

## РІШЕННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ ВЧЕНОЇ РАДИ ПРО ПРИСУДЖЕННЯ СТУПЕНЯ ДОКТОРА ФІЛОСОФІЇ

Спеціалізована вчена рада ДФ 64.175.008 Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна 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 «Динаміка неадіабатичних переходів в квантових та класичних дворівневих системах» 12 Жовтня 2023 року.

**Івахненко Олег Володимирович**, 24.09.1995 року народження, громадянин України, освіта повна вища. У 2019 році закінчив фізико-технічний факультет Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна і здобув ступінь магістра за спеціальністю «Прикладна фізика та наноматеріали».

Навчається в аспірантурі Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна Національної академії наук України з 2019 р. Успішно виконав освітньо-наукову програму підготовки доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

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

*Науковий керівник:* старший науковий співробітник, завідувач відділу надпровідних та мезоскопічних структур ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України, доктор фіз.-мат. наук **Шевченко Сергій Миколайович**.

Здобувач має 17 наукових публікацій за темою дисертації, з них 4 статті у міжнародних виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз (Scopus, Web of Science), що належать до квартилю Q1 (4 статті) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank, 0 монографій:

1. 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), DOI: 10.1038/s41598-018-28993-8 (Scopus, квартиль Q1)
2. 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), DOI: 10.1038/s41598-018-21205-3 (Scopus, кuartиль 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), DOI: 10.1103/physrevb.102.075448 (Scopus, кuartиль Q1)
4. Oleh V. Ivakhnenko, Sergey N. Shevchenko, Franco Nori, Nonadiabatic Landau-Zener-Stückelberg-Majorana transitions, dynamics, and interference, *Physics Reports*, 995, 1-89 (2022), DOI: 10.1016/j.physrep.2022.10.002 (Scopus, кuartиль Q1)

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

1. Опонент **Ямпольский Валерій Олександрович**, доктор фізико-математичних наук, професор, член-кореспондент НАН України, головний науковий співробітник відділу теоретичної фізики Інституту радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова Національної академії наук України дав позитивний відгук із зауваженнями:

1. В розділі 2 дисертації розглядається теорія переходів Ландау-Зінера-Штукельберга-Майорани без врахування взаємодії з навколишнім середовищем. Наскільки гарно така теорія може описувати реальні системи? Звідки тоді береться час релаксації у підрозділі 2.2.1?

2. Ст. 62 рис. 2.6 Чому при старті з суперпозиційного стану деструктивна інтерференція не приводить до нульової заселеності збудженого рівня? Зазвичай деструктивна інтерференція повинна приводити до нульової заселеності верхнього рівня після його початкового збудження, як це було показано на рис. 3.2 в розділі про періодичне збудження.

3. В розділі 5 усереднений за часом коефіцієнт відбиття кубіту типу трансмон, приєданого до напівнескінченної лінії передач, відповідає усередненій за часом заселеності верхнього енергетичного рівня кубіту. Яким чином коефіцієнт відбиття виявився пропорційним заселеності збудженого рівня кубіту?

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

2. Опонент **Сотніков Андрій Генадійович**, доктор фізико-математичних наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник відділу статистичної фізики і квантової теорії поля Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» надав позитивний відгук із наступними зауваженнями:

1. На мій погляд, у дисертаційній роботі недостатньо розгорнуто надано відповіді на наступні пов'язані між собою питання. Наскільки сильно нелінійність в збуджувальному сигналі впливає на ймовірність переходу Ландау-Зінера-Штукельберга-Майорани? Чому для методу матриць еволюції, що може застосовуватись до широкого спектру сигналів для опису перехідного процесу використовується формули для лінійного збудження? Наскільки гарно адіабатично-імпульсна модель застосовна для гармонійного збудження?

2. У розділі 3 на малюнку 3.5 (i) у кривих для визначення дефазування присутньо багато шуму. Чи означає це, що при виборі різних відтинків перерізу буде отримано різні коефіцієнти дефазування?

3. У наближенні хвилі, що обертається, зокрема, в формулі 3.41 вводиться розвинення в ряд Фур'є, але для чисельних розрахунків потрібно брати обмежену кількість мод та нехтувати всіма іншими. Чим обумовлений вибір кількості мод в наближенні хвилі, що обертається в розділі 3.2? Для якої кількості мод побудовані інтерферограми на рис. 3.4?

4. Хоча результати розділу 6 відзначено мною як одні з найцікавіших, було би важливим зазначити в цьому розділі принципову відмінність квантових систем від класичних, яка не може бути відтворена на класичних системах. З наведених результатів можна зробити висновок, зокрема, що навіть динаміка зміни заселеності рівнів від часу збігається.

