# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

**Державний обліковий номер:** 0823U100712

**Особливі позначки:** відкрита

**Дата реєстрації:** 27-09-2023

**Статус:** Підтверджена МОН

**Реквізити наказу МОН / наказу закладу:** Наказ №137-ОД від 31.10.2023

## II. Відомості про здобувача

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Івахненко Олег Володимирович
2. Oleh V. Ivakhnenko

**Кваліфікація:** 104

**Ідентифікатор ORCHID ID:** 0000-0002-6887-9504

**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:** 12-10-2023

**Спеціальність за освітою:** 105 Прикладна фізика та наноматеріали

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

**Код за ЄДРПОУ:** 03534601

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

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Сектор науки:** Академічний

## III. Відомості про організацію, де відбувся захист

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** ДФ 64.175.008_ID_2120

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

**Код за ЄДРПОУ:** 03534601

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

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Сектор науки:** Академічний

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

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

**Код за ЄДРПОУ:** 03534601

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

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Сектор науки:** Академічний

## 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. Динаміка неадіабатичних переходів в квантових та класичних дворівневих системах
2. Dynamics of nonadiabatic transitions in quantum and classical two-level systems

### Реферат:

1. Дисертація присвячена дослідженню фундаментальних динамічних явищ, які виникають внаслідок збудження квантових та класичних дворівневих систем у мікроскопічних та мезоскопічних структурах. У вступі коротко обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено мету та основні завдання дослідження, також об'єкт, предмет та методи дослідження. Сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про публікації, особистий внесок здобувача та апробацію результатів дисертації. Також приведені відомості про структуру та обсяг дисертаційної роботи. Розділ 1

присвячено огляду та аналізу літератури за темою дисертації. В цьому розділі розглянуто основні явища, які виникають при збудженні дворівневих систем (ДРС), які ще називаються кубітами. Велика кількість різноманітних систем, можуть бути розглянуті як ДРС. Зокрема введено перехід Ландау-Зінера-Штукельберга-Майорани (ЛЗШМ). Розділ 2 присвячено детальному аналізу одноразового переходу ЛЗШМ та його властивостей, таких як динаміка для різних швидкостей переходу в різних базисах та час перехідного процесу. У цьому розділі також введено метод матриць переходу та, вперше, перехід зі збереженням заселеності. Розділ 3 присвячено дослідженню різних підходів до багаторазових переходів ЛЗШМ під дією гармонічного сигналу збудження. Вперше отримана більш точна формула для середньої за часом заселеності рівнів в адіабатичному базисі в рамках адіабатично-імпульсоної моделі (AIM). Досліджено вплив частоти збудження на інтерферограми в рамках наближення хвилі, що обертається (HXO). Досліджено вплив релаксації декогеренції та температури на динаміку дворівневої системи. Вперше представлена відносна складність розрахунків інтерферограм за різними методами як час необхідний на побудову однієї і тієї ж інтерферограми різними методами та наближеннями. Розділ 4 присвячено дослідженню та демонстрації використання багаторазових неадіабатичних переходів ЛЗШМ як базису для квантових логічних операцій. Показано, що переходи ЛЗШМ мають більшу швидкість та точність виконання операції ніж осциляції Рабі, які зазвичай використовуються для квантових логічних операцій. Що дозволяє зробити більше операцій до того моменту як вплив дисипативного середовища буде значущим. Розділ 5 присвячено теоретичному вивченню взаємодії кубіту типу трансмон з напівобмеженою лінією передач, та коефіцієнту відбиття такої системи. Вперше створено теорію для симуляції поведінки такої системи. Показано, що вірогідність збудження пропорційна зменшенню коефіцієнту відгуку такої системи, продемонстровано схожість та відмінність теоретичних та експериментальних інтерферограм. Запропоновано ввести нелінійну поправку до амплітуди збудження для кращого співпадіння теорії та експерименту. Однією з переваг цієї системи є можливість маніпулювати поглинанням дворівневої системи, що забезпечує новий спосіб маніпулювання квантовими станами. Розділ 6 присвячено дослідженню схожості та відмінності між кубітом та класичними системами зв'язаних осциляторів. За допомогою кількох наближень можна перейти від рівняння Ньютона до рівняння Шредінгера. Описано розв'язок рівняння Шредінгера з аналогами класичних параметрів для динаміки класичної та квантової системи. Вперше розрахований результат інтерферометрії, аналогічної до квантової, для класичної системи під дією шумового збуджуючого сигналу прямокутної форми.Цю аналогію можна використати для симуляції інтерференційних явищ на класичній системі, яка зазвичай не потребує екстремально низьких температур для роботи і може працювати при кімнатній температурі, що робить їх більш доступними. Розділ 7 присвячено дослідженню динаміки стиснутої з боків мембрани, яка має два стабільних стани для використання її як однієї з обкладок мем'ємності (конденсатор з ефектом пам'яті). Вперше показано, що є два типи перескоку мембрани симетричний та асиметричний, та що для асиметричного перескоку потрібна менша порогова сила, для розрахунку мінімальної порогової сили для переключення мембрани достатньо розглядати всього дві власні функції. Порівняно результати розрахунків для порогової сили необхідної для перемикання з іншими теоретичними та чисельними розрахунками.

