

## ПОВІДОМЛЕННЯ

про утворення разової спеціалізованої вченої ради

Заклад освіти/наукова  
установа

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича  
(ідентифікаційний код 02071240)

### 1. Здобувач ступеня доктора філософії

1.1. ПІБ здобувача ступеня  
доктора філософії

Верешко Євгенія Юріївна

1.2. Освітньо-наукова  
програма, яку завершив  
здобувач

38608 Фізика та астрономія (104 Фізика та астрономія)

1.3. Окремі елементи  
освітньо-наукової програми  
забезпечуються іншим  
закладом вищої освіти/  
науковою установою (у тому  
числі іноземним)

ні

### 2. Дисертація

2.1. Тема дисертації

Теорія електронних станів та електрон-фононої взаємодії у  
структурних елементах квантових каскадних детекторів

2.2. Анотація дисертації

Верешко Є.Ю. Теорія електронних станів та електрон-фононої взаємодії у структурних елементах квантових каскадних детекторів. □ Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія». – Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича МОН України, Чернівці, 2023.

Дисертаційна робота присвячена побудові послідовної теорії електронних станів та електрон-фононої взаємодії у нанорозмірних структурних елементах квантових каскадних детекторів з метою виявлення основних властивостей та оптимізації їх функціональних характеристик. Основна увага зосереджена на дослідженні впливу обмежених та інтерфейсних фононів на енергетичний спектр електрона в окремому каскаді, а також вивченні властивостей електронних станів у багатокаскадних закритих і відкритих наноструктурах елементів квантових каскадних детекторів.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, вказано його зв'язок з науковими програмами, планами та темами, сформульовано мету і завдання дисертації, висвітлено її наукове та практичне значення, представлено інформацію про публікації й особистий внесок здобувача, апробацію результатів роботи, її структуру та обсяг.

У першому розділі виконано огляд наукової літератури, присвяченої експериментальним та теоретичним дослідженням квантових каскадних детекторів. Детально проаналізовано весь період розвитку експериментально створених квантових каскадних детекторів інфрачервоного та терагерцового діапазонів та обговорено різноманітні механізми вдосконалення їх

---

функціональних характеристик, зокрема оптимізацією геометричного дизайну каскадів, підбором нових систем напівпровідникових матеріалів, поєднанням об'єктів різної просторової симетрії (наприклад, наноплівки, квантові точки, квантові дроти) тощо. Розглянуті основні теоретичні підходи і методи дослідження фотон- та фонон-супровідного тунелювання електронів крізь структурні елементи квантових каскадних детекторів. Відзначено, що у багатьох теоретичних роботах використовується золоте правило Фермі, на основі якого здійснюється розрахунок швидкостей фотон-супровідних оптичних переходів для дослідження коефіцієнта поглинання та визначених ним фізичних величин або часів фонон-супровідних переходів у задачах про розсіювання електронів на фононах. Зауважено, що у роботах цього напрямку, як правило, дослідження виконуються або на основі спрощеної моделі окремої області каскаду, або у підході ідеалізованої нескінченної надгратки.

Другий розділ присвячений побудові квантово-механічної теорії електрон-фононної взаємодії у багатошаровій наноструктурі, як каскаді квантового каскадного детектора, та вивченню малодослідженого одночасного впливу всіх гілок обмежених та інтерфейсних фононів на спектральні характеристики електронних станів.

Для цього у моделі координато-залежних ефективних мас для електрона та діелектричного континууму для обмежених та інтерфейсних фононів здійснено розрахунок енергетичних спектрів та хвильових функцій електрона й спектра енергій та потенціалів полів поляризації всіх гілок фононів, на основі яких отримані функції електрон-фононного зв'язку та з перших принципів визначено гамільтоніан системи у зображенні чисел заповнення за всіма змінними. Методом температурних функцій Гріна в однофононному наближенні точно розраховані масові оператори з урахуванням як внутривісних, так і міжвісних конфігураційних взаємодій. Дійсні та уявні частини відповідних масових операторів дозволили розрахувати параметри (зміщення та затухання) перенормування електронних станів взаємодією з фононами.

