

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне і практичне значення
результатів дисертації Гутіва Василя Володимировича на тему:
«Теорія перенормованого спектру багатозонних квазічастинок
взаємодіючих з поляризаційними фононами»,
поданої на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія
в галузі знань 10 - Природничі науки

1. Обґрунтування вибору теми дослідження та її зв'язок із планами наукових робіт Університету.

Методи теоретичного розрахунку спектрів однозонних квазічастинок, взаємодіючих з поляризаційними фононами, розроблені у квантовій теорії твердих (масивних) тіл, і не можуть використовуватися для дослідження наногетеросистем, оскільки у них спектри невзаємодіючих квазічастинок значно більш багатозонні, а спектри фононів містять набагато більше гілок. Водночас, саме носистеми є основними елементами сучасних прицевійних наноприладів інфрачервоного діапазону, таких як квантовоямні інфрачервоні фотодетектори, квантові каскадні детектори та лазери. Оптимізація робочих параметрів цих унікальних приладів неможлива без розуміння фізичних процесів, які там відбуваються. **Актуальність дисертаційної роботи** якраз і зумовлена тим, що розроблений у ній математичний апарат дозволить подолати проблему відсутності адекватної теорії взаємодії багатозонних квазічастинок з багатомодовими фононами у наногетеросистемах.

Вибраний напрям дослідження цілком узгоджений з планами наукових досліджень кафедри теоретичної фізики та комп'ютерного моделювання, де розроблялася теорія функціонування багаточарових наногетеросистем, як основних елементів (активних зон, інжекторів та екстракторів) квантових інфрачервоних фотодетекторів, каскадів квантових каскадних детекторів та лазерів.

Метою роботи є створення теоретичного підходу для розрахунку функцій Гріна багатозонних квазічастинок, взаємодіючих з багатомодовими фононами.

Методи дослідження:

- Метод точного аналітичного розв'язування рівняння Шредінгера для отримання і дослідження енергетичного спектру та сил осциляторів квантових переходів електрона у каскаді нанофотодетектора далекого інфрачервоного діапазону.

- Метод діаграмної техніки Фейнмана-Пайнса у теорії функцій Гріна та парціального підсумовування діаграм масового оператора для узагальнення на випадок систем багаторівневих квазічастинок взаємодіючих з одномодовими фононами.

- Метод унітарного перетворення недиагонального гамільтоніана до діагонального у давидівській моделі системи однорівневої квазічастинки взаємодіючої з багатомодовими фононами при $T=0K$ з наступним точним розрахунком квазічастинкових функцій Гріна і в часовому, і в енергетичному представленнях.

Об'єктом дослідження є електронний спектр у каскаді нанодетектора та перенормований енергетичний спектр багатозонних квазічастинок взаємодіючих з багатомодовими поляризаційними фононами у наногетероструктурах квантових наноприладів.

Предметом дослідження є масовий оператор Фур'є-образу функції Гріна квазічастинок, який адекватно і ефективно враховує багатофононні процеси при низьких температурах.

2. Формулювання наукового завдання, нове розв'язання якого отримано в дисертації

Наукове завдання полягає у побудові теорії функціонування й оптимізації параметрів активного елемента широкопasmового нанофотодетектора далекого інфрачервоного діапазону з новим потенціальним рельєфом. А також створення на основі давидівської моделі

системи теорії перенормування спектрів багаторівневої квазічастинки взаємодіючої з одномодовими фононами й однорівневої квазічастинки взаємодіючої з багатомодовими фононами з урахуванням багатофоновних процесів у досліджуваних багатошарових наногетеросистемах. Це нове завдання було повністю розв'язано у дисертації.

3. Наукові положення, розроблені особисто дисертантом, та їх новизна:

- Дисертант запропонував вивчити модель каскаду широкосмугового нанодетектора з невзаємодіючими широкими квантовими ямами. Це дозволило отримати точні й не громіздкі аналітичні вирази дисперсійних рівнянь для спектра та для хвильових функцій системи.

