}_c)\tau}, \end{aligned} \quad (7)$$

unde, pentru $\theta = \pi/4$, $\hat{\gamma}_c = \gamma(1 + 2R^- R^+) / 4$ (vezi Anexa A din [18]), și în care am luat în considerație că $\hat{\omega} = 2\Omega - \tilde{\delta}(1 + R_z) / 2$. Introducând soluțiile dependente de timp (7) în (6), integrând și folosind teorema regresiei cuantice, se ajunge la următoarea expresie exactă pentru spectrul de fluorescență de rezonanță colectiv necoerent pentru starea staționară

$$S(\nu) = \frac{1}{4} \left\{ \sum_{\pm} \sum_{n=0}^N I_n^{(\pm)} \frac{\gamma_n^{(\pm)}}{\gamma_n^{(\pm)2} + (\nu - \omega_n^{(\pm)})^2} + I_0 \frac{\gamma/2}{(\gamma/2)^2 + (\nu - \omega_L)^2} \right\}. \quad (8)$$

Aici, prin $\sum_{\pm}$ indicăm că ambele seturi de linii spectrale, care apar cu semnul plus și minus, trebuie incorporate în sumă. De asemenea, $I_0 = N(N+2)/3$, $I_n^{(+)} = n(N-n+1)/(N+1)$, $I_n^{(-)} = (n+1)(N-n)/(N+1)$, $\gamma_n^{(+)} = \gamma(1 + 2n(N-n+1))/4$, $\gamma_n^{(-)} = \gamma(1 + 2(n+1)(N-n))/4$ și $\omega_n^{(\pm)} = \omega_L \pm 2\Omega \mp \tilde{\delta}(2n - N \mp 1)/2$, respectiv. Menționăm că, spectrul de fluorescență de rezonanță colectiv incoerent, dat de (8), este valabil în aproximația seculară, atunci când $2\Omega > \delta \gg N\gamma$. Prin urmare, corecțiile introduse în aproximația seculară sunt de ordinul lui $(\delta/2\Omega)^2$, iar statistici sub-Poissoniene în astfel de modele pot fi obținute la pomparea cu surse incoerente de frecvențe înalte [19].

Rezultate și discuții

Pentru cazul când $\delta/2\Omega \rightarrow 0$ am găsit că spectrul de fluorescență de rezonanță colectiv constă din trei linii spectrale, asemănător spectrului Mollow, dar lucrurile devin complet diferite în cazul care $\delta/2\Omega \neq 0$ și $\delta/2\Omega < 1$, cum și este cazul discutat de noi. De fapt, linii spectrale laterale adiționale apar, ele fiind centrate în jurul valorii $\omega_L \pm 2\Omega$. Evident, aceasta are loc datorită interacțiunii dipol-dipol între emițătorii cu două niveluri.

În acest context, în Fig. 1(a) este prezentat spectrul de fluorescență de rezonanță incoerent pentru un sistem conținând doi emițători ($N = 2$), în limita Dicke, adică atunci când distanța la care sunt plasați cei doi atomi este mult mai mică decât lungimea de undă a fotonului emis și este luată în considerație și interacțiunea dipol-dipol. Spectrul constă, în acest caz din cinci linii

spectrale simetric plasate la $\nu = \omega_L$ și $\nu - \omega_L = \pm 2\Omega \pm \delta/2$. Diferența de frecvență între două linii spectrale, plasate în jurul valorii $\nu - \omega_L = \pm 2\Omega$, este egală cu coeficientul ce descrie interacțiunea dipol-dipol δ . Mai amănunțit acest lucru este explicat în [15], precum și în articolul nostru [18]: spectrul de fluorescență emis spontan este dat de tranzițiile între stările colective îmbrăcate *radiație laser-emîțător*.

Spre deosebire de cazul prezentat mai sus, în Fig. 1(b) este prezentat spectrul de fluorescență de rezonanță incoerent al $N = 3$ emițători cu două niveluri, considerați, de asemenea, în condițiile $\Delta/\gamma = 0$ și în limita Dicke. De această dată, spectrul constă din șapte linii spectrale plasate, corespunzător, la $\nu = \omega_L$, $\nu = \omega_L \pm 2\Omega$ și $\nu - \omega_L = \pm 2\Omega \pm \delta/2$, amănunțit descris în articolul nostru [18]. Și în acest caz, cele trei linii spectrale plasate în vecinătatea $\nu - \omega_L = \pm 2\Omega$ sunt localizate în limita cuplării dipol-dipol δ .