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

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

1. Я вже відмічав, що в роботі дуже ретельно і обґрунтовано розглядається кожне питання, тому в мене не зауваження, а скоріше уточнення. Я не зовсім зрозумів термінологію в розділі «ефективний час взаємодії» з

зовнішнім збуренням у різних базисних системах. Складається враження, що існує «декілька ефективних часів взаємодії». Але «час взаємодії» - величина, що спостерігається і вона єдина. Мені здається, що коректніше говорити про «час виходу на асимптотичний режим» у тій чи іншій базисній системі.

2. Рецензент **Славін Віктор Валерійович**, доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу теоретичної фізики Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України надав позитивну рецензію на роботу, без зауважень.

3. Голова ради **Колесніченко Юрій Олексійович**, доктор фізико-математичних наук, професор, головний науковий співробітник відділу мікроконтактної спектроскопії Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України дав позитивну оцінку роботі, без зауважень.

**Загальна оцінка роботи і висновок.** Дисертація Івахненка Олега Володимировича на тему «Динаміка неадіабатичних переходів в квантових та класичних дворівневих системах» є актуальним завершеним науковим дослідженням.

Дисертація присвячена детальному теоретичному вивченню динаміки неадіабатичних переходів в квантових та класичних дворівневих системах, таких як кубіти, наномеханічні осцилятори, мем'ємності.

Одноразові та багаторазові переходи Ландау-Зінера-Штукельберга-Майорани (ЛЗШМ) відображають різноманітну фізику квантових систем як на мікроскопічних, так і на мезоскопічних масштабах. Відповідна фізика може бути використана для характеристики їхньої квантової динаміки та інтерферометрії. Продемонстровано кілька найпоширеніших підходів до опису динаміки та інтерферометрії кубіту при періодичному збудженні, вперше порівняно різні методи за областю їх застосування та відносною обчислювальною потужністю, вперше отримано точніші формули для інтерферометрії в адіабатично-імпульсній моделі (AIM).

Продемонстровано, як Адіабатично-імпульсна модель може бути застосовна для квантових гейтів з двома умовами: велика амплітуда

збудження і час між переходами більший, ніж час, необхідний для перехідного процесу. Це уможливило створення надшвидких кубітних гейтів.

Вперше досліджено інтерферометрію ЛЗШМ надпровідного кубіта в напівнескінченній лінії передач, обмеженій дзеркалом. Коли частота кубіта встановлена у вузлі електромагнітного поля, після накачки потоком за частоти кубіта виникають інтерференційні картини, які можна інтерпретувати як багатофотонні резонанси в одягнутому кубіті. Оскільки кубіт інтерферує зі своїм дзеркальним відображенням, фотонний резонанс нульового порядку зникає, чого не відбувається у випадку нескінченної лінії передач. Однією з переваг такого атомно-дзеркального розташування є те, що можна ефективно маніпулювати властивостями поглинання дворівневого атома, забезпечуючи новий спосіб маніпулювання квантовими станами.

Також показано, що класична система двох слабо зв'язаних класичних осциляторів є двійником квантової дворівневої системи. А саме, її рівняння руху формально збігається або з рівнянням Шредінгера. Це означає, що динамічні явища дворівневої класичної системи можуть бути безпосередньо описані вже вивченими для квантових дворівневих систем, і навпаки. Вперше продемонстровано класичні аналоги ефектів, нещодавно вивчених для кубітів: інтерферометрія Ландау-Зінера-Штукельберга-Майорани, модуляція замикання та усереднення за рухом.

Досліджено механічний відгук вигнутої графенової мембрани з використанням теорії пружності для великих ступенів вигину мембрани, вперше отримано вирази для порогових сил перемикавання для переходу "вгору-вниз" і "вниз-вгору". Отримані результати підтверджуються результатами чисельного моделювання, молекулярної динаміки і розрахунками теорії функціоналу густини.

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.

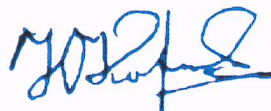
Рада вважає, що дисертація Івахненка Олега Володимировича на тему «Динаміка неадіабатичних переходів в квантових та класичних дворівневих системах», що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» є завершеним самостійним 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 Івахненко Олег Володимирович 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 64.175.008 присуджує Івахненку Олегу Володимировичу ступінь доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Голова разової  
спеціалізованої вченої ради  
доктор фіз.-мат. наук,  
професор



Юрій КОЛЕСНИЧЕНКО



Особистий секретар ФТІНТ  
Б.І. Веркіна НАН України  
Кандидат фізико-математичних наук  
С.М. Камінько

АСВІДЧУЮ

*Юрій Колесніченко*

13.10.2023