

офіційного опонента про дисертаційну роботу Іванова Микити Анатолійовича **“Динамічні закономірності резонансних квантових систем”**, представлену на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика

Актуальність теми роботи та її зв'язок з державним чи галузевими науковими програмами.

В останні роки величезна увага приділяється дослідженню фізичних та хімічних властивостей низько розмірних квантових систем, пов'язаних з процесами тунелювання при проходженні сигналу (хвильового пакету) через нанорозмірні структури. Насамперед перспективність і актуальність відповідних теоретичних розробок обумовлена практичним застосуванням результатів при створенні нових приладів сучасної мікро- і нано-електроніки. Дослідження динамічних характеристик тунелювання, зокрема вивчення залежностей часу затримки сигналу від параметрів початкового хвильового пакету, створює можливості для оптимізації та прискорення роботи електронних приладів. З теоретичної точки зору керування процесами оптимізації пов'язано з вирішенням проблеми тунелювання хвильових пакетів крізь квантові системи з резонансними рівнями. Однак, як і завжди в квантовій механіці, основною проблемою за теоретичним описом квантових систем з довільним потенціалом взаємодії є відсутність аналітичних розв'язків рівняння Шредінгера або його аналогів. У деяких випадках використання обґрунтованих з фізичної точки зору спрощень і/або наближень дає можливість знайти аналітичний розв'язок відповідних рівнянь. Саме такій актуальній проблемі присвячена дисертаційна робота М.А. Іванова

Представлені в дисертації результати досліджень виконані згідно з програмою наукової тематики кафедри теоретичної фізики Дніпропетровського Національного Університету імені Олеся Гончара та в рамках держбюджетних тем «Квантові процеси і фазові переходи в

екстремальних зовнішніх умовах» (№ держреєстрації 0110U001283), а також «Змінні спостереження для нових елементарних частинок та процесів в екстремальних зовнішніх умовах» (№ держреєстрації 0113U003031).

Обґрунтованість результатів, що отримано у дисертації, їх достовірність та наукова новизна.

Для вирішення задачі дисертації автор використовує загальні добре апробовані підходи квантової механіки та квантової теорії розсіяння, які відповідають фізиці процесу або задачі що розв'язується. З другого боку, у випадках де можливо провести порівняння результатів, отриманих іншими, у тому числі запропонованими в дисертації, методами, це порівняння проводиться. Наприклад, в роботі наведено, що при невеликих значеннях параметру згасання розв'язок, отриманий автором за допомогою модифікованого методу перевалу, практично співпадає з точним розв'язком для задачі тунелювання хвильового пакету гаусової форми крізь квантову точку. Збіг результатів дисертаційної роботи в окремих граничних випадках і наближеннях з раніше отриманими в літературі наполягає на достовірності результатів роботи і обґрунтовує методи їх отримання.

Результати дисертаційної роботи одержані за допомогою відомих аналітичних та числових методів. Автором проведено чисельне моделювання процесу тунелювання хвильового пакету гаусової форми крізь квантові системи з одним резонансним рівнем, результати якого дають добрий збіг відновлених профілів з точними. Це знову ж таки свідчить про достовірність запропонованих та розвинутих у дисертації методів досліджень.

На мою думку “родзінкою” цієї роботи є вперше отриманий, в межах обґрунтованих фізикою процесів припущень, аналітичний розв'язок задачі про тунелювання хвильових пакетів крізь квантові системи з резонансними рівнями. З цією метою в дисертації запропоновано низку нових розширень, узагальнень та об'єднань класичних математичних методів та фізичних підходів. Наприклад, є дуже цікавим поєднання формалізму матриці розсіювання з методом перевалу, доповненим у роботі умовами визначення

точок стаціонарності/особливих точок на лініях Стокса. Ще одним важливим елементом є використання безрозмірних змінних, що дає можливість однаково розглядати «вузькі» та «широкі» хвильові пакети, одночасний розгляд яких в рамках єдиного підходу раніше вважався неможливим.

Також зазначу, що запропонований у роботі підхід до проблеми тунелювання в квантових системах з резонансними рівнями дає ефективний спосіб для точної параметризації не тільки резонансів, а також нерезонансної частини низькоенергетичних перетинів з невеликою кількістю параметрів.

Практичне значення роботи.

Отримані результати сприяють покращенню характеристик, у т.ч. швидкодії, приладів побудованих із застосуванням квантових діодів, точок та квантових транзисторів, а також дають можливість підібрати оптимальні параметри початкового хвильового пакету, при яких час тунелювання буде мінімальним.

Можливість попереднього аналітичного дослідження форми вихідного пакету дозволяє підвищити достовірність передачі інформації, а прогнозована зміна форми хвильових пакетів дає можливість використовувати їх для шифрування даних у системах зв'язку.

Зауваження щодо змісту й оформлення

На жаль, дисертація М.А. Іванова не вільна від недоліків.