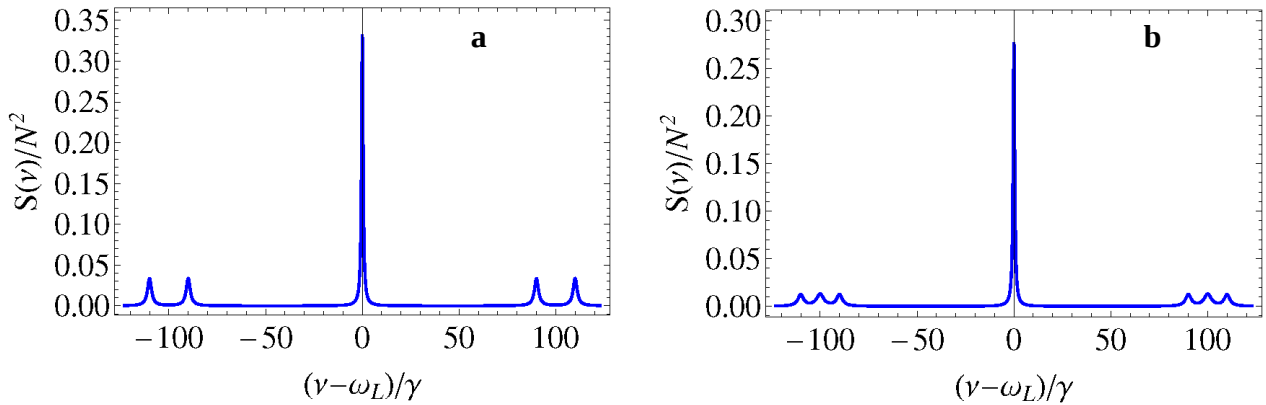


Fig. 1. Spectrul de fluorescență de rezonanță colectiv scalat $S(\nu)/N^2$ ca funcție de $(\nu - \omega_L)/\gamma$ în cazurile: (a) - $N = 2$ și (b) - $N = 3$.
Parametri utilizați: $2\Omega/\gamma = 100$, $\Delta/\gamma = 0$ și $\delta/(2\Omega) = 0.2$

Generalizând, putem menționa că spectrul de fluorescență de rezonanță cooperativ a unui ansamblu de N emițători cu două niveluri, pompați moderat de intens de un laser, în limita Dicke și cu luarea în considerație a interacțiunii dipol-dipol, constă din $2N + 1$ linii spectrale. O linie spectrală va fi plasată la $\nu = \omega_L$, iar $2N$ linii spectrale vor apărea plasate simetric în vecinătatea regiunilor de frecvențe $\nu - \omega_L = \pm 2\Omega$, respectiv. Liniile laterale apar datorită tranzițiilor între $N + 1$ stări colective Dicke formate din stări individuale îmbrăcate *radiație laser-emîțător*, ceea ce am descris mai amănunțit în publicația noastră cu rezultatele obținute [18]. De remarcat este faptul că, din cele observate, putem estima numărul de emițători cu două niveluri implicați în fluorescență măsurând spectrul de fluorescență de rezonanță colectiv incoerent, deoarece numărul de benzi laterale va fi N . Separarea între aceste N linii spectrale, generate de fiecare parte față de linia centrală plasată la $\nu = \omega_L$, va fi $\delta/(N - 1)$. Aceste linii sunt distincte dacă $\delta/(N - 1) \ll \gamma$ atunci când $\Delta/\gamma = 0$ sau, echivalent, $\omega_L \equiv \omega_0 + \tilde{\delta}$. Determinând astfel din spectru cuplarea dipol-dipol, devine posibilă și determinarea distanței medii între atomii (emițătorii) cu două nivele energetice dacă aceștia sunt plasați destul de aproape unul față de altul, deoarece în acest caz interacțiunea dipol-dipol, δ , este invers proporțională cubului distanței medii între particule, a se vedea și [16]. În [17] tot se ajunge la concluzia că, o creștere a numărului de emițători în interacțiune duce la o creștere a numărului de componente adiționale în spectru.

Deoarece, după cum am văzut, liniile spectrale sunt bine separate în cazul $2\Omega > \delta \ll N\gamma$,

putem deduce că, ansamblurile mari de emițători, în care este satisfăcută condiția $2\Omega/N\gamma \ll 1$, vor duce la formarea unui spectru Mollow cu trei linii, în care cele două linii laterale, apărute în regiunea $\nu = \omega_L \pm 2\Omega$, se vor lăți dacă $\delta/(N-1) \sim \gamma$, adică vom avea o suprapunere a liniilor în acest caz. Lățimea acestor două linii, localizate la $\nu = \omega_L \pm 2\Omega$, în spectrul de tip Mollow, va fi de valori apropiate puterii de cuplare dipol-dipol, δ , și se poate anticipa că benzile laterale vor avea tendința de a se suprapune pentru valori mai mici ale cuplării dipol-dipol.

În final, ce ține de realizarea experimentală, la moment nu există surse coerente continue de fotoni în tot diapazonul razelor X. Mai mult, este dificilă realizarea experimentală a interacțiunii colective precum este considerat în modelul nostru. Însă, trebuie evidențiat progresul esențial în acest domeniu în ultima perioadă, vezi, de exemplu [3].

