РІШЕННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ ВЧЕНОЇ РАДИ ПРО ПРИСУДЖЕННЯ СТУПЕНЯ ДОКТОРА ФІЛОСОФІЇ

Спеціалізована вчена рада **ДФ 64.175.010** Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Вєркіна Національної академії наук України, м. Харків, прийняла рішення про присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» на підставі прилюдного захисту дисертації «Динамічні процеси у багаторівневих мезоскопічних системах» 6 грудня 2023 року.

Люль Максим Петрович, 1995 року народження, громадянин України, освіта вища: закінчив у 2018 році фізико-технічний факультет Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна за спеціальністю «Прикладна фізика та наноматеріали».

Закінчив навчання в аспірантурі Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Вєркіна Національної академії наук України 31 жовтня 2023 р. Успішно виконав освітньо-наукову програму підготовки доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія». З 1 листопада 2023 року працює молодшим науковим співробітником у відділі надпровідних і мезоскопічних структур Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Вєркіна Національної академії наук України.

Дисертаційну роботу виконано у відділі надпровідних і мезоскопічних структур Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Вєркіна Національної академії наук України.

Науковий керівник: доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу надпровідних і мезоскопічних структур Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Вєркіна Національної академії наук України **Шевченко Сергій Миколайович.**

Здобувач має 8 наукових публікацій за темою дисертації, з них 3 статті у міжнародних виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз (Scopus, Web of Science), що належать до квартилю Q1 (1 стаття), Q2 (1 стаття), Q3 (1 стаття) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank, 0 монографій:

1. **M. P. Liul**, and S. N. Shevchenko, Rate-equation approach for multi-level quantum systems, Low Temperature Physics, **49**, № 1, 96–102 (2023), DOI: 10.1063/10.0016482 (Scopus, квартиль Q3)
2. **M. P. Liul**, C.-H. Chien, C.-Y. Chen, P. Y. Wen, J. C. Chen, Y.-H. Lin, S. N. Shevchenko, Franco Nori, I.-C. Hoi, Coherent dynamics of a photon-dressed qubit, Physical Review B, **107**, № 19, 195441 (2023), DOI: 10.1103/PhysRevB.107.195441 (Scopus, квартиль Q1)

3. **M. P. Liul**, A. I. Ryzhov, S. N. Shevchenko, Interferometry of multi-level systems: rate-equation approach for a charge qu*d*it, European Physical Journal Special Topics, (2023), DOI: 10.1140/epjs/s11734-023-00977-4 (Scopus, квартиль Q2)

У дискусії взяли участь голова і всі члени спеціалізованої вченої ради:

1. Опонент **Слюсаренко Юрій Вікторович,** доктор фізико-математичних наук, професор, академік НАН України, завідувач відділу статистичної фізики та квантової теорії поля Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» дав позитивний відгук із зауваженнями:

1. У першому розділі автор отримав вираз для частоти переходу між рівнями дворівневої системи (Рів. (1.16)), після чого узагальнив його на випадок багаторівневої системи (Рів. (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 Рів. (1.16) до Рів. (1.18).

2. При порівнянні експериментальної картини Рис. 4.4 (a) і теоретичної Рис. 4.4. (d) можна зробити висновок, що теоретична і експериментальна інтерферограми не співпадають у точці $\omega_p/2\,\pi = 5$ GHz. Було б доцільно описати причину такого розходження і 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 ε, проте у відповідвідному експерименті було досліджено таку залежність для фазової відповіді резонатора $\Delta\phi$. 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.

Зазначені зауваження не носять принципового характеру і не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

2. **Майзеліс Захар Олександрович,** доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник відділу теоретичної фізики Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова Національної академії наук України надав позитивний відгук із наступними зауваженнями:

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

тальної 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 роботі досліджується кільце з трьома джозефсонівськими контактами. Було б доречно привести в пункті 1.2.4 аналіз саме такої системи, з трьома контактами.

Однак, слід вказати, що зазначені зауваження жодним чином не впливають на якість отриманих результатів дисертаційної роботи і на обґрунтованість висновків.

3. Рецензент **Колесніченко Юрій Олексійович,** доктор фізико-математичних наук, професор, головний науковий співробітник відділу мікроконтактної спектроскопії Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Вєркіна Національної академії наук України надав позитивну рецензію із зауваженнями:

1. У розділі 2 автор описує твердотільний штучний атом (надпровідне кільце з трьома джозефсонівськими контактами) у чотирьох рівневому наближенні за допомогою рівняння балансу і отримує інтерферограми та динамічні залежності, які добре узгоджуються з експериментальними картинами. Також автором подано гамільтоніан такої системи. Тому чи не корисно було б застосувати підхід рівняння Ліндблада до досліджуваної системи і порівняти ці два методи?

2. У розділі 3 автор будує залежність параметричної ємності подвійної квантової точки C як функцію амплітуди збуджуючого сигналу A та енергетичної відстройки ε для випадків поділу інтервалу по енергетичній відстройці на чотири та шість частин. Однак з тексту не зрозуміло який з випадків автор вважає більш доречним для застосування.

4. Рецензент **Кулініч Сергій Іванович,** кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник відділу теоретичної фізики Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Вєркіна Національної академії наук України надав позитивну рецензію на роботу, із зауваженням:

1. В роботі запропоновано наближення рівнянь балансу для опису тієї чи іншої системи. Це наближення можна назвати напівкласичним, оскільки розглядаються рівняння тільки для ймовірностей заселення того чи іншого рівня, тобто рівняння для діагональних елементів матриці густини.