На прикладі восьмимірної наноструктури GaAs/Al<sub>0.33</sub>Ga<sub>0.67</sub>As, як каскаду експериментального широкосмугового ККД далекого ІЧ діапазону з двомя активною зоною, досліджено еволюцію енергій електронних станів, перенормованих взаємодією зі всіма гілками обмежених та інтерфейсних фононів, у залежності від товщини потенціального бар'єра в активній зоні при зміні температури у широкому інтервалі від криогенної до кімнатної.

Отримані результати дозволили не лише встановити ступінь узгодження теоретичної моделі з експериментом, але й виявити фізичні ефекти, зумовлені електрон-фононою взаємодією.

На основі розвиненої теорії аналізом енергетичного спектра електрона та сил осциляторів квантових переходів запропоновано оптимізований дизайн каскаду квантового каскадного детектора далекого ІЧ діапазону. Розміри потенціальних ям та бар'єрів екстрактора оптимізовані так, щоб функціонування наноприладу відбувалося в інтервалі довжин хвиль 8.2-8.7 мкм з ефективним фонон-супровідним тунелюванням електронів крізь екстрактор. Наукову новизну висновків, зроблених на основі отриманих у другому розділі результатів, розкривають такі положення:

- Встановлено, що у каскаді широкосмугового квантового

---

каскадного детектора далекого ІЧ діапазону з двоємною активною зоною та шестиямним екстрактором за довільних температур основний вклад у перенормування електронних станів зумовлений взаємодією з гілками високоенергетичної смуги інтерфейсних фононів, а вплив обмежених фононів виявляється на порядок меншим.

- Виявлено, що якщо різниця між енергіями двох довільних станів електрона у багатошаровому каскаді квантового каскадного детектора збігається з енергією поздовжнього фонона середовища-яма або середовища-бар'єра, відбувається різке зростання величин і зміщень, і затухань обох станів, зумовлених взаємодією з оптичними фононами.

Третій розділ присвячений побудові теорії стаціонарних станів електрона і сил осциляторів квантових переходів у закритій багатокаскадній наносистемі, як основному структурному елементі квантового каскадного детектора, та дослідженню властивостей спектральних характеристик наносистеми, сформованих оптичними переходами між електронними станами.

Хвильові функції та енергії електронних станів у багатокаскадній наноструктурі знаходилися у наближенні координато-залежних ефективних мас та прямокутних потенціалів як розв'язки стаціонарного рівняння Шредінгера з урахуванням умови нормування та умов неперервності функцій і потоків густин їх ймовірностей на всіх гетеромежах структури. На основі отриманих енергій та хвильових функцій здійснено розрахунок функцій густин ймовірностей знаходження електрона у каскадах наносистеми та сил осцилятора квантових переходів. Також розв'язана задача про енергетичний спектр та хвильові функції електрона в надгратці з потенціалом типу Кроніга-Пенні з періодом рівним окремому каскаду, як поширеній у літературі моделі в теорії квантових каскадних детекторів.

На основі розвиненої теорії досліджено властивості електронних станів та сил осцилятора квантових переходів у багатокаскадному основному структурному елементі експериментального квантового каскадного детектора, що дозволило виявити особливості формування смуги поглинання приладу у далекій ІЧ області. Здійснено порівняльний аналіз еволюції властивостей електронних станів у залежності від кількості каскадів та від їх геометричної конфігурації у закритій та надгратковій моделях.

Наукову новизну висновків, зроблених на основі отриманих у третьому розділі результатів, розкривають такі положення:

- На основі розвиненої теорії електронних станів у наноструктурі закритого типу з довільною кількістю каскадів показано, що у багатокаскадній наносистемі енергетичний спектр електрона характеризується квазідискретними смугами, кількість рівнів у яких дорівнює кількості каскадів. Виявлено, що оцінка спектральних характеристик енергетичних зон у закритій багатокаскадній структурі може бути з задовільною точністю здійснена у простій моделі Кроніга-Пенні з двокаскадним періодичним елементом надгратки.

