

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Люля Максима Петровича
«Динамічні процеси у багаторівневих мезоскопічних системах»,
яку подано на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 01.04.02 –
Теоретична фізика, 10 -- Природничі науки (104 – Фізика та астрономія)

Роботу присвячено теоретичному опису надзвичайно цікавих фізичних об'єктів: твердотільного штучного атома (надпровідного кільця з трьома контактами Джозефсона) у дворівневому та чотирьохрівневому наближеннях, подвійної квантової точки, основаної на кремнії, кубіта типу трансмон, розміщеного перед дзеркалом. Базова методологія теоретичного аналізу ґрунтується на рівнянні балансу та рівнянні Ліндблада.

Структура дисертації

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, чотирьох основних розділів, та двох додатків, що включають список публікацій автора за темою дисертації та відомості про апробацію результатів. Робота містить також 37 рисунків, 1 таблицю та список використаних джерел зі 170 найменувань на 17 сторінках. Загальний обсяг рукопису складає 141 сторінку.

Відразу зазначу, що основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 8 наукових працях, серед яких 3 статті у провідних спеціалізованих наукових журналах та 5 тез конференцій. Фахові журнали, у яких опубліковано статті, належать до світових видань високого рівня, індексованих у базах даних Scopus та Web of Science: Phys. Rev. B (належить до квартилю Q1), Eur. Phys. J.: Spec. Top. (належить до квартилю Q2), Low Temp. Phys. (входить до квартилю Q3). Вже сама по собі дана обставина є свідомством того, що дослідження дисертаційної роботи проведено на високому рівні, відповідному рівню досліджень в провідних наукових центрах світу, а також про достатню апробації результатів дисертації.

Слід також зауважити, що кількість опублікованих дисертантом статей відповідає вимогам, які висуваються Міністерством освіти і науки України до дисертаційних робіт на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – «Фізика та астрономія». При цьому результати дисертаційної роботи повною мірою відображено в публікаціях, про які йшлося вище.

Актуальність теми дисертації

Кожна з розглянутих у дисертації систем є безумовно важливою як із теоретичної, так і з практичної точки зору. Зокрема, надпровідні кубіти вважаються надзвичайно цікавими для

дослідження об'єктами, придатними для реалізації квантових комп'ютерів, зокрема тому, що такими системами можна керувати за допомогою мікрохвиль та успішно виконувати операції на наносекундних масштабах. Штучні атоми є системами, за допомогою яких можна досліджувати різноманітні квантові ефекти: квантову електродинаміку резонатора, осциляції Рабі, коливання Штукельберга, когерентні суперпозиції макроскопічних станів, мікрохвильове охолодження.

Подвійні квантові точки також можуть розглядатися як перспективні кандидати на створення будівельних блоків квантових комп'ютерів завдяки тій обставині, що їх можна налаштовувати відповідно до необхідних технічних вимог, в тому числі, завдяки гнучкій геометрії зв'язку. Окрім того, такі об'єкти демонструють високу продуктивність при зчитуванні, маніпуляції та ініціалізації їхніх спінових станів. З іншого боку, подвійні квантові точки вважаються перспективними для застосування в галузях квантової інформації і квантових обчислень. Ці системи також дозволяють вивчати такі важливі фізичні явища, як квантова люмінесценція, надпровідність, ефект Кондо, квантовий зв'язок, тощо.

Надпровідний кубіт у напівнескінченній лінії передач також є надзвичайно цікавою системою для досліджень, зокрема у хвильовдній квантовій електродинаміці. Одна з переваг подібних систем полягає в тому, що кубіт типу трансмон, розміщений наприкінці лінії передач, може посилювати амплітуду зондувального сигналу. Вивчення такого об'єкта допомагає більш глибоко зрозуміти динамічний ефект Казимира, крос-ефект Керра, колективний зсув Лемба, тощо.

Таким чином, можна зробити висновок, що представлена робота є важливою та актуальною у контексті розвитку сучасної квантової фізики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1. Дослідження властивостей надпровідного кубіта типу трансмон було одночасно проведено за допомогою двох підходів: методу рівняння балансу та рівняння Ліндблада. Така обставина дозволила провести порівняльний аналіз цих двох методів. На основі порівняльного аналізу автором зроблено висновок, що формалізм рівняння балансу усереднює коливання, внаслідок чого рівняння часової еволюції є монотонними, тоді як підхід рівняння Ліндблада відображає більш складну поведінку системи, завдяки чому на кривих, побудованих за допомогою підходу рівняння Ліндблада, можна спостерігати переходи Ландау-Зінер-Штукельберг-Майорана.

