

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

старшого наукового співробітника відділу радіофізики твердого тіла Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова Національної академії наук України, доктора фізико-математичних наук, доцента **Майзеліса Захара Олександровича**

на дисертаційну роботу **Люля Максима Петровича**
«ДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ У БАГАТОРІВНЕВИХ МЕЗОСКОПІЧНИХ СИСТЕМАХ»,

яка подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» (галузь знань 10 «Природничі науки»)

Актуальність теми дисертаційної роботи.

Представлене дослідження присвячено вивченню процесів, що відбуваються у мезоскопічних системах. У рамках дисертації автор розглядає надпровідне кільце з трьома контактами Джозефсона у дворівневому та чотирьохрівневому наближеннях, подвійну квантову точку, кубіт типу трансмон, який під'єднано до напівнескінченної лінії передач.

Актуальність роботи полягає у можливості порівняння отриманих теоретичних та експериментальних результатів і, як наслідок, встановлення відповідності між величинами, що використовуються під час теоретичних розрахунків та технічними параметрами розглядуваних систем. Порівняльний аналіз дає змогу встановити залежність між часами когерентності і життя досліджуваних об'єктів та їхніми параметрами, такими як, наприклад, опори та ємності. Отримана інформація дасть змогу збільшити часи життя та когерентності розглядуваних систем, що відкриє величезні можливості їхньої реалізації для розв'язання гострих сучасних задач. Серед такого роду проблем, можна виділити створення квантових комп'ютерів, мікромазерів, мікроскопічних термоелектронних пристроїв, тощо.

З іншого боку, проведені дослідження мають велике значення в контексті розвитку фундаментальної фізики, оскільки на основі досліджуваних систем можна вивчати цілу низку цікавих та актуальних явищ та ефектів. До таких явищ можна віднести ефект Керра, маршрутизацію фотонів, генерацію неklasичних мікрохвиль, переходи Ландау-Зінера-Штукельберга-Майорани, динамічний ефект Казимира, тощо.

Таким чином, можна зробити висновок, що дисертаційна роботи є актуальною як з теоретичної так і практичної точок зору.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертацію виконано в Фізико-технічному інституті низьких температур ім. Б.І. Веркіна НАН України в рамках тематичного плану ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України за відомчими тематиками 2017-2021 рр. і 2022-2026 рр.

Частина дисертаційної роботи була виконана за підтримки гранту ARO, США. Частина дисертаційної роботи була виконана за підтримки стипендії Національної академії наук України для молодих вчених. Частина дисертаційної роботи була виконана за підтримки гранту Національної академії наук України, в рамках конкурсу проектів науково-дослідних робіт молодих учених Національної академії наук України.

Повнота викладу основних результатів дисертаційної роботи в опублікованих наукових працях.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у **трьох наукових статтях** (в журналах, індексованих SCOPUS та Web of Science) та представлені на **п'яти міжнародних конференціях**. Кількість опублікованих статей є достатньою для присудження ступеня доктора філософії.

Обґрунтованість і достовірність отриманих результатів.

Необхідно відмітити, що усі отримані теоретичні залежності мають добре узгодження з відповідними експериментальними даними, що свідчить про правильність і доцільність обраних підходів. Всі експериментальні результати роботи можна відтворити, базуючись на теоретично отриманих виразах та формулах, викладених у роботі. У процесі дослідження автор використовує методи і підходи теоретичної фізики, які не викликають сумніву і пройшли перевірку багатьма науковцями. Всі результати дисертаційної роботи опубліковано у рецензованих фахових виданнях і апробовано на міжнародних наукових конференціях.

Структура дисертаційної роботи.

Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох оригінальних розділів з рисунками, висновків і списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації становить 141 сторінку. Робота містить 37 рисунків, 1 таблицю та список використаних джерел зі 170 найменувань на 17 сторінках.

Кожен розділ є структурованим і завершується висновками.

Анотація дисертації наведена українською і англійською мовами. У ній відображено зміст та основні наукові результати.

У **вступі** автор визначає основні завдання дослідження, мету та описує актуальність вибору теми дослідження, зазначає об'єкт, предмет та методи дослідження. Окрім того у цьому розділі сформульовано наукову новизну, описано практичне значення отриманих результатів, наведено відомості про публікації, особистий внесок здобувача та апробацію результатів дисертації.