Рівняння для недіагональних елементів не розглядаються, тобто недіагональні елементи матриці густини покладені рівними нулю. Вважаю, що було важливим вивчити умови використання такого наближення. На інтерферограмах доречним було виділити області, які потребують чисто квантового розгляду. Але я розумію, що це, скоріше, завдання для окремого розгляду і його можна вважати побажанням для подальших досліджень.

5. Голова ради **Славін Віктор Валерійович**, доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу теоретичної фізики Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Вєркіна Національної академії наук України дав позитивну оцінку роботі, без зауважень.

Загальна оцінка роботи і висновок. Дисертація Люля Максима Петровича на тему «Динамічні процеси у багаторівневих мезоскопічних системах» є актуальним завершеним науковим дослідженням.

Дисертацію присвячено детальному дослідженню та аналізу динамічних процесів, які відбуваються при взаємодії мезоскопічних дворівневих (кубітів) та багаторівневих (кудітів) систем зі збуджуючим сигналом.

Реалізовано дослідження властивостей надпровідного кільця з трьома контактами Джозефсона у дворівневому наближенні одночасно за допомогою двох підходів: методу рівняння балансу та рівняння Ліндблада. Це дозволило порівняти результати, отримані за допомогою цих двох методів. З порівняльного аналізу інтерференційних картин автором зроблено висновок, що два підходи добре узгоджуються у випадку стаціонарного режиму. Однак при аналізі динаміки було виявлено, що в рамках формалізму рівняння балансу коливання усереднюються, тому отримані криві, які описують часову залежність, є монотонними, тоді як підхід рівняння Ліндблада відображає більш складну динамічну поведінку системи. Це проявляється у тому, що на кривих, побудованих за допомогою підходу рівняння Ліндблада, можна спостерігати переходи Ландау – Зенера – Штюкельберга – Майорани (ЛЗШМ).

Отримано та розв'язано систему рівнянь балансу для подвійної квантової точки, основаної на кремнії. Вперше до цієї системи застосовано підхід, який дозволяє описати всю експериментальну інтерференційну картину, а не її частину, як було у минулих роботах. Також отримано залежність ймовірностей заселення певного рівня від часу для різних режимів (некогерентного, дворазового ЛЗШМ, одноразового ЛЗШМ, багаторазового ЛЗШМ) для подвійної квантової точки, основаної на кремнії.

Досліджено динаміку кубіта типу трансмон, під'єднаного до напівнескінченної лінії передач. А саме побудовано залежності коефіцієнта від-

биття від потужності накачки і частоти зондуючого сигналу при фіксованій частоті накачки та потужності зондуючого сигналу. Визначено, що динаміка системи складається з двох режимів: стаціонарного та перехідного. Стаціонарний режим спостерігається після $t = 1.5$ μs для всіх розглянутих випадків.

На прикладі кубіта типу трансмон, під'єднаного до напівнескінченної лінії передач розглянуто супероператори Ліндблада у різних базисах. За визначанням релаксації системи (і як наслідок супероператори Ліндблада) задано в енергетичному базисі, але для досліджуваної системи рівняння Ліндблада необхідно було розв'язати в адіабатичному. Тому відповідні релаксації було також переведено в діабатичний. З методичних міркувань було проведено розрахунки для супероператорів в енергетичному базисі. З порівняння отриманих результатів зроблено висновок про те, що оператори Ліндблада необхідно переводити в діабатичний базис, оскільки рівняння Ліндблада задано в діабатичному базисі.

Розроблено план обробки експериментальних даних та побудови залежностей для експерименту, у якому досліджувався кубіт типу трансмон, розміщений перед дзеркалом. Зокрема, знайдено інструменти, які доцільно використовувати при роботі з табличними даними, підібрано методи та функції, за допомогою яких отримано інтерферограми та динамічні залежності стану кубіта.

Результати досліджень, наведені у дисертаційній роботі та опубліковані у наукових статтях, належать автору. Робота виконана з дотриманням усіх вимог академічної доброчесності. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело. За кількістю і рівнем публікацій, апробацією на міжнародних конференціях дисертаційна робота відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» №44 від 12.01.2022 р.

Рада вважає, що дисертація Люля Максима Петровича на тему «Динамічні процеси у багаторівневих мезоскопічних системах», що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» є завершеним самостійним науковим дослідженням, сукупність результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 10 «Природничі науки», а за актуальністю, науковою новизною і практичною цінністю відповідає вимогам чинного законодавства України, «Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах

вищої освіти (наукових установах)» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23.03.2016 р. № 261 та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44, а здобувач Люль Максим Петрович заслуговує присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».
Результати відкритого голосування:

«За» - 5 членів ради,
«Проти» - 0 членів ради,
«Утримались» - 0 членів ради.

На підставі результатів відкритого голосування разова спеціалізована вчена рада **ДФ 64.175.010 присуджує Люлю Максиму Петровичу ступінь доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».**

Голова разової
спеціалізованої вченої ради
доктор фіз.-мат. наук, с.н.с. **Віктор СЛАВІН**

Славіна В.В.
ЗАСВІДЧУЮ
Учений секретар ФТІНТ
Каменєва О.М.