

Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect în perioada 2020-2023
Tehnologii cuantice hibride avansate

Cifra proiectului: 20.80009.5007.07

A fost studiată dinamica cuantică multifotonică a unui câmp de cavitate cuantificat monomodal evanescent cuplat cu un sistem cu două niveluri cu dipoli permanenți pompați rezonant. Frecvențele subsistemelor în interacțiune luate în considerare au fost alese puternic diferite, de exemplu, domeniul microundelor pentru cavitate și, respectiv, domeniul optic pentru frecvența emițătorului cu două niveluri. În acest fel, emițătorul se cuplează la modul rezonator doar prin intermediul momentelor sale dipolare diagonale. În consecință, s-a demonstrat că acest regim de interacțiune puternic dispersiv este responsabil pentru dinamica cuantică multifotonică a cavității și, respectiv, pentru conversia fonică din domeniul optic în cel al microundelor.

De asemenea, a fost investigată dinamica fononică a unei singure molecule încorporate într-un rezonator mecanic format dintr-un cristal organic. Am constatat că controlul optic al populației moleculare afectează dinamica fononică. Fononi cu durată lungă de viață sunt obținuți atunci când se încetinește dinamica de dezexcitare a moleculei prin modularea frecvenței de tranziție. Rezultatele discutate sunt valabile, de asemenea, și pentru sisteme optomecanice bazate pe alte tipuri de emițători cu două niveluri și rezonatori mecanici decât cei considerați.

În cadrul acestui proiect de cercetare a fost studiată și performanța unui motor termic cuantic microscopic format din emițători de tip *Vee* sau *Lambda* care interacționează colectiv sau independent atunci când sunt puși în contact cu rezervoare termice din mediul înconjurător. Deși randamentul unui ciclu Carnot este întotdeauna mai mare decât cel asociat acestor configurații, am demonstrat că performanța motorului termic cu emițători cooperativi de tip *Lambda* poate fi mai mare decât cea a unui motor similar cu emițători de tip *Vee* în condiții similare. Acest lucru se datorează faptului că inversiunea de populație pe tranziția atomică de lucru, precum și elementele sale ne-diagonale se comportă diferit pentru aceste două ansambluri atomice.

În cele din urmă, a fost studiată dinamica cuantică colectivă a unui ansamblu de emițători cu două niveluri, încorporați într-un cristal și pompați coerent de un câmp electromagnetic coerent de intensitate moderată și aplicat din exterior, în vederea utilizării lor ca baterii cuantice. Ansamblul este amortizat în mod preponderent prin intermediul rezervorului de fononi din jur, care mediază interacțiunile colective interparticulare. Am demonstrat că, în general, tranzițiile fononice între stările îmbrăcate corespunzătoare au loc cu implicarea simultană a mai mulți emițători unici sau perechi de emițători cu două niveluri, respectiv, ceea ce poate fi folosit pentru a încărca bateria. În ambele cazuri, intensitatea fononică poate fi proporțională cu pătratul numărului emițătorilor pe cele două niveluri implicate.

Conducătorul de proiect _____ / Mihai Macovei

Data: _____

Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect în perioada 2020-2023
Tehnologii cuantice hibride avansate

Cifrul proiectului: 20.80009.5007.07

The multiphoton quantum dynamics of a leaking single-mode quantized cavity field coupled with a resonantly driven two-level system possessing permanent dipoles was studied. The frequencies of the interacting subsystems being considered were taken very different, e.g., the microwave range for the cavity and the optical domain for the frequency of the two-level emitter, respectively. In this way, the emitter couples to the resonator mode only via its diagonal dipole moments. As a consequence, it was demonstrated that this highly dispersive interaction regime is responsible for the cavity multiphoton quantum dynamics and photon conversion from the optical to microwave range, respectively.

The phonon dynamics of a single molecule embedded in a mechanical resonator made of an organic crystal was investigated as well. We have found that the optical control of the molecular population affects the phonon dynamics. Long-lived phonons are obtained when slowing down the decay dynamics of the molecule via modulation of the transition frequency. The discussed results are also valid for optomechanical setups based on other types of two-level emitters and mechanical resonators.

Also, the performance of a microscopic quantum heat engine consisting of *Vee*- or *Lambda*-type emitters interacting collectively or independently when being in contact with environmental thermal reservoirs was studied in this research project as well. Though the efficiency of a Carnot's cycle is always higher than those associated with these setups, we have demonstrated that the performance of the cooperative *Lambda* - type heat engine may be larger than that of the *Vee*- type under similar conditions. This is because the population inversion on the working atomic transition as well as its off-diagonal elements behave differently for these two atomic ensembles.

Finally, the collective quantum dynamics of an ensemble of two-level emitters, embedded in a crystal, and coherently pumped by a moderately intense, and externally applied coherent electromagnetic field, towards their use as quantum batteries was studied. The ensemble is damped preponderantly *via* the surrounding phonon reservoir which mediates the inter-particle collective interactions. We have demonstrated that generally phonon transitions among the corresponding dressed states are taking place involving simultaneously many single emitters or pairs of two-level emitters, respectively, which can be used to charge the battery. In both cases the phonon intensity can be proportional to the squared number of involved two-level emitters.

Conducătorul de proiect _____ / Mihai Macovei

Data: _____