- Показано, що ймовірності знаходження електрона у станах з енергіями з однієї зони можуть суттєво відрізнятись у різних каскадах закритої багатокаскадної наносистеми, через що смуга поглинання N-каскадного квантового каскадного детектора формується N квантовими переходами лише між тими станами, які

---

характеризуються близькими просторовими розподілами ймовірностей знаходження, а ширина смуги поглинання визначається ширинами відповідних електронних зон, між якими відбуваються робочі переходи.

У четвертому розділі у наближенні ефективних мас і прямокутних потенціалів із застосуванням методу трансфер-матриці отримані точні аналітичні вирази для S-матриці розсіювання, функції розподілу густини ймовірності та коефіцієнта прозорості у відкритій багатокаскадній резонансно-тунельній наноструктурі, що дозволило розвинути у трьох підходах теорію спектральних характеристик (резонансних енергій та резонансних ширин) квазістаціонарних станів електрона у багатокаскадному елементі квантового каскадного детектора.

На прикладі відкритої багатокаскадної резонансно-тунельної наноструктури з триямними каскадами з GaAs ямами та  $\text{Al}_{0.33}\text{Ga}_{0.67}\text{As}$  бар'єрами досліджено еволюцію резонансних енергій та резонансних ширин квазістаціонарних станів електрона у залежності від кількості каскадів у наносистемі та здійснено порівняльний аналіз результатів трьох розвинених підходів. Проаналізовано вплив товщин внутрикаскадних та міжкаскадних потенціальних бар'єрів на спектральні характеристики електронних станів у відкритих резонансно-тунельних наноструктурах з різною кількістю каскадів.

На основі визначених полюсами S-матриці резонансних енергій та ширин аналітично розрахована наближена функція розподілу густини ймовірності знаходження електрона у відкритій N-каскадній наноструктурі як нормована сума N функцій Лоренца, яка дозволила показати, що виникаючий на залежностях функції густини ймовірності від енергії колапс резонансів зумовлений суперпозицією електронних станів з близькими значеннями резонансних енергій та суттєво різними резонансними ширинами (часами життя).

Наукову новизну висновків, зроблених на основі отриманих у четвертому розділі результатів, розкривають такі положення:

- Встановлено, що у відкритій N-каскадній наносистемі виникають комплекси N квазістаціонарних станів, резонансні енергії та резонансні ширини яких однозначно визначаються лише комплексними полюсами S-матриці. У тих областях енергій, де на спектральних розподілах функції густини ймовірності та коефіцієнта прозорості виникає колапс резонансів, обидва підходи не дозволяють розрахувати резонансні енергії та ширини електронних станів.

- Досліджено еволюцію резонансних енергій та резонансних ширин квазістаціонарних станів електрона у відкритих багатокаскадних резонансно-тунельних наносистемах від товщин внутрикаскадних та міжкаскадних потенціальних бар'єрів та виявлено такі конфігурації, за яких структуру можна вважати закритою. Практичне значення отриманих результатів.

Розвинена теорія електрон-фононої взаємодії у каскаді квантового каскадного детектора дозволила виявити умови, за яких величини зміщень та затухань електронних станів, зумовлені взаємодією з оптичними фононами, різко зростають. Знайдені геометричні конфігурації двоямної активної зони квантового каскадного детектора далекого ІЧ діапазону, за яких виявлений ефект найбільше проявляється і може впливати на ефективність

функціонування наноприладу.

Запропонована теорія електронних станів у багатокаскадних наносистемах виявила неоднорідні розподіли густин ймовірностей знаходження електрона у різних каскадах структури, що може бути однією з причин низької ефективності переважної більшості експериментальних квантових каскадних детекторів.

Розвинені теорії стаціонарних та квазістаціонарних станів електрона у багатокаскадних наносистемах, які дозволяють оцінити енергії та часи життя електронних станів, а також інтенсивності квантових переходів, можуть бути важливі у задачах про оптимізацію дизайнів каскадів квантових каскадних детекторів з метою підвищення їх ефективності.