Referințe bibliografice

- [1] G. Ferioli, A. Glicenstein, I. Ferrier-Barbut, and A. Browaeys, A non-equilibrium superradiant phase transition in free space, *Nature Physics* **19**, 1345 (2023).
- [2] R. R. Puri, *Mathematical Methods of Quantum Optics* (Springer, Berlin, 2001).
- [3] B. W. Adams, Ch. Buth, S. M. Cavaletto, J. Evers, Z. Harman, Ch. H. Keitel, A. Pálffy, A. Picon, R. Röhlsberger, Y. Rostovtsev, and K. Tamasaku, X-ray quantum optics, *J. Mod. Opt.* **60**, 2 (2013).
- [4] R. H. Dicke, Coherence in Spontaneous Radiation Processes, *Phys. Rev.* **93**, 99 (1954).
- [5] G. S. Agarwal, *Quantum Statistical Theories of Spontaneous Emission and their Relation to Other Approaches* (Springer, Berlin, 1974).
- [6] M. Gross, and S. Haroche, Superradiance: An essay on the theory of collective spontaneous emission, *Phys. Rep.* **93**, 301 (1982).
- [7] H. S. Freedhoff, Spontaneous emission by a fully excited system of three identical atoms, *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* **19**, 3035 (1986).
- [8] A. V. Andreev, V. I. Emel'yanov, and Y. A. Il'inskii, Cooperative Effects in Optics: Superfluorescence and Phase Transitions (IOP, London, 1993).
- [9] J. Peng and G.-X. Li, *Introduction to Modern Quantum Optics* (World Scientific, Singapore, 1998).
- [10] Z. Ficek and S. Swain, *Quantum Interference and Coherence: Theory and Experiments* (Springer, Berlin, 2005).
- [11] M. Kiffner, M. Macovei, J. Evers, and C. H. Keitel, Vacuum-induced processes in multilevel atoms, *Progress in Optics* **55**, 85 (2010).
- [12] C. Cohen-Tannoudji, *Atoms in Electromagnetic Fields* (World Scientific, London, 1994).
- [13] M. O. Scully and M. S. Zubairy, *Quantum Optics* (Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 1997).
- [14] G. S. Agarwal, L. M. Narducci, D. H. Feng, and R. Gilmore, *Phys. Rev. Lett.* **42**, 1260 (1979).
- [15] M. Macovei, and C. H. Keitel, Laser Control of Collective Spontaneous Emission, *Phys. Rev. Lett.* **91**, 123601 (2003).
- [16] J.-T. Chang, J. Evers, M. O. Scully, and M. S. Zubairy, Measurement of the separation between atoms beyond diffraction limit, *Phys. Rev. A* **73**, 031803(R) (2006).
- [17] S. J. Kilin, Cooperative resonance fluorescence and atomic interactions, *J. Phys. B: Atom. Molec. Phys.* **13** 2653 (1980).
- [18] P. Bardetski and M. A. Macovei, Dipole-dipole-interacting two-level emitters in a moderately intense laser field, *Phys. Rev. A* **110**, 043720 (2024).
- [19] M. A. Macovei, Dense dipole-dipole-coupled two-level systems in a thermal bath. *Phys*

5. Impactul științific, social și/ sau economic al rezultatelor științifice obținute

Deoarece rezultatele proiectului propus prezintă interes cercetătorilor teoreticieni, experimentatorilor, inginerilor proiectanți ai diverselor dispozitive performante din domeniul cuantic și nanotehnologiilor cu radiații de frecvență înaltă, precum și datorită modului larg și deschis de diseminare a rezultatelor, se poate aștepta că rezultatele obținute în subprogram ar putea să-și găsească loc la studiul experimental al efectelor colective la frecvență înaltă.

Proiectul este de tip fundamental, într-un domeniu modern de frontiera ce ține de utilizarea câmpurilor electromagnetice coerente și intense de raze X, și se poate aștepta că și în continuare rezultatele, diseminate liber prin publicații științifice și prezentărilor la conferințe, vor atrage atenția comunității științifice. Rezultatele obținute, oportunitățile de cercetare și experiența acumulată va contribui la formarea specialiștilor noi, inclusiv prin formare a noi specialiști de nivel ridicat prin studii master sau doctorale, pentru care membrii echipei de executori vor putea fi conducători științifici. Experiența acumulată și potențialul uman format/întărit în urma execuției proiectului, pe de altă parte, va permite și pe viitor participarea executorilor în obținerea și execuția altor proiecte, inclusiv cu caracter aplicativ sau experimental/de încercare, care vor permite obținerea unor rezultate comerciale.

6. Diseminarea rezultatelor obținute în subprogram în formă de publicații

Anexa 2

7. Diseminarea rezultatelor obținute în subprogram în formă de prezentări la foruri științifice

Rezultate obținute pe durata executării etapei anului 2024 a subprogramului au mai stat la baza următoarelor rapoarte științifice la conferințe științifice internaționale, care însă nu practică publicarea materialelor/ rezumatelor lucrărilor lor.

