

Titlu Faza: Rolul modurilor optice si vibrationale in functionarea unor sisteme hibride cu posibile aplicatii in nanofotonica si metrologie cuantica: abordare teoretica si computationala.

Obiective: Descrierea teoretica a unor efecte netriviiale in doturi cuantice plasate in nanocavitati optice sau cuplate la moduri de vibratie.

Rezultate estimate initial:

i) obtinerea structurii de stari imbracate (dressed states) pentru modelul Tavis-Cummings generalizat; ii) calculul curentilor dependenti de timp si al corelatiilor acestora in sisteme hibride; iii) implementarea numerica a ecuatiei Master nemarkoviene pentru sisteme hibride in prezenta unor semnale dependente de timp; iv) investigarea dinamicii fotonilor si/sau a modurilor de vibratie; v) analiza efectelor de interactie si a regimului de cuplaj puternic.

Rezultate obtinute:

Obiectivul principal al fazei a constat in studiul teoretic al proprietatilor de transport dependent de timp pentru un sistem hibrid descris de Hamiltonianul Tavis-Cummings binecunoscut in optica cuantica. Sistemul considerat consta din doua nanofire cuantice 1D (S_a si S_b) plasate intr-o cavitate optica si cuplate individual la rezervoare de particule cu potentiale chimice $\mu_{l,a}$ si $\mu_{l,b}$, $l = L, R$. Rezultatele experimentale recente au aratat ca in astfel de structuri hibride unul dintre subsisteme poate absorbi fotonii emisi de subsistemul vecin. Motivati de aceste constatarari am investigat teoretic efectele interactiei mediate fonic asupra proceselor de transport. Am considerat ca in fiecare subsistem tunelarea electronica se poate face doar pe nivelele energetice uniparticula de energie joase ε_{i_s} ($i = 1, 2$). In aceste conditii interactia mediata de fotoni este activa doar daca in fiecare subsistem se gaseste cate un electron - regim descris de Hamiltonianul Tavis-Cummings. Pentru discutarea rezultatelor este util sa introducem si numerele medii de ocupare electronice $q_{i,s}$ ale celor 2 nivele din fiecare subsistem. Cele doua subsisteme sunt identice iar frecventa modului unic al cavitatii este fixata la rezonanta, $\hbar\omega = \varepsilon_{2_s} - \varepsilon_{1_s}$.

Primul regim de transport considerat evidentiaza trecerea de la o dinamica de tip Jaynes-Cummings (JC) in care in sistem exista un singur electron la dinamica Tavis-Cummings (TC). Potentialul chimic μ_{Ra} este ales astfel incat ε_{2a} se afla in `fereastră' de bias $\mu_{La} - \mu_{Ra}$ in timp ce $\varepsilon_{1a} < \mu_{Ra}$ (asa cum se vede in inset-ul figurii 1(a)). μ_{Rb} este fixat astfel incat amandoua nivelele uniparticula ale subsistemului S_b pot participa la transport.

Un prim calcul a vizat curentul J_{La} care intra in subsistemul S_a in conditiile in care S_b nu este conectat la rezervoare de particule si nu contine electroni. In starea initiala, notata cu $|00, 0\rangle$, nu exista nici electroni nici fotoni in sistem. In acest caz fotonii emisi de S_a nu pot fi absorbiti de S_b iar dinamica sistemului este descrisa de Hamiltonianul JC. Al doilea calcul porneste de la aceeasi stare initiala dar cele doua subsisteme sunt *simultan* cuplate la rezervoarele de particule astfel incat se pot popula si starile de tip Tavis-Cummings.

In Fig. 1(a) sunt prezentati curentii tranzitorii pentru cele doua configuratii mentionate mai sus (JC si TC). In absenta transportului in S_b subsistemul `deschis' S_a va evolua spre regimul de blocada coulombiana, astfel incat in stare stationara $J_{La} = 0$ si $q_{1a} \approx 1$. Acest lucru este confirmat si de evolutia ocuparii celor doua nivele q_{1a} si q_{2a} prezentata in Fig. 1(b). Oscilatiile Rabi optice sunt vizibile in regimul tranzitoriu dar dispar in stare stationara deoarece cuplajul cu firele actioneaza ca un termen de disipatie. Perioada oscilatiilor JC este $T_0 = 39$ ps si corespunde frecventei Rabi `de vid' Ω_0 . Reamintim ca in general frecventa Rabi asociata cu un numar fixat de fotoni N este data de $\Omega_N = 2g_0\sqrt{N+1}$. De notat ca in stare stationara numarul mediu de fotoni se anuleaza.