### 2.3. Ключові слова дисертації

електрон, фонон, енергетичний спектр, хвильова функція, ефективна маса, сила осцилятора квантового (оптичного) переходу, коефіцієнт поглинання, стаціонарні та квазістаціонарні стани, часи життя (затухання), наноструктура (система), резонансно-тунельна структура, квантова точка, наноплівка, надгратка, квантовий каскадний детектор (прилад)

### 2.4. Посилання, за яким розміщено текст дисертації

<https://archer.chnu.edu.ua/handle/123456789/7260>

### 2.5. Публікації здобувача, зараховані для захисту

Seti Ju.O., Tkach M.V., Vereshko E.Ju., Voitsekhivska O.M. Modeling of optimized cascade of quantum cascade detector operating in far infrared range. *Mathematical Modeling and Computing*. 2020. Vol. 7. №. 1. P. 186–195. (Scopus) Q3 (<https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=21100893979&tip=sid&clean=0>)

Рік	2020
Ключові слова	nanosystem, quantum cascade detector, energy spectrum, phonon-assisted tunneling
DOI	10.23939/mmc2020.01.186
Одноосібне авторство	ні
Містить державну таємницю / службову інформацію	ні
Посилання	<a href="https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85087992165&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f">https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85087992165&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f</a>

Сеті Ю.О., Верешко Є.Ю., Ткач М.В., Войцехівська О.М. Особливості перенормування оптичними фононами електронного спектра в каскаді квантового каскадного детектора / Peculiarities of electron spectrum renormalized by optical phonons in the cascade of quantum cascade detector. *Журнал фізичних досліджень / Journal of Physical Studies*. 2021. Vol. 25. №. 3. P. 3706-1 – 3706-10. (Scopus)

Рік	2021
Ключові слова	наносистема, електрон, фонон, квантовий каскадний детектор, функція Гріна
DOI	10.30970/jps.25.3706
Одноосібне авторство	ні
Містить державну таємницю / службову інформацію	ні

---

Посилання <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85131526038&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Peculiarities+of+electron+spectrum+renormalized+by+optical+phonons+in+the+cascade+of+quantum+cascade+detector&sid=28be6e87deb98ec219b775a7b930d730&sot=b&sdt=b&sl=116&s=TITLE%28Peculiarities+of+electron+spectrum+renormalized+by+optical+phonons+in+the+cascade+of+quantum+cascade+detector%29&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=>

Seti Ju.O., Tkach M.V., Vereshko E.Ju. Effect of Confined Phonons on Temperature Renormalization of Spectral Characteristics of Quantum Cascade Detector Operating in Far Infrared Range. Journal of Nano and Electronic Physics. 2021. Vol. 13. №. 2. P. 02031-1 – 02031-5. (Scopus).

---

Рік	2021
Ключові слова	Electron, Green's function, Nanosystem, Phonon, Quantum cascade detector
DOI	10.21272/jnep.13(2).02031
Одноосібне авторство	ні
Містить державну таємницю / службову інформацію	ні
Посилання	<a href="https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85108957344&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f">https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85108957344&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f</a>

Сеті Ю.О., Верешко Є.Ю., Ткач М.В. Властивості електронних станів у закритій нанокаскадній структурі як елементи квантового каскадного детектора / Properties of electron states in a closed multi-cascade nanostructure being an element of a quantum cascade detector. Журнал фізичних досліджень / Journal of Physical Studies. 2022. Vol. 26. №. 4. P. 4702-1 – 4702-10. (Scopus)

---

Рік	2022
Ключові слова	наноструктура, електрон, квантовий каскадний детектор
DOI	10.30970/jps.26.4702
Одноосібне авторство	ні
Містить державну таємницю / службову інформацію	ні
Посилання	<a href="https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85144728762&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f&amp;src=s&amp;st1=Properties+of+electron+states+in+a+closed+multi-cascade+nanostructure+being+an+element+of+a+quantum+cascade+detector&amp;sid=64547920ab707263c46ccb25316985b2&amp;sot=b&amp;sdt=b&amp;sl=131&amp;s=TITLE-ABS-KEY%28Properties+of+electron+states+in+a+closed+multi-cascade+nanostructure+being+an+element+of+a+quantum+cascade+detector%29&amp;relpos=0&amp;citeCnt=0&amp;searchTerm=">https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85144728762&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f&amp;src=s&amp;st1=Properties+of+electron+states+in+a+closed+multi-cascade+nanostructure+being+an+element+of+a+quantum+cascade+detector&amp;sid=64547920ab707263c46ccb25316985b2&amp;sot=b&amp;sdt=b&amp;sl=131&amp;s=TITLE-ABS-KEY%28Properties+of+electron+states+in+a+closed+multi-cascade+nanostructure+being+an+element+of+a+quantum+cascade+detector%29&amp;relpos=0&amp;citeCnt=0&amp;searchTerm=</a>