- **MACOVEI, M.** Dense Two-Level Ensembles in a Laser Field, Raport oral în cadrul: *World Quantum Days in IFIN-HH*, Bucharest, Romania, April 15-18, 2024 (Program disponibil: <https://indico.nipne.ro/event/331/>). Prezentarea disponibilă: https://indico.nipne.ro/event/331/contributions/1346/attachments/616/1039/D3S3-1%20Macovei_QDays_RO24.pdf [accesat 2025-01-16]
- **CEBAN, V.** Quantum Interferences with a Laser Driven Atom in an Optical Cavity, Raport oral în cadrul: *World Quantum Days in IFIN-HH*, Bucharest, Romania, April 15-18, 2024 (Program disponibil: <https://indico.nipne.ro/event/331/>). [accesat 2025-01-16]

8. Promovarea rezultatelor cercetărilor obținute în subprogram în mass-media

N/A

9. Colaborare la nivel național și internațional

În anul de referință Laboratorul Fotonica Cuantică a continuat colaborarea cu colegii de la Departamentul de Fizică Teoretică al IFIN, București, România.

Grație colaborării date, în anul curent a fost obținut un grant de proiect bilateral Moldo-Român, care tematic vine ca o extindere a tematicii subprogramului dat:

MD-RO 5ROMD/20/05/2024 „Corelații Cuantice în Sisteme cu Punct Cuantic Dublu Cuplat

Neliniar cu un Microrezonator”;

director proiect: prof., dr. Aurelian Isar, IFIN, București, România;

co-director: dr. hab., conf. Mihai A. Macovei, IFA USM;

durata: mai 2024 - mai 2026;

buget total: apr. 72000 EUR.

În cadrul colaborării date, executorii subprogramului au beneficiat de 5 deplasări la colegii lor din IFIN, Romania în anul 2024:

- dr. V. Ceban, 3 - 16 martie;
- dr. hab. M. Macovei, 1 iulie – 2 august;
- dr. V. Ceban, 4 august – 20 septembrie;
- dr. hab. M. Macovei, 28 octombrie – 19 noiembrie;
- dr. V. Ceban, 10 – 19 noiembrie.

Scopul acestor deplasări a fost executarea lucrărilor comune în cadrul proiectului bilateral precum și folosirea facilităților IFIN (București, România) pentru executarea modelărilor numerice ale modelelor teoretice studiate în cadrul subprogramului dat.

La nivel național, menționăm că doi din membrii echipei, concomitent cu activitățile de cercetare, sunt implicați și în activități didactice (dr. hab. M. Macovei – USM, dr. S. Cârlig – Liceul Prometeu-Prim și activitatea în Lotul Olimpic Național la fizică).

10. Teze de doctorat/ postdoctorat susținute și confirmate în anul 2024 de membrii echipei subprogramului

În 2024 unul din executorii subprogramului a susținut public teza de doctor în științe (actual dosarul este prezentat ANACEC):

pretendent: Irina Cebotari (IFA USM);

denumirea tezei: Analiza diagramatica a sistemelor electronilor puternic corelați, care interacționează între ei și cu fononii optici,

specialitatea: 131.01 – Fizica matematică;

conducător științific: Vsevolod Moscalenco, dr. hab., prof. univ., acad.;

consultant științific: Leonid Dohotaru, dr., conf. univ. (UTM);

data susținerii: 20 decembrie 2024;

Consiliului Științific Specializat: D 131.01-24-27 din cadrul IFA USM.

11. Dificultăți în realizarea subprogramului (financiare, organizatorice, legate de resursele umane etc.)

Procedura complicată de achiziționare a bunurilor necesare pentru executarea proiectului sunt cea mai acută problemă întâlnită de executării proiectului. Probleme există și în cazul dacă dorim să beneficiem de servicii de reparație sau întreținere a tehnicii de calcul și rețelisticii noastre.

Suntem de părerea că avem un sistem excesiv de centralizat, și cu multe niveluri de aprobări, pentru procedurile de colectare a cererilor de achiziție (și a caietelor de sarcini), întârzierile cauzate de aprobarea bugetelor pentru achiziții, apoi de publicare a anunțurilor de achiziții, de diseminarea înapoi (nouă) a rezultatelor concursurilor de achiziții (care de multe ori sunt nereușite!).