- Самостійно вперше виконав аналітичний і числовий розрахунок перенормованого спектра трьохрівневої квазічастинки взаємодіючої з великим числом одномодових поляризаційних фононів.

- Дисертант вперше самостійно виконав аналітичні й числові розрахунки перенормованих спектрів квазічастинки з трьохмодовими фононами, виконав аналітичний і числовий розрахунок кількості ефективних фононів у «шубі» квазічастинок.

На всіх етапах досліджень нових задач і розробки нових методів дисертант приймав активну участь. Ним здійснено ґрунтовний аналіз отриманих результатів та сформовано висновки до кожного розділу дисертації.

4. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються.

При підготовці дисертації Гутів В.В. опрацював велику кількість фахової іноземної та української літератури. Це статті у високореєтингових журналах та книгах, що наведені у списку використаних джерел.

Достовірність наукових положень забезпечена тим, що частина задач розв'язані точно, а ті, які розв'язані наближено – перевірені на достатню

збіжність результатів, задовольняють відомим правильним граничним переходом та не суперечать фізичним міркуванням і принципам.

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків до розділів, загальних висновків та списку використаних джерел. Дисертаційна робота є самостійною науковою працею. Висновки, рекомендації та пропозиції, що характеризують, зокрема, наукову новизну дослідження, сформовані автором дисертації.

5. Рівень теоретичної підготовки здобувача та рівень його обізнаності з результатами наукових досліджень інших учених високий. Це видно, як з великої кількості використаних для огляду журнальних статей, так із доповіді матеріалів дисертації.

Щодо особистого внеску здобувача у розв'язання конкретного наукового завдання, то він також достатньо високий. Зокрема:

- безпосередньо розробляв теорію перенормованого спектру багатозонних квазічастинок, взаємодіючих з поляризаційними фононами, і відповідні алгоритми для розрахунків

- дисертант самостійно виконував комп'ютерний розрахунок перенормованого спектра трьохрівневої квазічастинки взаємодіючою з одномодовими поляризаційними фононами.

- приймав активну участь в обговоренні алгоритму і його застосування при послідовному виділенні мультиплікативних діаграм масового оператора і їх парціального підсумовування.

- виконав розрахунки перенормованого невиродженого спектра трьохрівневої квазічастинки у залежності від констант взаємодії з фононами.

- приймав активну участь на всіх етапах дослідження перенормованого спектру двохрівневої квазічастинки з виродженим збудженим рівнем із одномодовими поляризаційними фононами.

- приймав активну участь в обговоренні постановки задач та їх розв'язування. Разом з колегами виконував аналітичні й числові розрахунки масових операторів усіх досліджуваних систем, та готував матеріали до

публікацій у журналах, а також самостійно доповідав на наукових конференціях.

6. Наукове та практичне значення роботи.

Важливе наукове значення дисертаційної роботи полягає в тому, що у ній розроблена теорія оптимізації параметрів каскаду активного елемента нанофотодетектора далекого інфрачервоного діапазону. Також розвинена складна, але важлива теорія масового оператора для фур'є-образа функції Гріна, яка визначає перенормований спектр багаторівневих квазічастинок, взаємодіючих з одномодовими фононами, та однорівневих з багатомодовими фононами з коректним урахуванням багатомодових процесів. Ця теорія відкриває шлях для побудови, поки що відсутньої, загальної теорії взаємодії багатозонних квазічастинок з багатомодовими фононами

Практичне значення роботи в тому, що вона може використовуватися у навчальному процесі для відповідних спецкурсів, а також для написання спеціалізованих посібників і підручників по квантовій теорії фізики наногетеросистем.

7. Повнота викладу матеріалів дисертації в публікаціях та особистий внесок здобувачки в публікації.

Особистий внесок здобувача в публікації такий, який вказаний у пункті 5 цього висновку.

