

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0823U100939

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 19-10-2023

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: наказ №160-ОД від 27.12.2023



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Люль Максим Петрович

2. Maksym Liul

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-0200-7305

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 104

Назва наукової спеціальності: Фізика та астрономія

Галузь / галузі знань: природничі науки

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: 39026 Фізика (104 Фізика та астрономія)

Дата захисту: 06-12-2023

Спеціальність за освітою: Прикладна фізика та наноматеріали

Місце роботи здобувача: Фізико-технічний інститут низьких температур імені Б. І. Веркіна
Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 03534601

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 47, Харків, Харківський р-н., 61103, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): ДФ

64.175.010_ID_2660

Повне найменування юридичної особи: Фізико-технічний інститут низьких температур імені Б. І. Веркіна Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 03534601

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 47, Харків, Харківський р-н., 61103, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Фізико-технічний інститут низьких температур імені Б. І. Веркіна Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 03534601

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 47, Харків, Харківський р-н., 61103, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 29.19.03, 29.19.23, 29.19.29, 29.41, 29.41.03

Тема дисертації:

1. Динамічні процеси у багаторівневих мезоскопічних системах
2. Dynamic processes in multi-level mesoscopic systems

Реферат:

1. Дисертацію присвячено детальному дослідженню та аналізу динамічних процесів, які відбуваються при взаємодії мезоскопічних дворівневих (кубітів) та багаторівневих (кудітів) систем зі збуджуючим сигналом. У вступі визначено мету та основні завдання дослідження, стисло описано актуальність вибору теми дисертаційної роботи, зазначено об'єкт, предмет та методи дослідження. Сформульовано наукову новизну, а також практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про публікації, особистий внесок здобувача та апробацію результатів дисертації. Також описано структуру та обсяг представленої дисертаційної роботи. Розділ 1 присвячено огляду та аналізу літератури за темою дисертації. В ньому розглянуто теоретичні та експериментальні аспекти дисертаційної роботи. Проаналізовано експерименти, опису яких присвячено подальші розрахунки. Зокрема, було розглянуто твердотільний штучний атом у

дворівневого наближенні – кубіт постійного струму, подвійну квантову точку, основану на кремнії, твердотільний штучний атом у чотирьохрівневого наближенні. Отримано рівняння балансу, рівняння Ліндблада, розглянуто теоретичні аспекти надпровідних кубітів. Детально досліджено теоретичні аспекти надпровідних кубітів, а саме описано автономний контакт Джозефсона, надпровідне кільце із контактом Джозефсона (вч-СКВІД). У розділі 2 рівняння балансу застосовується для опису двох квантових систем: твердотільного штучного атома у дворівневого (кубіта постійного струму) та чотирьохрівневого наближеннях. Записано рівняння балансу для дворівневої системи – кубіта постійного струму. Головним результатом підрозділу стала інтерферограма: ймовірність заселеності стану $|1\rangle$ системи як функція амплітуди збуджуючого поля та енергетичної відстройки. Вивчено динаміку кубіта постійного струму. Для цього було записано і розв'язано рівняння Ліндблада. З іншого боку для цієї системи записано і розв'язано рівняння балансу. Після чого ці два підходи було порівняно між собою. Значну увагу приділено теоретичному вивченню властивостей та особливостей твердотільного штучного атома у чотирьохрівневого наближенні, зокрема, подано гамільтоніан системи та записано рівняння балансу, що її описують. Розділ 3 присвячено застосуванню рівняння балансу для опису подвійної квантової точки. Особливу увагу в розділі приділено вивченню можливих сфер застосування подвійних квантових точок та їхнього місця у сучасній фізиці. Виведено вираз для рівнів енергії подвійної квантової точки. Отримано систему рівнянь балансу для досліджуваної подвійної квантової точки. Розв'язування отриманих рівнянь дало змогу побудувати експериментально вимірювану величину – фазову відповідь резонатора як функцію амплітуди збуджуючого сигналу та енергетичної відстройки. На основі порівняльного аналізу теоретичних та експериментальних результатів було зроблено висновок, що отримана інтерферограма демонструє ті самі моделі, що й експериментальна. У доповнення було побудовано залежність ймовірностей заселення певного рівня від часу для різних режимів. Розглянуто систему у енергетичному базисі. Зроблено припущення про те, що верхній енергетичний рівень не впливає на поведінку системи і тому ним можна знехтувати. Для такого випадку записано рівняння балансу та обговорено можливі граничні випадки. Розділ 4 присвячено теоретичному та експериментальному вивченню поведінки кубіта типу трансмон, під'єданого до напівнескінченної лінії передач. На початку розділу описано актуальність та доцільність вивчення такого роду систем, а також коротко описано методи теоретичних досліджень. Значну частину розділу присвячено експериментальним аспектам вивчення динаміки кубіта типу трансмон, під'єданого до напівнескінченної лінії передач. У ході експерименту на кубіт діють зонduючий та збуджуючий (сигнал накачки) сигнали. Варіюючи параметри цих сигналів і потім, аналізуючи зонduючий сигнал, можна досліджувати динаміку систему. Реалізовано теоретичне описання кубіта типу трансмон, під'єданого до напівнескінченної лінії передач. Одним з основних результатів розділу є отримані інтерферограми: залежність коефіцієнта відбиття r від потужності накачки і частоти зонduючого сигналу при фіксованій частоті накачки та потужності зонduючого сигналу. Детально вивчена динамічна поведінка кубіта типу трансмон, під'єданого до напівнескінченної лінії передач в залежності від значень частоти накачки та потужності сигналу накачки. Також розглянуто випадок відсутності збуджуючого сигналу.