2. The dissertation is devoted to the study of fundamental dynamical phenomena which emerge due to the driving of the quantum and classical two-level systems in microscopic and mesoscopic structures. In the introduction the relevance is briefly justified of the dissertation topic, defined 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 are described. Also, this chapter has discussed the information about the publications, personal applicant's contribution, 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 on the topic of this thesis. The main phenomena of two-level system (TLS) driving are briefly described. Variety different systems can be considered as two-level systems. In particular, the Landau-Ziner-Stükelberg-Majorana (LZSM) transition is introduced. Chapter 2 is devoted to a detailed analysis of the one-time transition of the LZSM and its properties, such as dynamics for a different speed of transition and different initial conditions, as well as time of the transition in different bases. In this chapter, the method of transition matrices and the transition with preservation of

population are also introduced for the first time. Chapter 3 is devoted to describing of various approaches to the multiple transitions of LZSM under the action of a harmonic excitation signal. More accurate formula for the average time occupancy of levels in the diabatic basis is obtained for the first time within the approach of the adiabatic-impulse model (AIM). The influence of excitation frequency on interferograms within the rotating wave approximation (RWA) is investigated. The effect of decoherence relaxation and temperature on the dynamics of the two-level system is investigated. The relative complexity of interferogram calculations by different methods is presented for the first time as the time required to construct the same interferogram by different methods and approximations. Chapter 4 is devoted to the description and demonstration of the usage of multiple non-adiabatic LZSM transitions as a basis for quantum logic operations. LZSM transitions have several advantages over Rabi oscillations, which are commonly used for quantum logic operations, such as faster operation speed with higher accuracy. That allows us to apply more operations before the influence of the dissipative environment becomes significant. Chapter 5 is devoted to the theoretical description of the interaction of a transmon qubit with a semi-limited transmission line, the study of the reflection coefficient of such a system. For the first time, a theory to simulate the behavior of such a system, is developed. It is shown that the probability of excitation is proportional to the decrease in the reflection coefficient of such a system, and the similarities and differences between theoretical and experimental interferograms are demonstrated. It is proposed to introduce a nonlinear correction to the excitation amplitude for a better agreement between theory and experiment. One of the advantages of this system is the ability to manipulate the absorption of a two-level system, which provides a new way to manipulate quantum states. Chapter 6 is devoted to the study of similarities and differences between the qubit and classical systems of two coupled oscillators. With only two approximations, we can move from Newton's equation to the Schrödinger equation. The solution of the Schrödinger equation with classical analogs of the parameters is described. For the first time, the result of interferometry like quantum interferometry for a classical system under the action of a rectangular noise excitation signal is calculated. This analogy can be used to simulate interference phenomena on a classical system, which usually does not require extremely low temperatures to operate and can operate at room temperature, which makes them more accessible. Chapter 7 is devoted to the study of dynamics of the laterally compressed buckled membrane, which has two stable states for its use as one of the plates of a memcapacitor (a capacitor with a memory effect). It is shown for the first time that there are two types of membrane switching: symmetric and asymmetric, asymmetric jumping requires a lower threshold force, and that it is sufficient to consider only two eigenfunctions to calculate the minimum threshold force for membrane switching. The results of calculations for the threshold force required for switching are compared with other theoretical and numerical calculations.