Am menționa și formularea de către serviciile USM a unor cerințe nejustificate la perfectarea caietelor de sarcini. De exemplu există recent formulata recomandare de a procura calculatoare personale de modele unificate, de configurație și asamblare standard (sisteme doar în configurația propusă de producător), ba chiar și de tip „all in one”. Procurarea sistemelor de tip „all in one” este o disipare nejustificată a resurselor financiare – asemenea calculatoare sunt mult mai scumpe decât

desktopurile obișnuite, sunt greu, și scump de reparat, și nici nu vin în configurații necesare activităților noastre (sunt, de obicei, calculatoare pentru oficiu). De asemenea, calculatoarele necesare pentru oficii vor fi diferite de cele necesare pentru calcule laborioase, care sunt diferite de calculatoarele necesare gestionării instalațiilor experimentale și așa mai departe – deci nu pot fi procurate calculatoare standard.

12. Concluzii

Rezultatele științifice obținute de executori în anul curent corespund obiectivelor și rezultatelor planificate. Toate obiectivele propuse inițial au fost atinse și realizate cu succes.

În realizarea etapei subproiectului au fost antrenate 12 persoane deținând 7,25 unități de funcții de cercetare și 1,0 unități de funcții administrative. Ponderea tinerilor (sub 40 ani) în echipa de executori a constituit 36.4%.

Pe baza rezultatelor obținute, în 2024 executorii au fost publicate 6 articole în reviste din bazele de date Web of Science și SCOPUS cu factor de impact și 9 teze/articole în lucrările conferințelor științifice internaționale din Republica Moldova. Încă două rapoarte orale au fost făcute la conferințe științifice internaționale de peste hotare, însă care nu publică teze/rezume ale lucrărilor sale.

Unul din executorii subprogramului a susținut în anul curent teza de doctor în științe.

Grație colaborării cu colegii din România, în anul curent a fost obținut un proiect bilateral Moldo-Român, care vine în extensia tematicii subprogramului dat. De asemenea, mulțumită colaborării cu colegii de la IFIN, București, România, s-a reușit delegarea, din contul părții primitoare, de mai multe ori a unor din executorii subprogramului la colegii din România pentru beneficia de facilitățile lor computaționale în scopul executării subprogramului dat.

Etapa anului 2024 a subprogramului, cu denumirea „Statistica cuantica sub-Poissoniană la excitarea sistemelor colective de nuclee cu câmpuri electromagnetice coerente și intense de raze X” a fost executat cu succes.

Coordonatorul subprogramului
de cercetare

MACOVEI Mihai
(numele, prenumele)

(semnătura)

Data: 30.01.2025

Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în subprogram în anul 2024
OPTICA CUANTICĂ NELINIARĂ ÎN CÂMPURI ELECTROMAGNETICE
COERENTE DE FRECVENȚĂ ÎNALTĂ
(denumirea subprogramului)

Codul subprogramului **011205**

Etapa anului 2024 a subprogramului 011205 „Optica cuantică neliniară în câmpuri electromagnetice coerente de frecvență înaltă” are denumirea „Statistica cuantica sub-Poissoniană la excitarea sistemelor colective de nuclee cu câmpuri electromagnetice coerente și intense de raze X.”

În conformitate cu tematica etapei și planul de activități propus, pornind de la cele mai recente realizări în studiile experimentale și teoretice ale sistemelor cuantice cu interacțiuni cooperative între mai mulți emițători cu două niveluri energetice, echipa executorilor a ales pentru studiu interacțiunea colectivă a unui ansamblu mic și foarte compact de N emițători cu două niveluri energetice aflați în repaos, interacționând cu radiația coerentă a unui laser, aplicată din exterior. Distanțele dintre particule fiind mai mici decât lungimea de undă a radiației emise corespunzătoare, interacțiunile dipol-dipol dintre emițătorii cu două niveluri sunt relevante și trebuie luate în considerație. Ne-am concentrat atenția, în special, asupra situației în care frecvența Rabi, care apare datorită interacțiunii la rezonanță a ansamblului de emițători cu radiația coerentă a laserului comensurabilă cu puterea interacțiunii dipol-dipol, dar totuși mai mare. În aceste condiții, am calculat analitic spectrul de fluorescență de rezonanță colectivă, împrăștiat spontan de emițătorii cu două niveluri care interacționează dipol-dipol, pompați de laser, și am constatat că acesta constă din $N+1$ linii spectrale distincte. Fiecare dintre cele N linii spectrale laterale sunt plasate simetric față de linia centrală ce coincide cu linia radiației laserului. În plus, aceste benzi laterale spectrale devin bine distincte dacă puterea cuplajului dipol-dipol, presupusă constantă pentru toate perechile de emițători implicați, este mai mare decât relaxarea spontană colectivă (dezintegrarea stărilor).

În concluziile făcute pe baza rezultatelor obținute, executorii înaintează și o serie de rezultate/preziceri cu caracter aplicabil, de interes pentru experimenterii – se propune o metodă de determinare a numărului de emițători și a parametrilor de distribuție spațială și de grad de interacțiune colectivă între acești emițători pornind de studiul formei și prezenței liniilor spectrale în spectrul de fluorescență al clusterului de material dat de acești emițători.