2. The dissertation is devoted to a detailed study and analysis of dynamic processes that occur during the interaction of mesoscopic two-level (qubits) and multi-level (qudites) systems with an exciting signal. The introduction briefly substantiates the relevance of choosing the topic of the dissertation work, defines the purpose and main tasks of the research, and also describes the object, subject and research methods. The scientific novelty and practical significance of the obtained results are formulated. Information about publications, personal contribution of the recipient and approval of the results of the dissertation is provided. Information about the structure and scope of the presented dissertation work is also indicated. Chapter 1 is devoted to the review and analysis of the literature on the topic of the dissertation. It examines theoretical and experimental aspects of the dissertation work. Experiments were analyzed, the description of which is devoted to further calculations. In particular, a solid-state artificial atom in the two-level approximation was considered - a direct current qubit, a double quantum dot based on silicon, a solid-state artificial atom in a four-level approximation. The rate-equation, the Lindblad equation, and the theoretical aspects of superconducting qubits are considered. A detailed study of

the theoretical aspects of superconducting qubits, the self-contained Josephson contact, a superconducting ring with a Josephson contact (SQUID) is described. In chapter 2 the rate-equation is applied to describe two quantum systems: a persistent-current qubit and a solid-state artificial atom. The rate-equation for a two-level system – a persistent-current qubit is written. The interferogram: the probability of the population of the $|1\rangle$ state of the system as a function of the excitation field amplitude and energy detuning is obtained. The dynamics of the persistent-current qubit is studied. For this purpose, the Lindblad equation was written down and solved. On the other hand, the rate-equation was written and solved for this system. After that, these two approaches were compared with each other. A solid-state artificial atom is theoretically studied in the four-level approximation, in particular, the Hamiltonian of the system is presented and the rate equations describing it are written. Chapter 3 is devoted to the application of the rate-equation to describe the double quantum dot. Special attention is paid in the chapter to the study of possible areas of double quantum dots application and their position in modern physics. An expression for the energy levels of a double quantum dot is derived. An expression for the energy levels of a double quantum dot is derived. A system of balance equations for the studied double quantum dot is obtained. Solving the obtained equations made it possible to construct an experimentally measured quantity – the phase response of the resonator as a function of the amplitude of the excitation signal and energy tuning. Based on the comparative analysis of theoretical and experimental results, it was concluded that the obtained interferogram shows the same patterns as the experimental one. In addition, the dependence of the occupancy probabilities of a certain level on time for different regimes was constructed. In one of sections, the system is considered in the energy basis and it is assumed that the upper energy level does not affect the behavior of the system and therefore it can be neglected. For such a case, the rate-equations are written and possible boundary cases are discussed. Chapter 4 is devoted to the theoretical and experimental study of the transmon-type qubit connected to a semi-infinite transmission line behavior. The introduction to the chapter describes the relevance and expediency of studying this kind of systems, as well as briefly describes the methods of theoretical research. The experimental aspects of studying the dynamics of a transmon-type qubit connected to a semi-infinite transmission line are considered. During the experiment, probing and excitation (pump) signals act on the qubit. By varying the parameters of these signals and then analyzing the probing signal, it is possible to study the system dynamics. Theoretical description of a transmon-type qubit connected to a semi-infinite transmission line are given. One of the main results is the obtained interferograms: the dependence of the reflection coefficient r on the pump power and probing signal frequency at a fixed pump frequency and probing signal power. The dynamic behavior of a transmon-type qubit coupled to a semi-infinite transmission line is studied in detail depending on the values of the pump frequency and the pump power of the signal. The case of the absence of an exciting (pump) signal is also considered.