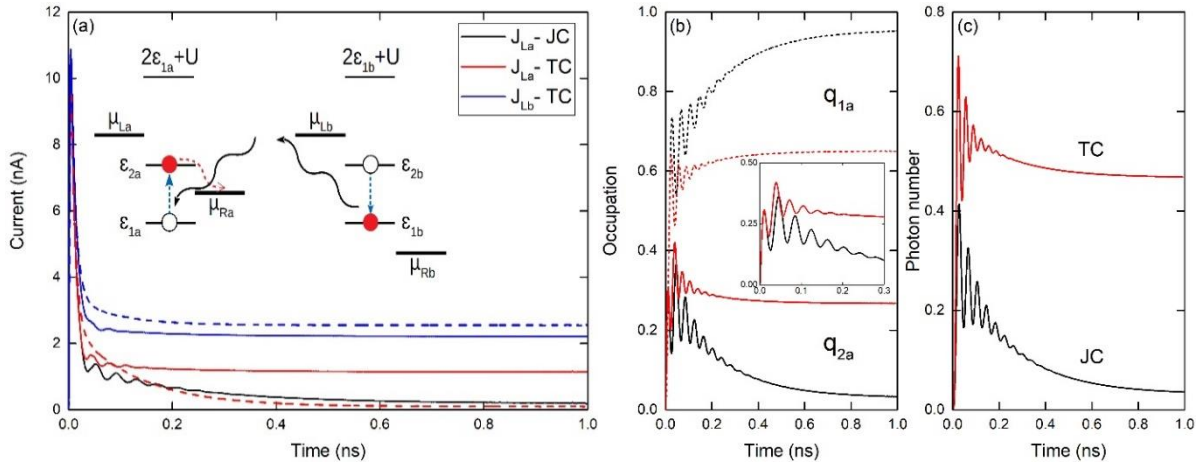


FIG. 1. a) Curentii tranzitorii in cele 2 configuratii JC si TC. Curentii obtinuti in absenta cuplajului electron-foton sunt reprezentati cu linie punctata. Inset: procesele optice si de tunelare relevante pentru dinamica TC. b) Ocuparea nivelelor active optic din S_a in regimul JC (linie punctata) si TC (linie continua). Inset: q_{2a} in regim tranzitoriu. c) Media nr. de fotoni in regimurile JC si TC. $\mu_{La} = \mu_{Lb} = 45$ meV, $\mu_{Ra} = 41.5$ meV, $\mu_{Rb} = 35$ meV, $g_0 = 53$ μ eV, $\kappa = 0$.

Regimul TC prezinta diferente notabile fata de regimul JC. Din Fig. 1(a) se observa ca in stare stationara J_{La} este finit, ceea ce implica activarea proceselor de tunelare de pe nivelul excitat ϵ_{2a} in rezervorul R_a . Aceasta `ridicare' a blocadei coulombiene in S_a se datoreaza schimbului de fotoni dintre cele 2 subsisteme. Mecanismul este sugerat in inset-ul Fig. 1(a): i) Subsistemul S_b genereaza fotoni si in starea stationara prin procese de relaxare $\epsilon_{2b} \rightarrow \epsilon_{1b}$; ii) fotonii emisi excita electronii de pe nivelul ϵ_{1a} pe nivelul excitat care contribuie la curentul stationar nenul in S_a . Acest scenariu este confirmat si de rezultatele prezentate in Fig. 1(b): in stare stationara nivelul ϵ_{1a} nu mai este complet ocupat. Se observa si faptul ca in regimul TC perioada oscilatiilor Rabi difera fata de cea din regimul JC. Intr-adevar, oscilatiile Rabi asociate starilor `imbracate' Tavis-Cummings cu N fotoni au perioadele $\tilde{\Omega}_N = 2g_0\sqrt{4N-2}$ si $\tilde{\Omega}_N/2$.

Concluzii si perspective:

Obiectivele proiectului au fost indeplinite in totalitate. In cadrul fazei au fost publicate 3 lucrari in reviste cotate ISI, o alta lucrare fiind in curs de redactare. Rezultatele obtinute in cadrul fazei aduc elemente substantiale de noutate in raport cu formalismul teoretic de descriere a unor fenomene de interes in optica cuantica si prezic observarea experimentală a unor efecte relevante. Posibile dezvoltari ale acestei directii de studiu includ investigarea teoretica a proprietatilor de transport ale Hamiltonianului Rabi cuantic precum si considerarea efectelor cuplajului cu moduri vibrationale asociate unui nanorezonator sau unei molecule.