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. №. 1. P. 48–58. ISSN: 1542-1406 (Scopus, Web of Science)

---

Рік	2020
Ключові слова	Degenerated state, diagram technique, quasiparticle, phonon, spectrum

DOI	10.1080/15421406.2020.1732562
Одноосібне авторство	ні
Містить державну таємницю / службову інформацію	ні
Посилання	<a href="https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85088899371&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f">https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85088899371&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f</a>

Seti J., Voitsekhivska O., Vereshko E., Tkach M. Effect of interface phonons on the functioning of quantum cascade detectors operating in the far infrared range. Applied Nanoscience (Switzerland). 2022. Vol. 12. №. 3. P. 533-542. ISSN: 2190-5509. (Scopus, Web of Science) (Q2 – <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=21100886227&tip=sid&clean=0>).

Рік	2022
Ключові слова	Electron-phonon interaction, Interface phonon, Quantum cascade detector, Spectrum
DOI	10.1007/s13204-021-01708-8
Одноосібне авторство	ні
Містить державну таємницю / службову інформацію	ні
Посилання	<a href="https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85101007890&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f">https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85101007890&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f</a>

Seti Ju., Vereshko E., Voitsekhivska O., Tkach M. Properties of spectral parameters of multicascade nanostructure being a model of quantum cascade detector. Springer Proceedings in Physics. Nanomaterials and Nanocomposites, Nanostructure Surfaces, and Their Applications: 10th International Research and Practice Conference on Nanotechnology and Nanomaterials (NANO 2021). Lviv 25-28 August 2021. 2023. Vol. 279. P. 361 – 376. ISSN: 0930-8989. (Scopus)

Рік	2023
Ключові слова	Electron, Spectrum, Quantum cascade detector
DOI	10.1007/978-3-031-18096-5_21
Одноосібне авторство	ні
Містить державну таємницю / службову інформацію	ні
Посилання	<a href="https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85152586401&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f">https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85152586401&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f</a>

### 3. Захист

3.1. Посилання, за яким здійснюватиметься онлайн-трансляція захисту <https://www.youtube.com/channel/UC7PNEvK5g8CET3dTxA-x0yQ>

### 4. Разова рада

4.1. Дата рішення Вченої ради про утворення разової ради 29.06.2023

## Голова разової ради

ПІБ	<b>Крамар Валерій Максимович</b>
Місце роботи	Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
Посада	професор (Основне місце роботи)
Факультет або інший структурний підрозділ	Навчально-науковий інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук
Науковий ступінь	Доктор наук, 01.04.10 Фізика напівпровідників і діелектриків
Дата отримання диплома доктора філософії (кандидата наук)	-
ORCID	0000-0002-3185-4338

### Публікації за тематикою дисертації

Petryk, I., Lutsiuk Y., Kramar V. Frequency spectrum and group velocities of acoustic phonons in PbI<sub>2</sub> nanofilms. *Physics and Chemistry of Solid State*. 2022. Vol. 23. №. 3. P. 478-483. (Scopus, Web of Science)

Рік	2022
Ключові слова	nanostructure, nanofilm, phonon, spectrum, frequency, group velocity
DOI	10.15330/pcss.23.3.478-483
Одноосібне авторство	ні
Містить державну таємницю / службову інформацію	ні
Посилання	<a href="https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000880123900008">https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000880123900008</a>

Lutsiuk Yu.V., Kramar V.M. Analytical Calculation of Frequency Spectrum and Group Velocities of Acoustic Phonons in Quasi-two-dimensional Nanostructures. *Journal of Nano- and Electronic Physics*. 2020. Vol. 12. №. 5. P. 1-5. (Scopus)