1. В дисертації (ст. 7) стверджується, що в роботі “визначено повний набір параметрів системи і пакету, що описують процес та всі властивості тунелювання”, але нігде далі не вказується які фізичні характеристики входять до цього повного набору параметрів.
2. Також (далі на ст. 7) мова йде про “програмні засоби, що дають змогу аналізувати та досліджувати процес тунелювання хвильових пакетів”, але не вказуються ні умови використання цих засобів (open source, shareware, commercial source), ні публічні ресурси, на яких можна було

б ознайомитися з роботою або навіть завантажити хоча б ознайомчу версію програм.

3. В роботі широко використовується добре відома формула Брейта-Вігнера для опису резонансних рівнів. Нагадую, що ця формула є наближеною, але в дисертації не вказується меж, в яких наближення Брейта-Вігнера може бути застосовано. Також не зрозумілим залишається вплив можливого перекриття деяких резонансних рівнів квантового потенціалу на процес тунелювання хвильових пакетів та їх кінцеві характеристики поза бар'єру.
4. Список використаних джерел хоча і є оптимальним, але не є вичерпним. Скажімо, відсутнє посилання на роботу Wulf, Skalozub, Zakharov, Phys.Rev. B77 (2008) 045318, де були запропоновані безрозмірні змінні, що широко використовуються у дисертації. Є деякі недоліки і в наведених джерелах. Наприклад, у посиланні [20] відсутня назва статті і наведена некоректна остання сторінка; також відсутня назва в посиланні [35].
5. Відзначимо також недоліки в оформленні дисертації. Безліч помилок, описок, мовних огріхів тощо можна було б усунути якщо робота була б краще вичитана. Прикладами є: друге речення другого абзацу на ст. 13; нове речення після першої формули на ст. 19; некоректне третє рівняння на ст. 20; некоректний вираз для імпульсу у першому абзаці на ст. 23; останній абзац на ст. 25; третя формула на ст. 28; рядок перед третьою формулою на ст. 30. (До речі, практична відсутність нумерації формул також може бути віднесена до недоліків оформлення роботи.) Також, в останньому абзаці на ст. 65 посилання на малюнки повинні бути з точністю до навпаки; посилання на Рис. 2 в останньому абзаці на ст. 79 має бути посиланням на Рис. 3.3; посилання на Рис. 3 на ст. 80 має бути посиланням на Рис. 3.4. Підписи до Рис. 4.6, 4.7 на ст. 92 повністю збігаються, так що виникає природне питання як при однакових значеннях параметрів виходять різні залежності часу

затримки сигналу? Нарешті, в межах одного розділу (розділ 3) використовуються різні позначення для однієї і тієї ж функції Гріна.

Повнота викладу основних результатів дисертації в наукових фахових виданнях

Основні результати роботи викладені в наукових працях відповідно умовам ВАК України за даним фахом. Зокрема, за матеріалами дисертації опубліковано 5 статей у реферованих журналах, серед яких 2 роботи у журналах з імпаکت фактором. Матеріали дисертації були апробовані на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях. Дисертаційна робота та зроблені в ній висновки цілком відповідають змісту опублікованих наукових праць. Серед наукових праць немає тотожних за змістом.

Робота написана з використанням прийнятої в даній науковій галузі термінології. Автореферат повністю відповідає змісту дисертації та вірно відображає її основні положення.

Висновки по роботі в цілому і висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам

Підсумовуючи, вважаю, що дисертація Іванова М.А. “Динамічні закономірності резонансних квантових систем” є завершеною науковою працею і відповідає ступеню кандидата фізико-математичних наук. Низка результатів, отриманих дисертантом, є новими та мають практичну цінність. Проведені дисертантом дослідження є гідним внеском як до теоретичних методів дослідження процесів квантового тунелювання в складних системах, так і до розвитку сучасних безконтактних вимірювально-обчислювальних систем прикладного призначення.

Результати досліджень характеризуються високим ступенем обґрунтованості та достовірності. Окремо зазначу, що наведені зауваження ні в якому разі не знижують позитивного враження від дисертації. Дисертація оформлена згідно з вимогами ВАК України, її матеріал викладено на доброму науковому рівні.

З урахуванням актуальності, практичної цінності, наукової новизни результатів та відповідності змісту дисертації спеціальності “теоретична фізика” вважаю, що дисертаційна робота М.А. Іванова “Динамічні закономірності резонансних квантових систем” безсумнівно відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 зі змінами, затвердженими Постановами Кабінету Міністрів України № 656 від 19 серпня 2015 р. та № 1159 від 30.12.2015 р., щодо дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика, а її автор, Іванов Микита Анатолійович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук.

Офіційний опонент

доктор фізико-математичних наук,
провідний науковий співробітник



Нурмагамбетов О.Ю.

Підпис Нурмагамбетова О. Ю. завіряю:
заст. директора ІТФ ННЦ ХФТІ
кандидат фізико-математичних наук



Есаулов О. С.