**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 виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій

**Підсумки дослідження:** Теоретичне узагальнення і вирішення важливої наукової проблеми

**Публікації:**


- O. V. Ivakhnenko, S. N. Shevchenko, and Franco Nori, Simulating quantum dynamical phenomena using classical oscillators: Landau-Zener-Stückelberg-Majorana interferometry, Scientific Reports, 8, 12218, (2018), Q1
- R. D. Yamaletdinov, O. V. Ivakhnenko, O. V. Sedelnikova, S. N. Shevchenko, Y. V. Pershin, Snap-through transition of buckled graphene membranes for memcapacitor applications, Scientific Reports, 8, 3566, (2018),

Q1

- 3. P. Y. Wen, O. V. Ivakhnenko, M. A. Nakonechnyi, B. Suri, J.-J. Lin, W.-J. Lin, J. C. Chen, S. N. Shevchenko, Franco Nori, I.-C. Hoi, Landau-Zener-Stückelberg-Majorana interferometry of a superconducting qubit in front of a mirror, Physical Review B, 102, 075448 (2020), Q1
- Oleh V. Ivakhnenko, Sergey N. Shevchenko, Franco Nori, Nonadiabatic Landau–Zener–Stückelberg–Majorana transitions, dynamics, and interference, Physics Reports, 995, 1-89 (2022), Q1
- O. V. Ivakhnenko, S. N. Shevchenko, ”Simulating quantum dynamical phenomena using classical oscillators”, International school & conference on+ nanoscience and quantum transport (nanoQT-2016), 8-14 October, 2016, Kyiv, Ukraine, Poster, onsite (2016)
- O.V. Ivakhnenko, and S.N. Shevchenko, ”Interferometry with nanomechanical resonator”, Student conference on Applied Physics ”Actual problems of modern physics”, 25 Nov, 2016, Kharkiv, Ukraine, Abstracts, p. 21 (2016)
- O. V. Ivakhnenko, S. N. Shevchenko, R. D. Yamaletdinov, and Y. V. Pershin, ”Dynamics of a membrane for creation of a memcapacitance”, VIII International Conference for Professionals & Young Scientists low temperature physics (ICPYS-LTP2017), 29 May-2 June, 2017, Kharkiv, Ukraine, Abstracts, p. 147 (2017)
- O. V. Ivakhnenko, S. N. Shevchenko, R. D. Yamaletdinov, and Y. V. Pershin, ”Elastic dynamics of the membrane to create the memcapacitors”, Student 7 conference on Applied Physics ”Actual problems of modern physics”, 24 Nov, 2017, Kharkiv, Ukraine, Abstracts, p. 31 (2017)
- . O. V. Ivakhnenko, S. N. Shevchenko, and Franco Nori, ”Landau-ZenerStückelberg-Majorana interferometry, latching modulation, and motional averaging – dynamical quantum phenomena simulated by coupled classical oscillators”, IX International Conference for Professionals & Young Scientists low temperature physics (ICPYS-LTP2018), 4-8 June, 2018, Kharkiv, Ukraine, Abstracts, p. 183 (2018)
- O. V. Ivakhnenko, S. N. Shevchenko, and Franco Nori, ”Qubit and coupled mechanical resonators, similarities and differences of behaviour”, International School and Symposium on Nanoscale Transport and phoTonics 2019 (ISNTT2019), 18-22 November, 2019, Atsugi, Japan
- O. V. Ivakhnenko, S. N. Shevchenko, and Franco Nori, ”Comparison of approaches for description of driven qubits”, International Advanced Study Conference «Condensed Matter and Low Temperature Physics 2020», (CM&LTP 2020), 8-14 June, 2020, Kharkiv, Ukraine, Online, Abstracts, p. 167 (2020)
- O. V. Ivakhnenko, S. N. Shevchenko, and Franco Nori, ”Occupationconservation transition in a quantum two-level system”, XI Conference of Young Scientists ”Problems of Theoretical Physics”, (”Problems of Theoretical Physics”), 21-23 December, 2020, Kyiv, Ukraine, Online, Abstracts, p. 23 (2020)
- O. V. Ivakhnenko, S. N. Shevchenko, and Franco Nori, ”Simulating quantum dynamical phenomena using classical oscillators”, American Physics Society March meeting 2021 (”APS March meeting”), 15-19 March, 2021, Online, USA, Abstracts, p. P31.003 (2021)
- O. V. Ivakhnenko and S. N. Shevchenko and Franco Nori, ”Ultrafast LandauZener-Stückelberg-Majorana (LZSM) gates”, International Symposium on Novel maTerials and quantum Technologies (ISNTT2021), 14-17 November, 2021, Atsugi, Japan, Online
- O. V. Ivakhnenko, S. N. Shevchenko, and Franco Nori, ”Landau-ZenerStuckelberg-Majorana transitions for interferometry and quantum control”, American Physics Society March meeting 2022 (”APS March meeting”), 14- 18 March, 2022, Chicago, USA, Online, Abstracts, p. Q38.00010 (2022)
- O. V. Ivakhnenko, A. I. Ryzhov, S. N. Shevchenko, M. F. Gonzalez-Zalba, and Franco Nori, ”Landau-Zener-Stückelberg-Majorana transitions for fast quantum logic gates”, 29th International Conference on low temperature physics” (LT29), 18-24 August, 2022, Sapporo, Japan, Online, Abstracts, p. P20-SF4-24 (2022)
- O. V. Ivakhnenko, S. N. Shevchenko, and Franco Nori, ”Nonadiabatic Landau-Zener-Stuckelberg-Majorana transitions dynamics, and interference”, American Physics Society March meeting 2023 (”APS March meeting”), 20-22 March, 2023, Los-Angeles, USA, Online, Abstracts, p. UU05.00006 (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 ОПІВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Впровадження не планується

