

## Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în subprogram în anul 2025

### Optica Cuantică Neliniară în câmpuri electromagnetice coerente de frecvență înaltă

Codul subprogramului 011205

În conformitate cu tema etapei și planul de activitate propus, în cursul anului 2025, a fost studiat un sistem optic cuantic hibrid compus din două cavități optice cuplate, fiecare conținând un ansamblu de atomi artificiali sau reali cu două niveluri, acționați în mod coerent. Modelul teoretic elaborat a fost tratat în cadrul formalismului semiclassical al stării îmbrăcate laser-atom și include, de asemenea, interacțiuni cu rezervoare electromagnetice independente care induc disipări prin dezintegrarea atomică sau scurgeri de fotoni. Abordarea analitică ia în considerare regimurile dominate de laser, în care frecvențele Rabi depășesc semnificativ atât rata de emisie spontană, cât și rata de dezintegrare a cavității. În această limită, dinamica sistemului este analizată, pe baza ecuației master derivate, prin rezolvarea ecuațiilor de mișcare corespunzătoare în imaginea Heisenberg. O atenție specială a fost acordată cazului în care doar un ansamblu atomic, în una dintre cavitățile cuplate, este pompat extern, în timp ce a doua cavitate nu este, sau nu poate fi pompată din exterior. Rezultatele demonstrează că transferul de excitație are loc către cavitatea nepompată prin cuplarea inter-cavitațională. În plus, un rezultat cheie este că numărul mediu de fotoni din a doua cavitate inițial goală se scalează pătratic la numărul de emițători pompați din prima cavitate, servind ca marker pentru fenomenele colective în această configurație sau în configurații similare.

Deoarece este cunoscut că performanța motoarelor termice cuantice, a frigiderelelor cuantice sau a bateriilor cuantice se îmbunătățește considerabil datorită efectelor cooperative, studiile efectuate la această etapă a subprogramului au fost direcționate în așa fel ca să se obțină informații despre procesele fotonice colective și pentru a evidenția principiile de proiectare pentru transportul cuantificat al luminii în platforme cu cavități multiple, în vederea obținerii de efecte noi în termodinamica cuantică sau, respectiv, în optica cuantică cu raze X.

În realizarea etapei subproiectului au fost antrenate 12 persoane. Ponderea tinerilor (sub 40 ani) în echipa de executori a constituit 42%.

Pe baza rezultatelor obținute, în 2025 executorii au publicat 3 articole în reviste de specialitate indexate WoS/Scopus (cu FI), 2 articole în proceedings și câteva rapoarte la conferințe științifice internaționale.

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

## Summary of activities and results achieved in the subprogram in 2025

### Non-linear Quantum Optics in high-frequency coherent electromagnetic fields

**Project code** 011205

In accordance with the theme of the stage and the proposed activity plan, during the y. 2025, a hybrid quantum optical system composed of two coupled optical leaking cavities, each containing an ensemble of coherently driven two-level artificial or real atoms was studied. The drawn theoretical model was treated within the semiclassical laser-atom dressed-state formalism and incorporates as well interactions with independent electromagnetic reservoirs that induce dissipations through atomic decay or photon leakages. The analytical approach considers laser-dominated regimes, where the Rabi frequencies significantly exceed both the spontaneous emission and cavity decay rates, respectively. In this limit, the system dynamics is analyzed, based on the derived master equation, via solving the corresponding equations of motion in the Heisenberg picture. Special attention was given to the case where only one atomic ensemble, from one of the coupled cavities, is externally pumped, while the second one is being empty. The results demonstrate that excitation transfer occurs toward the unpumped cavity via inter-cavity coupling. Furthermore, a key result is that the mean photon number in the second initially empty cavity scales quadratically to the number of pumped emitters from the first cavity, serving as a marker for the collective phenomena in this or similar setups.

As the performance of quantum heat engines, quantum refrigerators, or quantum batteries has been shown to improve considerably due to the involved cooperative effects, the studies conducted were interpreted specifically to obtain insights into collective photonic processes and highlights design principles for quantum light transport in multi-cavity platforms towards novel effects in quantum thermodynamics or X-ray quantum optics, respectively.

For the realization of this subproject stage, 12 people were involved. Young researchers (under 40 years old) constituted 42% of the team.

Based on the results obtained, in 2025 the researchers published three articles in indexed (with IF) specialized journals, 2 papers in conference proceedings and several reports at international scientific conferences.

The scientific results obtained by the researchers in the current year correspond to the planned objectives and results. All the initially proposed objectives were successfully achieved and implemented.