Рік	2020
Ключові слова	Acoustic phonons, Frequency spectrum, Group velocity, Nanofilm, Nanostructure
DOI	10.21272/jnep.12(5).05033
Одноосібне авторство	ні
Містить державну таємницю / службову інформацію	ні
Посилання	<a href="https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85096543109&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f">https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85096543109&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f</a>

Derevyanchuk A.V., Lutsiuk Yu.V., Kramar V.M. An analytical method for investigations of acoustic phonons spectra in semiconductor ultra-thin flat films. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. Fourteenth International Conference on Correlation Optics*. 2020. Vol. 11369. P. 113691U. ISSN: 0277786X (Scopus).

Рік	2020
Ключові слова	acoustic phonons, dispersion, energy spectra, nanosystem



DOI	10.1117/12.2553960
Одноосібне авторство	ні
Містить державну таємницю / службову інформацію	ні
Посилання	<a href="https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85081133053&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f">https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85081133053&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f</a>

### **Рецензент**

ПІБ	<b>Головацький Володимир Анатолійович</b>
Місце роботи	Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
Посада	професор (Основне місце роботи)
Факультет або інший структурний підрозділ	Навчально-науковий інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук
Науковий ступінь	Доктор наук, 01.04.02 Теоретична фізика
Дата отримання диплома доктора філософії (кандидата наук)	-
ORCID	0000-0002-5573-2562

### *Публікації за тематикою дисертації*

Holovatsky V.A., Chubrei M.V. Optical absorption in core-shell quantum antidot under applied co-directed electric and magnetic fields. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. 2023. Vol. 751. №. 1. P. 149-157. (Web of Science, Scopus)

Рік	2023
Ключові слова	density distribution, energy spectrum, intersubband transition, optical absorption coefficient, quantum antidot
DOI	10.1080/15421406.2022.2073539
Одноосібне авторство	ні
Містить державну таємницю / службову інформацію	ні
Посилання	<a href="https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85130484382&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f&amp;src=s&amp;sid=2f3c3d36687931afa98ff9fe1650090c&amp;sot=b&amp;sdt=b&amp;s=TITLE%28Optical+absorption+in+core-shell+quantum+antidot+under+applied+co-directed+electric+and+magnetic+fields%29&amp;sl=110&amp;sessionSearchId=2f3c3d36687931afa98ff9fe1650090c">https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85130484382&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f&amp;src=s&amp;sid=2f3c3d36687931afa98ff9fe1650090c&amp;sot=b&amp;sdt=b&amp;s=TITLE%28Optical+absorption+in+core-shell+quantum+antidot+under+applied+co-directed+electric+and+magnetic+fields%29&amp;sl=110&amp;sessionSearchId=2f3c3d36687931afa98ff9fe1650090c</a>

Holovatsky V.A., Chubrei M.V., Duque C.A. Core-shell type-II spherical quantum dot under externally applied electric field. *Thin Solid Films*. 2022. Vol. 747. P.139142. (Scopus, Web of Science) (Q3 – <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=12347&tip=sid&clean=0>)

Рік	2022
Ключові слова	Diagonalization method, Electric field, Exciton energy, Interband transition, Oscillator strength, Type-II quantum dots

DOI	10.1016/j.tsf.2022.139142
Одноосібне авторство	ні
Містить державну таємницю / службову інформацію	ні
Посилання	<a href="https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85126128822&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f">https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85126128822&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f</a>

HolovatskyV., ChubreiM., Yurchenko O. Impurity photoionization cross-section and intersubband optical absorption coefficient in multilayer spherical quantum dots. *Physics and Chemistry of Solid State*. 2021. Vol. 22. №.4. P. 630-637. (Scopus, Web of Science)

Рік	2021
Ключові слова	donor impurity, impurity binding energy, impurity photoionization cross section, multilayer quantum dot, optical absorption coefficient
DOI	10.15330/pcss.22.4.630-637
Одноосібне авторство	ні
Містить державну таємницю / службову інформацію	ні
Посилання	<a href="https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85122076572&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f">https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85122076572&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f</a>

