

Рецензія

доктора фізико-математичних наук, професора, професора кафедри термоелектрики та медичної фізики Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича Маханця Олександра Михайловича на дисертаційне дослідження Верешко Євгенії Юріївни «Теорія електронних станів та електрон-фононої взаємодії у структурних елементах квантових каскадних детекторів»

Актуальність дисертаційного дослідження

Сучасні квантові каскадні детектори охоплюють актуальний інфрачервоний діапазон і характеризуються компактними розмірами, малими темновими струмами, широким діапазоном робочих температур та іншими параметрами, не притаманними інфрачервоним квантово-ямним детекторам, що зумовлює надзвичайну привабливість цих наноприладів для багатьох сфер. Проте, як відомо з наукових статей, основним недоліком квантових каскадних детекторів є низька ефективність їх функціонування. Оскільки вдосконалення функціональних характеристик таких наноприладів вимагає складних і дороговартісних експериментальних досліджень, тому для пошуку оптимальних дизайнів каскадів важливою є реалістична теорія, яка б адекватно описувала властивості електронних станів у багатокаскадних наноструктурах. Така теорія вдало розроблена у дисертації Верешко Євгенії Юріївни «Теорія електронних станів та електрон-фононої взаємодії у структурних елементах квантових каскадних детекторів», що, безумовно, свідчить про її актуальність.

У дисертаційній роботі на основі різноманітних, добре апробованих квантово-механічних методів теоретичної фізики, розвинено теорію електронних станів у багатосарових наноструктурах закритого й відкритого типів. Досліджено властивості станів електронів, вплив на них фононів, сили осцилятора квантових переходів та інші характеристики у елементах експериментальних квантових каскадних детекторів. Отримані результати

виявили ефекти, які можуть бути однією з причин низької ефективності детекторів, а тому є важливими для розуміння подальших напрямків оптимізації зазначених наноприладів.

Зв'язок роботи з державними програмами, планами, темами

Дисертаційне дослідження виконане на кафедрі теоретичної фізики та комп'ютерного моделювання Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича у межах наукової тематики «Дослідження спектрів квазічастинок, перенормованих взаємодіями з електромагнітними та квантованими полями в низько розмірних і 3d системах із метою оптимізації параметрів наноприладів» (номер Держреєстрації 0116U004083, 2016-2020pp.) та «Квантова теорія фізичних явищ і процесів у низьковимірних системах різної симетрії як основних елементах сучасних наноприладів» (номер Держреєстрації 0121U109823, 2021-2025pp.).

Тему дисертації затверджено Науково-технічною радою Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича (протокол № 13 від 4 листопада 2019 року, з уточненнями - протокол № 4 від 3 травня 2023 року).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Обґрунтованість наукових положень, результатів та висновків дисертації забезпечені застосуванням добре апробованих квантово-механічних методів у теорії низьковимірних систем, послідовністю та логічністю аналітичних і числових розрахунків, узгодженістю отриманих результатів з граничними випадками і результатами інших теоретичних моделей й експериментів, широкою апробацією на наукових конференціях з публікацією тез чи матеріалів доповідей. Основні результати дисертаційного дослідження опубліковані в 7 статтях у наукових журналах, які індексуються в базах даних Scopus та/або WoS.

Структура дисертації

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків до кожного з розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, який

налічує 193 позиції, та списку публікацій здобувачки за темою дисертації (7 статей та 8 тез конференцій). Загальний обсяг роботи – 185 сторінок.

Основні результати дисертації у повній мірі відображені у публікаціях.

Наукова новизна

Результати і висновки дисертації, які становлять наукову новизну, включають наступні аспекти:

1. Розвинена у моделях координатозалежних ефективних мас для електрона та ізотропного діелектричного континууму для оптичних фононів квантово-механічна теорія перенормованих взаємодією з оптичними фононами спектральних характеристик електрона у багаточаровій наноструктурі дозволила виявити, що у випадку, коли різниця між енергіями двох станів електрона у каскаді квантового каскадного детектора збігається з енергією поздовжнього фонона, величини і зміщень, і затухань обох станів, зумовлених взаємодією з фононами, різко зростають. Цей ефект може впливати на ефективність роботи квантових каскадних детекторів.

2. На основі розвиненої теорії стаціонарних станів електрона та сил осцилятора квантових переходів у закритій багатокаскадній наноструктурі показано, що у N -каскадному елементі квантового каскадного детектора в спектрі енергій електрона виникають квазідискретні зони, кількість рівнів у яких дорівнює кількості каскадів. Встановлено, що електрон може знаходитися у різних каскадах з суттєво різними ймовірностями, величини яких в окремих каскадах або навіть групах каскадів можуть бути нехтовно малими, через що смуга поглинання детектора формується квантовими переходами лише між тими станами, які характеризуються близькими просторовими розподілами ймовірностей знаходження. Виявлений ефект може бути однією з причин низької ефективності переважної більшості експериментальних квантових каскадних детекторів.

3. Розвинена теорія квазістаціонарних станів електрона у відкритій багатокаскадній наноструктурі дозволила виявити, що лише підхід S -матриці розсіювання однозначно визначає резонансні енергії та резонансні ширини

усіх електронних станів у всій області енергій, на відміну від функції густини ймовірності та коефіцієнта прозорості, які в тих областях енергій, де виникає колапс електронних резонансів, не дають можливості розрахувати спектральні характеристики обох колапсуючих станів.

Практичне значення одержаних результатів.

Результати та висновки дисертації можуть мати практичне значення для подальшого розвитку теоретичних і експериментальних наукових досліджень в галузі квантових каскадних детекторів та інших наноприладів на основі багат шарових наноструктур. Зокрема, результати досліджень можуть бути використані при розв'язанні задач оптимізації дизайну каскадів наноприладів з метою покращення їх функціональних характеристик.

Результати роботи також можуть бути використанні у навчальному процесі при підготовці спецкурсів в галузі фізики наногетеросистем та суміжних до неї, посібників і методичних матеріалів.

Зауваження

1. При вивченні впливу оптичних фононів на електронні стани враховувалися обмежені та інтерфейсні фонони, хоча відомо, що в наноструктурах також існують напівобмежені фонони. Чи оцінювався їх вклад у перенормування енергій електрона?

2. У третьому та четвертому розділах дисертації представлена теорія стаціонарних та квазістаціонарних станів електрона у закритій та відкритій багатокаскадних наноструктурах відповідно. Аналіз показав, що в обох моделях у спектрі електрона виникають енергетичні зони. Цікаво, чи порівнювалися спектральні характеристики зон (положення та ширини) у обох моделях.

3. У дисертації присутні незначні описки.

Висловлені зауваження не применшують наукові досягнення дисертації Верешко Є. Ю. та не впливають на висновок про належний рівень дослідження і його загальну позитивну оцінку.

Загальний висновок.

Дисертаційна робота Верешко Євгенії Юріївни «Теорія електронних станів та електрон-фононої взаємодії у структурних елементах квантових каскадних детекторів», подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії з 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 пунктам 6,7,8,9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» 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.).

Вважаю, що Верешко Євгенія Юріївна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 104 – «Фізика та астрономія».

Рецензент

доктор фізико-математичних наук, професор,
професор кафедри термоелектрики та медичної фізики
Чернівецького національного університету
імені Юрія Федьковича

Олександр МАХАНЕЦЬ

Підпис доктора фіз.-мат. наук,
професора Олександра Маханця засвідчую
Проректор з наукової роботи
Чернівецького національного університету
імені Юрія Федьковича
доктор технічних наук, професор



Андрій САМІЛА