Результати перевірки тексту дисертації з використанням антиплагіатної системи UNICHECK показав на 1.24% схожості з джерелами з Інтернету. Робота відповідає принципам академічної доброчесності.

Основні положення і висновки дисертаційної роботи викладені у 6 наукових працях. Зокрема, всі вони індексовані у Scopus, а 5 з них і в Web of Science (одна Q=2, дві Q=3, дві Q=4). Робота, опублікована у Springer Proceedings in Physics, індексована у Scopus.

Матеріали дисертації доповідалися і опубліковані у 5 тезах доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Результати дисертації повною мірою викладені в зазначених публікаціях.

Статті у зарубіжних виданнях, індексованих в наукометричній базі Web of Science та Scopus:

1. Tkach M., Seti J., Pytiuk O., Voitsekhivska O., Gutiv V. Spectrum of localized three-level quasiparticle resonantly interacting with polarization phonons at cryogenic temperature. *Applied Nanoscience*. 2019. Vol. 10, No. 8. P. 2581–2591.

2. Tkach M.V., Seti Ju.O., Voitsekhivska O.M., Gutiv V.V. Method of successive separation and summing of multiplicative diagrams of mass operator for the multi-level quasiparticle interacting with polarization phonons. *Condensed Matter Physics*. 2019. Vol. 22, no. 3. P. 33703.

3. Tkach M., Seti J., Voitsekhivska O., Gutiv V., Vereshko E. Properties of renormalized spectrum of interacting with polarization phonons localized quasiparticle with degenerated excited state. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. 2020. Vol. 701, no. 1. P. 48–58.

4. Tkach M.V., Seti J.O., Voitsekhivska O.M., Hutiv V.V. Renormalized spectrum of quasiparticle in limited number of states, strongly interacting with two-mode polarization phonons at $T=0$ K. *Condensed Matter Physics*. 2021. Vol. 24, No. 1. P. 13705.

5. Tkach M., Seti J., Voitsekhivska O., Hutiv V. Renormalized Spectrum of Quasiparticle in Two States, Strongly Interacting with Multi-Mode Polarization Phonons at $T=0$ K. *International Journal of Theoretical Physics*. 2022. Vol. 61, No. 29. P. 1-16.

Статті у зарубіжних виданнях, індексованих в наукометричній базі Scopus:

6. Tkach M.V., Seti J.O., Voitsekhivska O.M., Hutiv V.V. Spectrum of Localized Quasi-Particle Interacting with Three-Mode Phonons. *Springer Proceedings in Physics*. 8th International Conference on Nanotechnology and Nanomaterials, NANO 2020. Lviv 26-29 August 2020. Vol. 264, P. 83-94.

Публікації які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. Tkach M.V., Seti Ju.O., Hutiv V.V., Voitsekhivska O.M. Spectrum of localized quasiparticle renormalized due to the interaction with three-mode phonons. The International research and practice conference “*Nanotechnology and nanomaterials*” (NANO-2020): Abstract Book of participants of the International research and practice conference (Lviv, 26 – 29 August 2020) / Edited by Dr. Olena Fesenko. Kyiv: LLC «Computer-publishing, information center», 2020. P. 474.

8. Tkach M.V., Hutiv V.V., Voitsekhivska O.M., Seti Ju.O. Properties of renormalized spectra of localized quasiparticles interacting with single- and two-mode background modes in the Davydov model at $T = 0\text{K}$. The International research and practice conference “*Nanotechnology and nanomaterials*” (NANO-2021): Abstract Book of participants of International research and practice conference (Lviv, 25 – 27 August 2021) / Edited by Dr. Olena Fesenko. Kyiv: LLC «Computer-publishing, information center», 2021. P. 418.

9. Tkach M.V., Hutiv V.V., Voitsekhivska O.M., Seti Ju.O. Renormalized spectrum of localized quasiparticles interacting with single- and two-mode phonons at $T \neq 0\text{K}$ in Davydov’s model. *XVIII International Freik Conference Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems. Materials.* / Ed. by Prof. V.V. Prokopiv. Ivano-Frankivsk : Publisher Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, 2021. P. 54.