În realizarea etapei subproiectului au fost antrenate 12 persoane deținând 7,25 unități de funcții de cercetare și 1,0 unități de funcții administrative. Ponderea tinerilor (sub 40 ani) în echipa de executori a constituit 36,4%.

Pe baza rezultatelor obținute, în 2024 executorii au fost publicate 6 articole în reviste din bazele de date Web of Science și SCOPUS cu factor de impact și 9 teze/articole în lucrările conferințelor științifice internaționale din Republica Moldova. Încă două rapoarte orale au fost făcute la conferințe științifice internaționale de peste hotare, însă care nu publică teze/rezumele ale lucrărilor sale.

Unul din executorii subprogramului a susținut în anul curent teza de doctor în științe.

Rezultatele științifice obținute de executori în anul curent corespund obiectivelor și rezultatelor planificate. Toate obiectivele propuse inițial au fost atinse și realizate cu succes.

Coordonatorul subprogramului
de cercetare

MACOVEI Mihai

(numele, prenumele)

_____ (semnătura)

Data: 30.01.2025

Summary of Activity and Results Obtained in Subprogram in 2024
NONLINEAR QUANTUM OPTICS IN HIGH FREQUENCY COHERENT
ELECTROMAGNETIC FIELDS

(Subprogram Name)

Subprogram Code **011205**

The 2024 year phase of the subprogram 011205 “Non-linear quantum optics in high-frequency coherent electromagnetic fields” is entitled “Sub-Poissonian quantum statistics in the collective systems of nuclei under the intense coherent electromagnetic X-ray excitation.”

In accordance with the proposed subject of the phase and the proposed work plan, Thus, motivated by recent advances in experimental research dealing with cooperative interactions among many two-level emitters, here we investigate the collective interaction of a small and closely packed ensemble of N two-level motionless emitters with an externally applied coherent laser wave. The interparticle separations are less than the corresponding emission wavelength, therefore, the dipole-dipole interactions among the two-level radiators are included and can play a relevant role under specific conditions. Particularly, we focus on a situation when the Rabi frequency, arising due to the ensemble interaction with the resonantly applied coherent laser field, is larger than the collective spontaneous decay rate. On the other hand, it is commensurable to the dipole-dipole interaction strength, but still bigger. Under these conditions, we have analytically calculated the collective resonance fluorescence spectrum, spontaneously scattered by the laser-driven dipole-dipole interacting two-level radiators, and have found that it consists of $2N + 1$ spectral lines. Each of N spectral sidebands are symmetrically generated, with respect to the central spectral line at the laser frequency, around the Rabi frequency. Furthermore, these spectral sidebands become distinguishable if the dipole-dipole coupling strength, assumed constant for all involved atomic pairs, is larger than the collective spontaneous decay.

As a possible application of the reported results, a method for determining the number of emitters, their spatial distribution and degree of collective interaction of a closely packed ensemble of two-level emitters starting from the measurement of fluorescence spectrum and analysis of the distribution of its spectral lines was proposed.

For the subprogram phase implementation, 12 people were involved, holding 7.25 units of research functions and 1.0 unit of administrative function. The share of young people (under 40) in the team of executors was 36.4%.

Based on the results obtained, in 2024 executors published 6 articles in Web of Science and SCOPUS indexed journals with impact factor and 9 theses/articles in the proceedings of international scientific conferences in the Republic of Moldova. Two more oral reports were made at international scientific conferences abroad, but without publishing theses/articles.

One of the sub-program's executors defended his PhD thesis this year.

The scientific results achieved by the executors in the current year correspond to the planned objectives and estimated results. All of the proposed objectives have been achieved and successfully realized.

Research Subprogram

Coordinator

MACOVEI Mihai

(surname, first name)

(signature)

Date: 30.01.2025

**Lista lucrărilor științifice, științifico-metodice și didactice
publicate în anul 2024 în cadrul subprogramului de cercetare
OPTICA CUANTICĂ NELINIARĂ ÎN CÂMPURI ELECTROMAGNETICE
COERENTE DE FRECVENȚĂ ÎNALTĂ
(denumirea subprogramului)**

Codul subprogramului **011205**

4. Articole în reviste științifice

4.1. în reviste din bazele de date Web of Science și SCOPUS (cu indicarea factorului de impact IF)