Державний реєстраційний номер ДіР: 0117U002291, 0122U001503, 0123U103073

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Освоєння нових технологій виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій

Підсумки дослідження: Теоретичне узагальнення і вирішення важливої наукової проблеми

Публікації:

- M. P. Liul, and S. N. Shevchenko, Rate-equation approach for multi-level quantum systems, Low Temperature Physics 49, №. 1, 96–102 (2023), Q3, DOI: 10.1063/10.0016482
- 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), Q1, DOI: 10.1103/PhysRevB.107.195441

- M. P. Liul, A. I. Ryzhov, S. N. Shevchenko, Interferometry of multi-level systems: rate-equation approach for a charge qudit, European Physical Journal Special Topics . (2023), Q2, DOI: 10.1140/epjs/s11734-023-00977-4
- M. P. Liul, and S. N. Shevchenko, "Parallel double quantum dot coupled to a fermionic sea", I International Advanced Study Conference "Condensed Matter and Low Temperature Physics 2020", (CM<P 2020), 8-14 June, 2020, Kharkiv, Ukraine, Online, Abstracts (2020)
- M. P. Liul, A. I. Ryzhov, and S. N. Shevchenko, "High-frequency quantum interferometry for a double-quantum dot", II International Advanced Study Conference "Condensed Matter and Low Temperature Physics 2021", (CM<P 2021), 6-12 June, 2021, Kharkiv, Ukraine, Online, Abstracts (2021)
- 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, "Coherence dynamics of a photon-addressed qubit", American Physics Society March meeting 2022, ("APS March meeting"), 14-18 March, 2022, Chicago, USA, Online, Abstracts, p. A36.8 (2022)
- M. P. Liul, and S. N. Shevchenko, "Rate-equation approach for qudits", American Physics Society March meeting 2023, ("APS March meeting"), 20- 22 March, 2023, Los-Angeles, USA, Online, Abstracts, p. VV01.13 (2023)
- M. P. Liul, S. N. Shevchenko, "Rate-equation approach for the solid-state artificial atom", III International Advanced Study Conference "Condensed Matter and Low Temperature Physics 2023", (CM<P 2023), 5-11 June, 2023, Kharkiv, Ukraine, Online, Abstracts (2023)

Наукова (науково-технічна) продукція: методи, теорії, гіпотези

Соціально-економічна спрямованість: створення принципово нової продукції (матеріалів, технологій тощо) для забезпечення експортного потенціалу та заміщенню імпорту

Охоронні документи на ОПВ:

Впровадження результатів дисертації: Впровадження не планується

Зв'язок з науковими темами: 0117U002291, 0122U001503, 0123U103073

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Шевченко Сергій Миколайович
2. Serhii M. Shevchenko

Кваліфікація: д. ф.-м. н., с.н.с., 01.04.02, 01.04.07

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-3655-0365

Додаткова інформація: ResearcherID: J-1680-2016; Scopus Author ID: 7101791730

Повне найменування юридичної особи: Фізико-технічний інститут низьких температур імені Б. І. Веркіна Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 03534601

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 47, Харків, Харківський р-н., 61103, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Майзеліс Захар Олександрович
2. Zakhar O. Maizelis

Кваліфікація: д. ф.-м. н., доц., 01.04.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-6217-7117

Додаткова інформація: Scopus Author ID: 35484673500; Web of Science ResearcherID: DXT-6787-2022

Повне найменування юридичної особи: Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова
Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 03534593

Місцезнаходження: вул. Академіка Проскури, буд. 12, Харків, Харківський р-н., 61085, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Слюсаренко Юрій Вікторович
2. Yurii V. Slyusarenko

Кваліфікація: д. ф.-м. н., професор, академік НАН України, 01.04.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-5298-0731

Додаткова інформація: Scopus Author ID: 35608411500; Web of Science ResearcherID: E-5012-2018

Повне найменування юридичної особи: Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут" Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 14312223

Місцезнаходження: вул. Академічна, буд. 1, Харків, Харківський р-н., 61108, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Колесніченко Юрій Олексійович
2. Yuriy Kolesnichenko

Кваліфікація: д. ф.-м. н., професор, 01.04.02, 01.04.07

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-5770-631X

Додаткова інформація: Scopus Author ID: 7005312956; Web of Science ResearcherID: Q-4695-2018

Повне найменування юридичної особи: Фізико-технічний інститут низьких температур імені Б. І. Веркіна Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 03534601

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 47, Харків, Харківський р-н., 61103, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Кулініч Сергій Іванович

2. Sergiy I. Kulinich

Кваліфікація: к. ф.-м. н., старший науковий співробітник, 01.04.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0009-0006-6317-072X

Додаткова інформація: Scopus Author ID: 8595305400; Web of Science ResearcherID: AAD-7264-2020

Повне найменування юридичної особи: Фізико-технічний інститут низьких температур імені Б. І. Веркіна Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 03534601

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 47, Харків, Харківський р-н., 61103, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові
голови ради**

Славін Віктор Валерійович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові
головуючого на засіданні**

Славін Віктор Валерійович

**Відповідальний за підготовку
облікових документів**

Калиненко Олександр Миколайович

Реєстратор

УкрІНТЕІ

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є
відповідальним за реєстрацію наукової
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна