

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0824U003298

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 31-10-2024

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: Наказ №7-ОД від 10.01.2025



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Рижов Артем Ігорович

2. Artem Ryzhov

Кваліфікація: 104

Ідентифікатор ORCID ID: 0009-0009-8635-7871

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

Дата захисту: 24-12-2024

Спеціальність за освітою: 105 - 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

64.175.017_ID_7140

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: 29.19.29, 29.19.03

Тема дисертації:

1. Застосування інтерферометрії Ландау-Зінера-Штյюкельберга-Майорани для контролю динаміки квантових систем
2. Application of Landau-Zener-Stückelberg-Majorana interferometry for the control of the dynamics of quantum systems

Реферат:

1. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 - «Фізика та астрономія» (10 - Природничі науки). - Фізико-технічний інститут низьких температур ім. Б.І. Веркіна Національної академії наук України, Харків, 2024. Дисертацію присвячено дослідженню динаміки квантових дворівневих і багаторівневих систем та розробці нових підходів до її опису та контролю з використанням рівняння Ліндблада, інтерферометрії Ландау-Зінера-Штյюкельберга-Майорани, адіабатично-імпульсної моделі та рівнянь балансу. У вступі коротко обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено мету та основні завдання дослідження, об'єкт, предмет та методи дослідження. Сформульовано наукову новизну та описано

практичне значення отриманих результатів. Також у цьому розділі наведено інформацію про публікації, особистий внесок здобувача та апробацію результатів дисертації. Наведено інформацію про структуру та обсяг дисертації. Розділ 1 присвячено огляду та аналізу літератури за темою дисертації. Перехід ймовірності заселеності між енергетичними рівнями квантової системи під час проходження квазіперетину рівнів називається переходом Ландау-Зінера-Штյюкельберга-Майорани (ЛЗШМ). Коли квантова система з квазіперетином рівнів знаходиться під впливом періодичного сильного збудження з достатньо великою амплітудою, відбувається послідовність ЛЗШМ переходів. Фізично спостережувані величини системи, такі як ймовірності заселеностей енергетичних рівнів, виявляють періодичну залежність від параметрів зовнішнього збудження, відому як інтерферометрія ЛЗШМ. Розділ 2 присвячено дослідженню альтернативної парадигми реалізації квантових логічних операцій на основі нерезонансного збудження з переходами ЛЗШМ. У дисертації розвивається ця парадигма квантових логічних, досліджується динаміка багаторівневої квантової системи під впливом ЛЗШМ збудження та оптимізуються параметри для підвищення швидкостей квантових логічних операцій. Визначено параметри зовнішнього керуючого сигналу, необхідні для реалізації конкретної квантової логічної операції, продемонстровано реалізації операцій X, Y, Адамара та фазової операції, використовуючи як осциляції Рабі, так і ЛЗШМ переходи, і порівняно швидкості та точність, досягнуті за допомогою обох підходів. Було узагальнено розглянуту парадигму для реалізації квантових логічних операцій для багаторівневих квантових систем і описано реалізацію двокубітних операцій iSWAP та CNOT. Надано деякі деталі реалізації інших двокубітних операцій: SWAP, CZ, CS. Розділ 3 присвячено вивченню спектроскопії кремнієвої подвійної квантової точки (ПКТ). Періодично збуджувана квантова система з квазіперетином рівнів зазнає як неадіабатичних переходів, так і фазових змін хвильової функції. Для кубітів із розходжуваними енергетичними рівнями така ЛЗШМ інтерференція демонструє дугоподібні резонансні лінії. У випадку багаторівневої системи з квазіперетином двох нижніх рівнів продемонстровано, що форма резонансів може змінюватися від опуклих дуг до увігнутих серцеподібних і арфоподібних резонансних ліній. Це було розглянуто для кремнієвих квантових точок. Розглянуто чотирирівневий гамільтоніан, обговорено, як підготувати стани ПКТ для низькочастотної ЛЗШМ-спектроскопії, одягнувши їх резонансним сигналом. Одягання дозволяє застосувати формули інтерферометрії ЛЗШМ для дворівневих квантових систем. У дисертації були обговорені отримані інтерференційні смуги та проаналізована форма резонансних ліній. Розділ 4 присвячено опису квантових багаторівневих систем за допомогою рівняння Ліндблада, адіабатично-імпульсної моделі та методу рівнянь балансу. В цьому розділі вивчається сильно збуджувана дисипативна чотирирівнева ПКТ. Отримано її гамільтоніан та розв'язується рівняння Ліндблада. Існує чотири різні режими ЛЗШМ: багатопрхідний, однопрхідний, двопрхідний і некогерентний. Розраховано ймовірності заселеностей кожного стану системи як функції часу для всіх режимів роботи. Також в цьому розділі описується як використовувати адіабатично-імпульсну модель і підхід рівнянь балансу для опису квантових багаторівневих систем. Поеднання адіабатично-імпульсної моделі та методу рівнянь балансу дозволяє в деяких випадках описати динаміку багаторівневих квантових систем з енергетичною релаксацією та ЛЗШМ переходами. Була розрахована динаміка детектора мікрохвильових фотонів на основі потокового кубіта для стадії перезарядки детектора.

2. Dissertation for a Doctor of Philosophy degree in speciality 104 - «Physics and Astronomy» (10 - Natural Sciences). - B. Verkin Institute for Low Temperature Physics and Engineering, NAS of Ukraine, Kharkiv 2024. The dissertation is devoted to the study of the dynamics of quantum two-level and multilevel systems and the development of new approaches to its description and control using the Lindblad equation, Landau-Zener-Stückelberg-Majorana interferometry, adiabatic-impulse model and rate equation approach. In the introduction I briefly justify the relevance of the dissertation topic, define purpose and main tasks of the research, objects, subject, and research methods. The scientific novelty is formulated and the practical value of the obtained results is described. Also, this chapter includes the information about the publications, personal applicant's contributions, and approbation of the dissertation results. The information about the structure and volume of the dissertation is also given. The chapter 1 is devoted to the review and analysis of the literature related to the topic of the dissertation. A transition of the occupation probability between energy levels of a quantum system during the

passage of an avoided crossing of the levels is known as a Landau-Zener-Stückelberg-Majorana (LZSM) transition. When a quantum system with an avoided-level crossing is subject to periodic strong driving with sufficiently large amplitude, a sequence of LZSM transitions occurs. The physical observables of the system, like the occupation probabilities of the energy levels, exhibit periodic dependence on the parameters of the external driving, known as LZSM interferometry. The chapter 2 is devoted to the study of an alternative paradigm for implementing quantum logic gates based on non-resonant driving with LZSM transitions. We further develop this paradigm, explore the dynamics of a multi-level quantum system under LZSM drive and optimize the parameters for increasing the quantum logic gates speed. We define the parameters of the external driving required for implementing a specific quantum logic gate, demonstrate the implementations of X, Y, Hadamard, and phase gates implementations using both Rabi oscillations and LZSM transitions, and compare the speed and fidelities achieved with both paradigms. We generalize the considered paradigm to realize quantum logic gates for multi-level quantum systems, and describe the realizations of two-qubit iSWAP and CNOT gates. We also provide some details for implementing other two-qubit gates: SWAP, CZ, CS. The chapter 3 is devoted to the study of the spectroscopy for a silicon double quantum dot (DQD). A periodically driven quantum system with avoided level crossing experiences both non-adiabatic transitions and wave-function phase changes. For qubits with repelling energy levels, the LZSM interference displays arc-shaped resonance lines. In the case of a multi-level system with an avoided level crossing of the two lower levels, the shape of the resonances can change from convex arcs to concave heart-shaped and harp-shaped resonance lines. We consider this for silicon quantum dots. We consider a four-state Hamiltonian and discuss how to prepare the DQD states for low-frequency LZSM spectroscopy by dressing them with a resonant signal. The dressing allows to adopt the formulas of the LZSM interferometry for the two-level quantum systems. We discuss the interference fringes obtained, and analyze the shape of the resonant lines. The chapter 4 is devoted to the description of the quantum multi-level systems with the Lindblad master equation, the adiabatic-impulse model, and the rate equation approach. We study a strongly driven dissipative four-level DQD. We obtain its Hamiltonian and solve the Lindblad master equation. There are four different LZSM regimes: multi-passage, single-passage, double-passage, and incoherent one. We calculated occupation probabilities of each system's state as functions of time for all operation regimes. We also describe how to use the adiabatic-impulse model and the rate equation approach for description of quantum multilevel systems. By combination of the adiabatic-impulse model and the rate equation approach it is possible in some cases to describe the dynamics of multilevel quantum systems with energy relaxation and LZSM crossings. We calculate the dynamics of the detector of microwave photons, based on the flux qubit for the reset stage of the detector.

Державний реєстраційний номер ДіР: 0117U002291, 0122U001503

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 високотехнологічного розвитку транспортної системи, ракетно-космічної галузі, авіа- і суднобудування, озброєння та військової техніки

Підсумки дослідження: Нове вирішення актуального наукового завдання

Публікації:

- S. N. Shevchenko, A. I. Ryzhov, and Franco Nori, Low-frequency spectroscopy for quantum multilevel systems, *Physical Review B* 98, 195434 (2018), <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.98.195434>, Q1
- A. I. Ryzhov, O. V. Ivakhnenko, S. N. Shevchenko, M. F. Gonzalez-Zalba, and Franco Nori, Alternative fast quantum logic gates using nonadiabatic Landau-Zener-Stückelberg-Majorana transitions, *Physical Review Research* 6 033340 (2024), <https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.6.033340> Q1

- O. A. Ilinskaya, A. I. Ryzhov, and S. N. Shevchenko, Flux qubit based detector of microwave photons, *Physical Review B* 110, 155414 (2024), <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.110.155414> Q1
- A. I. Ryzhov, S. N. Shevchenko, "Modeling and study of the evolution of a four-level quantum system", Student conference on Applied Physics "Actual problems of modern physics", 24 Nov, 2017, Kharkiv, Ukraine, Abstracts, p. 55 (2017)
- A. I. Ryzhov, S. N. Shevchenko, "Resonant excitations of a single qubit: diabatic and adiabatic regimes", International Advanced Study Conference «Condensed Matter and Low Temperature Physics 2020», (CM<P 2020), 8-14 June, 2020, Kharkiv, Ukraine, Abstracts, p. 175 (2020)
- A. I. Ryzhov, S. N. Shevchenko, Franco Nori, "Resonant interferometry and spectroscopy of a double quantum dot system", XI Conference of Young Scientists "Problems of Theoretical Physics", ("Problems of Theoretical Physics"), 21-23 December, 2020, Kyiv, Ukraine, Online, Abstracts, p. 25 (2020)
- A. I. Ryzhov, S. N. Shevchenko, Franco Nori, "Low-frequency spectroscopy for quantum multilevel systems", American Physics Society March meeting 2021 ("APS March meeting"), 15-19 March, 2021, USA, Online, Abstracts, p. C29.00001 (2021)
- A. I. Ryzhov, O. V. Ivakhnenko, S. N. Shevchenko, and Franco Nori, "Landau-Zener-Stückelberg-Majorana quantum logic gates", II International Advanced Study Conference "Condensed Matter and Low Temperature Physics 2021", (CM<P 2021), 6-12 June, 2021, Kharkiv, Ukraine, Online, Abstracts, p. 211 (2021)
- A. I. Ryzhov, M. P. Liul, S. N. Shevchenko, M. F. Gonzalez-Zalba, and Franco Nori, "Four regimes of excitations of a double quantum dot", International Symposium on Novel maTerials and quantum Technologies (ISNTT2021), 14- 17 December, 2021, Atsugi, Japan, Online, Abstracts, p. 145 (2021)
- A. I. Ryzhov, O. V. Ivakhnenko, S. N. Shevchenko, and Franco Nori, "Fast Landau-Zener-Stückelberg-Majorana quantum logic gates", American Physics Society March meeting 2022 ("APS March meeting"), 14-18 March, 2022, Chicago, USA, Online, Abstracts, p. Q38.00011 (2022)
- A. I. Ryzhov, O. V. Ivakhnenko, S. N. Shevchenko, and Franco Nori, "Nonresonant quantum logic gates", American Physics Society March meeting 2023 ("APS March meeting"), 20-22 March, 2023, Las Vegas, USA, Online, Abstracts, p. UU05.00009 (2023)
- A. I. Ryzhov, O. V. Ivakhnenko, S. N. Shevchenko, and Franco Nori, "Two-qubit nonadiabatic quantum logic gates", III International Conference "Condensed Matter and Low Temperature Physics", (CM<P 2023), 5-11 June, 2023, Kharkiv, Ukraine, Online, Abstracts, p. 197 (2023)
- A. I. Ryzhov, O. V. Ivakhnenko, S. N. Shevchenko, M. F. Gonzalez-Zalba, and Franco Nori, "Fast quantum logic gates using nonadiabatic Landau-Zener- Stückelberg-Majorana transitions", American Physics Society March meeting 2024 ("APS March meeting"), 4-8 March, 2024, Minneapolis, USA, Online, Abstracts, p. DD03.00005 (2024)

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

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Шевченко Сергій Миколайович

2. Sergiy M. Shevchenko

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

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-3655-0365

Додаткова інформація: Scopus Author ID: 7101791730; Web of Science Researcher ID: J-1680-2016

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. Сотніков Андрій Геннадійович
2. Andriy G. Sotnikov

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

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-3632-4790

Додаткова інформація: Scopus Author ID: 15023703100; Web of Science Researcher ID: A-7274-2015

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. Константинов Олександр Михайлович

2. Aleksandr M. Konstantinov

Кваліфікація: к. ф.-м. н., 01.04.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-4856-8909

Додаткова інформація: Scopus Author ID: 57104649600; Web of Science Researcher ID: AAE-2172-2020

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