У **першому розділі** проведено огляд літератури за темою дисертаційної роботи. Зокрема, описано теоретичні та експериментальні основи дослідження. Наприклад, розглянуто експерименти з вивчення надпровідного кільця з трьома контактами

Джозефсона у дворівневого та чотирьохрівневого наближеннях, подвійної квантової точки, кубіта типу трансмон, під'єданого до напівнескінченної лінії передач. Серед теоретичних аспектів увагу приділено виведенню рівнянь балансу та Ліндблада, опису теоретичних основ надпровідних кубітів.

У **другому розділі** застосовано рівняння балансу та рівняння Ліндблада для опису надпровідного кільця з трьома контактами Джозефсона у дворівневого та чотирьохрівневого наближеннях. Автором побудовано низку залежностей, які мають гарне узгодження з відповідними експериментами. З іншого боку автор порівнює два використаних підходи, що є безумовно актуально та цікаво з наукової точки зору. З порівняння результатів, автор робить висновок, що в рамках формалізму рівняння балансу коливання усереднюються, тому отримані криві є монотонними, тоді як підхід рівняння Ліндблада відображає більш складну поведінку системи.

Третій розділ присвячено використанню рівняння балансу для опису подвійної квантової точки. Головним результатом розділу є інтерферограма, залежність фазової відповіді резонатора від амплітуди збуджуючого сигналу та енергетичної відстройки. Для отримання такої інтерференційної картини автором отримано вираз для рівнів енергії досліджуваного об'єкта та побудовано його діаграму енергетичних рівнів. У цьому випадку теоретичні та експериментальні результати також добре узгоджені.

У **четвертому розділі** проведено теоретичне та експериментальне дослідження властивостей кубіта типу трансмон під'єданого до напівнескінченної лінії передач. Зокрема, досліджено *стаціонарну поведінку* системи, а саме побудовано залежність ймовірності заселення зарядового стану кубіта від частоти зондуєчого сигналу і потужності накачки при фіксованій частоті накачки та потужності зондуєчого сигналу. А також вивчено *динамічну поведінку* досліджуваного кубіта в залежності від значень частоти накачки та потужності сигналу накачки. Слід відмітити, що теоретичні та експериментальні картини добре узгоджуються між собою.

Основні результати роботи висвітлено у розділі **висновки**.

Зауваження до дисертаційної роботи.

Незважаючи на високий рівень отриманих результатів та обґрунтованість висновків, до дисертації слід зробити декілька зауважень:

1. Для побудови інтерферограми, яка описує параметричну ємність подвійної квантової точки як функцію амплітуди збуджуючого сигналу та енергетичної відстройки ε , під час розрахунків обрано значення частоти збуджуючого сигналу $\nu = 4$ GHz, у той час як для відповідної

експериментальної картини це значення дорівнює $\nu = 21$ GHz. Вважаю, що пояснення цієї невідповідності було б доцільним у роботі.

2. У підрозділі 3.4 дисертант описує застосування рівняння балансу для подвійної квантової точки у трирівневому наближенні. Однак доцільність такого підходу не підтверджується жодними розрахунками.
3. У пункті 1.2.4 автор досліджує надпровідне кільце з одним контактом Джозефсона, у той час як у інших розділах роботи досліджується кільце з трьома джозефсонівськими контактами. Було б доцільним провести в пункті 1.2.4 аналіз саме такої системи, з трьома контактами.

Зауважень щодо повноти та достовірності викладення результатів, що суттєво вплинули б на оцінку дисертаційної роботи немає.

Загальні висновки.

Дисертаційна робота є цілісною завершеною науковою працею, що повністю відповідає заявленій спеціальності 104 «Фізика та астрономія». Отримані результати повністю відповідають заявленій меті дослідження.

Таким чином, оцінивши актуальність, зміст, наукову новизну, обґрунтованість і достовірність результатів, відповідність вимогам МОН України до робіт на здобуття ступеня доктора філософії вважаю, що дисертаційна робота «Динамічні процеси у багаторівневих системах» відповідає всім вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 р. Тому її автор, Люль Максим Петрович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Офіційний опонент:

старший науковий співробітник
відділу радіофізики твердого тіла

Інституту радіофізики та електроніки

ім. О. Я. Усикова Національної академії наук України,

доктор фізико-математичних наук, доцент



З.О. Майзеліс

Підпис Майзеліса З.О. засвідчую

В.О. вченою секретар Інституту

радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова

НАН України

к.ф.-м.н.




Вукобратов В.В.