- **BARDETSKI, P.; MACOVEI, M.A.** Dipole-dipole-interacting two-level emitters in a moderately intense laser field. *Phys. Rev. A.* 2024, **110(4)**, 043720-1—043720-9. DOI: [10.1103/PhysRevA.110.043720](https://doi.org/10.1103/PhysRevA.110.043720) (IF: 2,91, Q1) [accesat 2025-01-10].
- **MACOVEI, M.A.** Dense dipole-dipole-coupled two-level systems in a thermal bath. *Phys Rev A.* 2024, **110(2)**, 023712-1—023712-8. DOI: [10.1103/PhysRevA.110.023712](https://doi.org/10.1103/PhysRevA.110.023712) (IF: 2,91, Q1) [accesat 2025-01-10].
- **CEBAN, V.; MACOVEI, M.** Enhanced phonon lifetimes with optically controlled single molecules. *J Opt Soc Am B.* 2024, **41(1)**, 216—221. DOI: [10.1364/JOSAB.506974](https://doi.org/10.1364/JOSAB.506974) (IF: 2,05, Q2) [accesat 2025-01-10].
- **ABRAAMYAN, Kh.U.; AUSTIN, Ch.; BAZNAT, M.; GUDIMA, K.K.; KOZHIN, M.A.; REZNIKOV, S.G.; SORIN, A.S.** Observation of Structures at ~ 17 and ~ 38 MeV/c² in the $\gamma\gamma$ Invariant Mass Spectrum in dCu Collisions at a Momentum of 3.8 GeV/c per Nucleon. *Phys. Part. Nucl.* 2024, **55(4)**, 868—873. DOI: [10.1134/S1063779624700412](https://doi.org/10.1134/S1063779624700412) (IF: 0,45, Q3) [accesat 2025-01-10].
- **PALII, Yu.; BOGOLUBSKAYA, A.; YANOVICH, D.** Quantum Approximation Optimization Algorithm for the Ising Model in an External Magnetic Field. *Phys Part Nuclei.* 2024, **55(3)**, 600—602. DOI: [10.1134/S106377962403064X](https://doi.org/10.1134/S106377962403064X) (IF: 0,45, Q3) [accesat 2025-01-10].
- **CHEBOTAR', I.D.** Systems of Strongly Correlated Electrons Interacting with Each Other and with Phonons: Diagrammatic Approach. *Surf Eng Appl Elect.* 2024, **60(1)**, 94—108. DOI: [10.3103/S1068375524010058](https://doi.org/10.3103/S1068375524010058) (IF: 1,06, Q3) [accesat 2025-01-10].

6. Articole în lucrările conferințelor științifice

6.3. în lucrările conferințelor științifice naționale cu participare internațională din Republica Moldova

- **CARLIG, S.; BARDETSKI, P.; CIORNEA, V.; MACOVEI, M.A.** Oscilatorul anarmonic. În: „*Integrare prin cercetare și inovare*”, conferință științifică națională (2024; Chișinău). Conferința științifică națională cu participare internațională „*Integrare prin cercetare și inovare*”, dedicată Zilei Internaționale a Științei pentru Pace și Dezvoltare, 7-8 noiembrie 2024. Chișinău: CEP USM, 2024, pp. 780-785.
- **CARLIG, S.; BÎZGAN, S.; RUSU, A.** Examenul de BAC la Fizică – bariera dintre evaluați și evaluatori. În: „*Integrare prin cercetare și inovare*”, conferință științifică națională (2024; Chișinău). Conferința științifică națională cu participare internațională „*Integrare prin cercetare și inovare*”, dedicată Zilei Internaționale a Științei pentru Pace și Dezvoltare, 7-8 noiembrie 2024. Chișinău: CEP USM, 2024, pp. 786-791

7. Teze ale conferințelor științifice

7.2. în lucrările conferințelor științifice internaționale din Republica Moldova

- **CEBAN, V.; MACOVEI, M.A.** Long-Lived Phonons in Hybrid Optomechanical Devices. În: “*Materials Science and Condensed-Matter Physics*”, international conference (10; 2024; Chișinău): 10th International Conference on Materials Science and Condensed-

Matter Physics : MSCMP :Chisinau 2024 : dedicated to the 60th anniversary from the foundation of the Institute of Applied Physics, October 1-4, 2024 : Book of abstracts. Chişinău: CEP USM, 2024, p. 52.

