

Рецензія

наукового співробітника відділу теоретичної фізики

ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України,

кандидата фізико-математичних наук

КОНСТАНТИНОВА Олександра Михайловича

на дисертаційну роботу РИЖОВА Артема Ігоровича

**«Застосування інтерферометрії Ландау-Зінера-Штюкельберга-Майорани
для контролю динаміки квантових систем»,**

представлену на здобуття наукового ступеня

доктора філософії за спеціальністю 104 – «Фізика та астрономія»

з галузі знань 10 – «Природничі науки»

Дисертаційна робота А.І. Рижова присвячена дослідженню динаміки квантових дворівневих і багаторівневих систем та розробці нових підходів щодо її опису та контролю.

В ході досліджень здобувача А.І. Рижова було отримано чимало цікавих результатів, зокрема: розвинуто ефективний альтернативний метод реалізації квантових логічних операцій на основі неадіабатичних переходів Ландау-Зінера-Штюкельберга-Майорани (далі ЛЗШМ); розроблено спосіб зведення багаторівневої квантової системи до дворівневої системи з подальшим застосуванням інтерферометрії ЛЗШМ задля дослідження параметрів початкової системи; побудовано опис динаміки багаторівневих квантових систем з енергетичною релаксацією та ЛЗШМ переходами як за допомогою розв'язку рівняння Ліндблада, так і за допомогою комбінації адіабатично-імпульсної моделі та методу рівняння балансу. Дуже добре, що розвинуті нові підходи були застосовані автором для розгляду цілого ряду конкретних завдань. Наприклад, продемонстровано шляхи збільшення швидкості квантових логічних операцій, техніку реалізації довільної однокубітної квантової логічної операції за допомогою керуючого сигналу з довільною кількістю ЛЗШМ переходів, наведено алгоритм пошуку параметрів такого

керуючого сигналу, була розрахована динаміка етапу перезарядки детектора мікрохвильових фотонів на основі потокового кубіта - квантової багаторівневої системи.

Отримані результати опубліковані у 3-х статтях в провідних світових наукових виданнях квартиля Q1, які індексуються в SCOPUS та Web of Science, а саме: журналах Physical Review B – 2 статті та Physical Review Research – 1 стаття, та були представлені на десяти міжнародних конференціях, що однозначно є показником актуальності та важливості даної роботи і, одночасно, показником високої достовірності результатів. Кількість та якість публікацій є цілком достатніми з огляду на вимоги щодо присудження ступеня доктора філософії.

Основні результати дисертаційної роботи

Перша половина минулого сторіччя ознаменувалася закладанням міцного фундаменту сучасної фізики, зокрема квантової механіки. Проте активні досягнення сьогодення у розвитку квантових технологій демонструють необхідність як узагальнення певних фундаментальних явищ, так й конкретних пропозицій щодо їх практичної реалізації. Дисертаційна робота А.І. Рижова як раз присвячена розвитку одного з таких фундаментальних явищ, пов'язаного з переходами ЛЗШМ та його безпосереднього застосування для контролю динаміки дворівневих та багаторівневих квантових систем.

В першому розділі автором наведено огляд низки сучасних робіт суміжних до теми дисертаційної роботи, підкреслюючи її актуальність, та чітко окреслено зв'язок кожного напрямку досліджень з тим чи іншим розділом дисертації.

Другий розділ роботи присвячено розвитку альтернативної парадигми з реалізації квантових одно- та двокубітних операцій на основі переходів ЛЗШМ, яка демонструє перевагу над традиційним методом резонансного збудження системи (осциляції Рабі), що полягає, зокрема, у швидкості

виконання роботи, надійності, зменшенні впливу шуму навколишнього середовища тощо. Хочу тут особливо зазначити чіткість формулювань та роз'яснень відносно реалізації кожної логічної операції, як за допомогою метода осциляцій Рабі, так і за допомогою метода переходів ЛЗШМ, а також алгоритмізацію зі знаходження оптимальних параметрів керуючого сигналу для однокубітних операцій, що може бути вкрай корисним з точки зору практичної реалізації пропонованого методу.