10. Ткач М.В., Сеті Ю.О., Войцехівська О.М., Гутів В.В. Роль багатофононних процесів у квантово-каскадних детекторах з порушеними «фононними драбинками» екстракторів. 9-та Міжнародна науково-технічна конференція “*Сенсорна електроніка та мікросистемні технології*” (СЕМСТ-9): матеріали Міжнар. наук.-техн. конф., Одеса, 20-24 вересня 2021. Одеса, 2021. С. 65-66.

11. Tkach M.V., Hutiv V.V., Seti Ju.O., Voitsekhivska O.M. Quantum theory of energy parameters of a two-well nanosystem as the main working element of a broadband photodetector of the far IR range. The International

research and practice conference “*Nanotechnology and nanomaterials*” (NANO-2022): Abstract Book of participants of the International research and practice conference (Lviv, 25–27 August 2022) / Edited by Dr. Olena Fesenko. Kyiv: LLC APF POLYGRAPH SERVICE, 2022. P. 445.

8. Апробація матеріалів дисертації здійснювалася на таких конференціях:

1. 8th International research and practice conference “Nanotechnology And Nanomaterials” (NANO-2020), 26 - 29 August, 2020, Lviv, Ukraine.

2. 9th International Conference "Nanotechnologies and Nanomaterials" (NANO-2021), 25 - 27 August, 2021, Lviv, Ukraine.

3. XVIII International Freik Conference Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems. Materials., 11-16 October, 2021, Ivano-Frankivsk, Ukraine.

4. 9-та Міжнародна науково-технічна конференція “Сенсорна електроніка та мікросистемні технології” (СЕМСТ-9), 20-24 вересня, 2021, Одеса, Україна.

5. 10th International research and practice conference “Nanotechnology And Nanomaterials” (NANO-2022), 25-27 August, 2022, Lviv, Ukraine.

9. Оцінка мови і стилю дисертації.

Мова і стиль дисертації відповідають вимогам, що висуваються до праць такого рівня.

10. Відповідність змісту дисертації спеціальності з відповідної галузі знань, з якої вона подається до захисту.

Зміст дисертації відповідає чинним вимогам до оформлення дисертації, встановленим освітньо-науковою програмою «Фізика та астрономія» галузі знань 10 Природничі науки, спеціальності 104 Фізика та астрономія.

11. Дотримання нормативних вимог щодо оформлення дисертації.

Нормативні вимоги щодо оформлення дисертації дотримані повністю.

12. Рекомендації дисертації до захисту.

Дисертаційна робота Гутіва Василя Володимировича «Теорія перенормованого спектру багатозонних квазічастинок взаємодіючих з поляризаційними фононами», подана на здобуття доктора філософії у галузі знань 10 - Природничі науки за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія за її актуальністю, науково-теоретичним рівнем, новизною постановки та розв'язання проблеми, практичним значенням отриманих результатів відповідає вимогам пунктів 6, 7, 8, 9 «Порядком 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 січня 2022р. №44 (із змінами, внесеними згідно з Постановою Кабінету Міністрів України №431 від 21.03.2022 р.), за результатами публічної презентації результатів дисертації та їх обговорення на засіданні кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної фізики Інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича 4 квітня 2023 року дисертацію Гутіва Василя Володимировича рекомендовано до захисту в разовій спеціалізованій вченій раді для здобуття ступеня доктора філософії

Голова засідання,

Мар'яна БОРЧА

Завідувач кафедри

Інформаційних технологій

та комп'ютерної фізики

Чернівецького національного

університету імені Юрія Федьковича,

доктор фізико-математичних наук,

старший науковий співробітник

Підпис *Борча М.* засвідчую
Учений секретар Чернівецького національного
університету імені Юрія Федьковича
Сиробська Н. С.
"12" квітня 2023 р.