https://mscmp.usm.md/wp-content/uploads/2024/10/MSCMP2024_Book_Abstracts.pdf

- **MACOVEI, M.A.** Dipole-Dipole Interacting Few-Level Emitters in a Thermostat. În: “Materials Science and Condensed-Matter Physics”, international conference (10; 2024; Chişinău): 10th International Conference on Materials Science and Condensed-Matter Physics : MSCMP :Chisinau 2024 : dedicated to the 60th anniversary from the foundation of the Institute of Applied Physics, October 1-4, 2024 : Book of abstracts. Chişinău: CEP USM, 2024, p. 58.
https://mscmp.usm.md/wp-content/uploads/2024/10/MSCMP2024_Book_Abstracts.pdf
- **CEBOTARI, I.D.** Systems with Strong Caoulomb and Electron-Phonon Interaction: Methods of Investigating and Results. În: “Materials Science and Condensed-Matter Physics”, international conference (10; 2024; Chişinău): 10th International Conference on Materials Science and Condensed-Matter Physics : MSCMP :Chisinau 2024 : dedicated to the 60th anniversary from the foundation of the Institute of Applied Physics, October 1-4, 2024 : Book of abstracts. Chişinău: CEP USM, 2024, p. 62.
https://mscmp.usm.md/wp-content/uploads/2024/10/MSCMP2024_Book_Abstracts.pdf
- **CUDREAŞOV, A.S.; BARDETSKI, P.; MACOVEI, M.A.** Dipole-Dipole Interacting Few-Level Emitters in a Thermostat. În: “Materials Science and Condensed-Matter Physics”, international conference (10; 2024; Chişinău): 10th International Conference on Materials Science and Condensed-Matter Physics : MSCMP :Chisinau 2024 : dedicated to the 60th anniversary from the foundation of the Institute of Applied Physics, October 1-4, 2024 : Book of abstracts. Chişinău: CEP USM, 2024, p. 64.
https://mscmp.usm.md/wp-content/uploads/2024/10/MSCMP2024_Book_Abstracts.pdf
- **BELOUSOV, I.V.; PAVLENKO, V.I.** Time-Resolved Emission from CdSe/CdS/CdZnS Quantum Dot Films. În: “Materials Science and Condensed-Matter Physics”, international conference (10; 2024; Chişinău): 10th International Conference on Materials Science and Condensed-Matter Physics : MSCMP :Chisinau 2024 : dedicated to the 60th anniversary from the foundation of the Institute of Applied Physics, October 1-4, 2024 : Book of abstracts. Chişinău: CEP USM, 2024, p. 162.
https://mscmp.usm.md/wp-content/uploads/2024/10/MSCMP2024_Book_Abstracts.pdf
- **PAVLENKO, V.I.; BELOUSOV, I.V.** Time-Integrated Photoluminescence from CdSe/CdS/CdZnS Quantum Dot Films. În: “Materials Science and Condensed-Matter Physics”, international conference (10; 2024; Chişinău): 10th International Conference on Materials Science and Condensed-Matter Physics : MSCMP :Chisinau 2024 : dedicated to the 60th anniversary from the foundation of the Institute of Applied Physics, October 1-4, 2024 : Book of abstracts. Chişinău: CEP USM, 2024, p. 163.
https://mscmp.usm.md/wp-content/uploads/2024/10/MSCMP2024_Book_Abstracts.pdf
- **CEBAN, V.; CECOI, E.; CÂRLIG, S.; MACOVEI, M.A.** Quantum Hybrid System’s Dynamics via Environmental Thermostat. În: “NANO-2024: “Quo Vadis–Ethics of the Scientific Research”: 15-18 April 2024, Chisinau : Program and proceedings of the conference. Chişinău: Blitz Poligraf, 2024, p. 26.
<https://humboldt-kolleg.utm.md/wp-content/uploads/2024/04/Book-Kolleg-MD-17-April-24.pdf>

Coordonatorul subprogramului
de cercetare

MACOVEI Mihai

(numele, prenumele)

(semnătura)

Data: 30.01.2025

Componenta echipei de cercetare
OPTICA CUANTICĂ NELINIARĂ ÎN CÂMPURI ELECTROMAGNETICE
COERENTE DE FRECVENȚĂ ÎNALTĂ
(denumirea subprogramului)

Codul subprogramului **011205**

Echipa subprogramului pentru 2024							
Nr	Nume, prenume	Anul nașterii	Titlul științific	Funcția	Norma de muncă	Data angajării	Data eliberării
1.	BARDEȚCHI Profirie	1944	dr	cercetător științific coordonator	0.25	02.01.2024	
2.	BAZNAT Mircea	1947		cercetător științific coordonator	0.25	02.01.2024	
3.	BELOUSOV Igor	1953	dr.hab.	cercetător științific principal	0.25	02.01.2024	
4.	CÂRLIG Sergiu	1978		cercetător științific coordonator	1.0	02.01.2024	
5.	CEBAN Victor	1987		cercetător științific coordonator	1.0	02.01.2024	
6.	CEBOTARI Irina	1985		cercetător științific superior	1.0	02.01.2024	
7.	CECOI Elena	1988		cercetător științific	0.50	02.01.2024	
8.	CIORNEA Viorel	1977		cercetător științific	0.50	02.01.2024	
9.	CUDREAȘOV Alexandr	1988		cercetător științific	1.00	02.01.2024	
10.	GHERMAN Corneliu	1973		cercetător științific coordonator	1.0	02.01.2024	
11.	MACOVEI Mihai	1972	Dr.	șef de laborator	1.0	02.01.2024	
12.	ROTARI Arthur	2003		cercetător științific stagiar	0.50	02.01.2024	

Ponderea tinerilor (%) din numărul total al executorilor

36,4%

Directorul unității de cercetare

ȘIKIMAKA Olga

(numele, prenumele)

(semnătura)

Coordonatorul subprogramului
de cercetare

MACOVEI Mihai

(numele, prenumele)

(semnătura)

Data: 30.01.2025