У третьому розділі розглянута задача про низькочастотну спектроскопію для квантових багаторівневих систем. Показано, як квантову чотирирівневу систему можна звести до дворівневої, застосувавши резонансний сигнал та продемонстровано, як інтерферометрія ЛЗШМ може бути використана для знаходження параметрів вихідної системи. Особливо варто підкреслити, що цей розділ підкріплюються нещодавно виконаною експериментальною роботою для кремнієвої долино-обертальної подвійної квантової точки та має дуже гарне узгодження з нею.

Нарешті, в четвертому розділі було описано застосування рівняння Ліндблада для моделювання динаміки в різних режимах збудження подвійної квантової точки, які спостерігаються на її інтерферограмі ЛЗШМ. Окрім того, для опису динаміки та контролю квантових багаторівневих систем із переходами ЛЗШМ запропоновано метод, який комбінує адіабатично-імпульсну модель та рівняння балансу. Показано, що результати цього методу якісно збігаються з такими, отриманими за допомогою розв'язання рівняння Ліндблада, проте мають безперечну перевагу у простоті їх отримання та наочності.

Загалом, слід зазначити, що результати даної роботи мають не тільки фундаментальне значення для розуміння детальної картини поведінки складних квантових систем, але й становлять чималий прикладний інтерес для розвитку квантових технологій.

Зауваження до дисертаційної роботи

У третьому та четвертому розділах роботи чітко прослідковується зв'язок між теорією та експериментом, який їй відповідає. Натомість в другому розділі не зовсім зрозуміло, на яких конкретних фізичних об'єктах можна було б спостерігати описані сценарії реалізації тих чи інших квантових логічних операцій.

Також, на мою думку, доцільно було б навести більше подробиць з числових розрахунків основних рівнянь, як-от рівняння фон Неймана з другого розділу тощо.

Наведені зауваження можна сприймати радше як побажання, які жодним чином не впливають на загальну *високу оцінку роботи*.

Загальні висновки

У дисертаційній роботі А.І. Рижова досліджено динаміку квантових двох- та багаторівневих систем та запропоновано нові методи її опису та контролю з використанням, зокрема, інтерферометрії ЛЗШМ. Отримані результати свідчать про високий рівень володіння здобувачем складними методами сучасної теоретичної фізики. Окремо варто зазначити, що дисертаційна робота написана дуже якісно та послідовно, автор приділив значну увагу точності формулювань, зв'язності тексту. Можна констатувати, що А.І. Рижов є вже цілком сформованим вченим.

Підсумовуючи, маю відзначити, що дисертаційна робота **Рижова Артема Ігоровича «Застосування інтерферометрії Ландау-Зінера-Штюкельберга-Майорани для контролю динаміки квантових систем»** є оригінальною, завершеною науковою працею, та відповідає вимогам пп.7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затверджену постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 зі змінами від 21 березня 2022 р. № 341, від 19.05.2023 р. № 502 і від

03.05.2024 р. № 507, та відповідає напряму наукового дослідження освітньо-наукової програми «Фізика» ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України зі спеціальності 104 «Фізика та астрономія». Дисертація містить обґрунтовані висновки на основі одержаних здобувачем достовірних результатів, характеризується єдністю змісту та відповідає принципам академічної доброчесності, а її автор, Рижов Артем Ігорович, безумовно заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – «Фізика та астрономія» з галузі знань 10 – «Природничі науки».

Рецензент:

науковий співробітник

відділу теоретичної фізики

ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України,

кандидат фізико-математичних наук

 Олександр КОНСТАНТИНОВ

Підпис О.М. Константинова засвідчую.

Вчений секретар

ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України

канд. фіз.-мат. наук



Олександр КАЛИНЕНКО