**Зв'язок з науковими темами:** 0117U002291, 0122U001503, 0119U103164, 0116U006535, 0121U109286

## 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 ORCHID 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. Вєркіна Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 03534601

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

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Сектор науки:** Академічний

## VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

**Офіційні опоненти**

**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 ORCHID ID:** 0000-0002-3632-4790

**Додаткова інформація:** Scopus Author ID: 15023703100

**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:**

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Сектор науки:** Академічний

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Ямпольський Валерій Олександрович
2. Valerii O. Yampolskyi

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

**Ідентифікатор ORCHID ID:** 0000-0003-3702-4551

**Додаткова інформація:** Scopus Author ID: 55665597700

**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:**

**Сектор науки:** Академічний

**Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Славін Віктор Валерійович
2. Viktor V. Slavin

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

**Ідентифікатор ORCHID ID:** 0000-0003-0519-1291

**Додаткова інформація:** Scopus Author Identifier: 55915688500

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

**Код за ЄДРПОУ:** 03534601

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

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Сектор науки:** Академічний

**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 ORCHID ID:** 0009-0006-6317-072X

**Додаткова інформація:** Scopus Author ID: 8595305400

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

**Код за ЄДРПОУ:** 03534601

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

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Сектор науки:** Академічний

## VIII. Заключні відомості

| | |
|---|---|
| **Власне Прізвище Ім'я По-батькові голови ради** | Колесніченко Юрій Олексійович |
| **Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні** | Колесніченко Юрій Олексійович |
| **Відповідальний за підготовку облікових документів** | Калиненко Олександр Миколайович |
| **Реєстратор** | УкрІНТЕІ |

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