2. Отримано та розв'язано систему рівнянь балансу для подвійної квантової точки, основаної на кремнії. Для цієї системи було вперше застосовано підхід, який дозволяє описати експериментальну інтерференційну картину повністю, а не лише її окремі частини, як було у більш ранніх роботах. У рамках запропонованого підходу здобуто вирази, що характеризують залежність ймовірностей заселення певного рівня системи від часу для різних режимів.
3. Досліджено динаміку та стаціонарні стани кубіта типу трансмон, під'єданого до напівнескінченної лінії передач. Зокрема побудовано залежності коефіцієнта відбиття r від потужності накачки і частоти зонduючого сигналу при фіксованій частоті накачки та потужності зонduючого сигналу. Важливо при цьому зауважити, що у попередніх роботах подібної тематики вивчалися лише стаціонарні стани системи.

Практичне значення отриманих результатів

Перш за все, результати дисертаційної роботи можуть бути корисними з академічної точки зору, тобто, для поглиблення розуміння явищ, що спостерігаються й вивчаються в сучасній квантовій фізиці, фізиці мезоскопічних систем, квантовій інформації. Крім того, результати досліджень у принциповому сенсі можуть мати застосування при вдосконаленні квантових технологій, серед яких квантові комунікації, квантові обчислення, квантова криптографія, квантове детектування, тощо. Представлена робота містить також інформацію, яка може дати змогу збільшити часи життя та когерентності розглянутих систем, що здатне відкрити можливості їхньої реалізації для розв'язання передових задач сучасної фізики. Здобуті результати можуть бути корисними при постановці, вдосконаленні та проектуванні майбутніх експериментальних досліджень.

Зауваження до дисертаційної роботи

1. У першому розділі автором здобуто вираз для частоти переходу між рівнями дворівневої системи (рівняння (1.16) за нумерацією дисертації), після чого узагальнено його на випадок багаторівневої системи (рівняння (1.18)). Однак при такому переході, очевидно, не враховуються інтерференційні ефекти, які можуть виникати при врахуванні інших рівнів квантової системи. Тому було б доречно вказати або оцінити межі застосування переходу від рівняння (1.16) до рівняння (1.18).

2. При порівнянні експериментальної картини Рис. 4.4(a) з теоретичною Рис. 4.4(d) можна зробити висновок, що теоретична й експериментальна інтерферограми не співпадають у точці $\omega_p/2\pi = 5 \text{ GHz}$. Було б доцільно пояснити причину такого розходження й описати можливі шляхи його подолання.
3. У третьому розділі дисертаційної роботи побудовано залежність параметричної ємності подвійної квантової точки C від амплітуди збуджуючого сигналу A та енергетичної відстройки \mathcal{E} , проте у відповідному експерименті було досліджено таку залежність для фазової відповіді резонатора $\Delta\phi$. У зв'язку з чим постає питання: чи не правильніше було б досліджувати теоретично саме фазову відповідь резонатора $\Delta\phi$ як функцію відповідних величин, а не параметричну ємність подвійної квантової точки C ?

Загальні висновки.

Утім зазначу, що наведені зауваження вказують лише на певні недоліки дисертації, але не є принциповими з точки зору їх впливу на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, в якій викладено здобуті дисертантом результати, що є новими й без сумніву мають високу наукову цінність. На мою думку, дисертаційна робота "Динамічні процеси у багаторівневих мезоскопічних системах" є завершеною науковою працею, написаною зрозумілою мовою на високому науковому рівні, й відповідає всім вимогам нормативних документів Міністерства освіти і науки України та Кабінету Міністрів України щодо дисертацій, поданих на здобуття ступеня доктора філософії, а її автор Люль Максим Петрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – фізика та астрономія.

Офіційний опонент
доктор фізико-математичних наук, професор,
академік НАН України,
начальник відділу статистичної фізики та квантової
теорії поля Інституту теоретичної фізики
імені О.І. Ахієзера, ННЦ ХФТІ НАНУ



Ю.В. Слюсаренко

Підпис академіка Слюсаренка Юрія Вікторовича ЗАСВІДЧУЮ:

ТВО директора Інституту теоретичної фізики
ім. О.І. Ахієзера ННЦ ХФТІ НАН України
кандидат фізико-математичних наук



Л.М. Давидов