### **Рецензент**

ПІБ	<b>Маханець Олександр Михайлович</b>
Місце роботи	Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
Посада	професор (Основне місце роботи)
Факультет або інший структурний підрозділ	Навчально-науковий інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук
Науковий ступінь	Доктор наук, 01.04.10 Фізика напівпровідників і діелектриків
Дата отримання диплома доктора філософії (кандидата наук)	-
ORCID	0000-0003-4598-2039

### *Публікації за тематикою дисертації*

Hnidko I. S., Makhanets O. M., Gutsul V. I., Koziarskyi I. P. Impurity effect on the spectral parameters of an electron in a quantum dot–quantum ring semiconductor nanostructure. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. 2023. Vol. 752. №. 1. P. 42-50. (Scopus, Web of Science)

Рік	2023
Ключові слова	Semiconductor nanostructure, quantum dot, quantum ring, donor impurity, electron energy, oscillator strengths
DOI	10.1080/15421406.2022.2091271
Одноосібне авторство	ні
Містить державну таємницю / службову інформацію	ні

Посилання	<a href="https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000838048400001">https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000838048400001</a>
Hnidko I. S., Gutsul V. I., Koziarskyi I. P., Makhanets O. M. The exciton spectrum of the cylindrical quantum dot-quantum ring semiconductor nanostructure in an electric field. <i>Physics and Chemistry of Solid State</i> . 2022. Vol. 23. №. 4. P. 793-800. (Scopus, Web of Science)	
Рік	2022
Ключові слова	Quantum Dot, Nanoring, Exciton, Energy spectrum, Intensity, Electric field
DOI	10.15330/pcss.23.4.793-800
Одноосібне авторство	ні
Містить державну таємницю / службову інформацію	ні
Посилання	<a href="https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000935207400020">https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000935207400020</a>

Hnidko, I.S., Gutsul, V.I., Koziarskyi, I.P., Makhanets, O.M. Influence of electric field on electronic optical quantum transitions in a quantum dot - Quantum ring semiconductor nanostructure. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 2021. Vol. 12126, 121260Y. ISSN: 0277-786X. (Scopus, Web of Science)

Рік	2021
Ключові слова	Electric field, Electron, Energy spectrum, Oscillator strength, Quantum dot, Quantum ring
DOI	10.1117/12.2615553
Одноосібне авторство	ні
Містить державну таємницю / службову інформацію	ні
Посилання	<a href="https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85124707473&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f&amp;src=s&amp;sid=620aafad1d8109c3b6bb1295baea553c&amp; sot=b&amp;sdt=b&amp;s=TITL E%28Influence+of+electric+field+on+electronic+optical+quantum+tr ansitions+in+a+quantum+dot%29&amp;sl=93&amp;sessionSearchId=620aafad1 d8109c3b6bb1295baea553c">https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85124707473&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f&amp;src=s&amp;sid=620aafad1d8109c3b6bb1295baea553c&amp; sot=b&amp;sdt=b&amp;s=TITL E%28Influence+of+electric+field+on+electronic+optical+quantum+tr ansitions+in+a+quantum+dot%29&amp;sl=93&amp;sessionSearchId=620aafad1 d8109c3b6bb1295baea553c</a>

### **Офіційний опонент**

ПІБ	<b>Білинський Ігор Васильович</b>
Місце роботи	Криворізький державний педагогічний університет
Посада	професор (Основне місце роботи)
Факультет або інший структурний підрозділ	фізико-математичний факультет
Науковий ступінь	Доктор наук, 01.04.10 Фізика напівпровідників і діелектриків
Дата отримання диплома доктора філософії (кандидата наук)	-
ORCID	0000-0002-4221-9225

*Публікації за тематикою дисертації*

Leshko R., Bilynskyi I. Combined effect of both polarization charges and deformation on energy spectrum of InAs/GaAs quantum dot. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*. 2020. Vol. 115. P. 113703 (1–5). (Scopus, Web of Science). (Q2 – <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=29121&tip=sid&clean=0>)

Рік	2020
Ключові слова	Deformation, Energy spectrum, Multiband hole model, Polarization charges, Strained heterosystem
DOI	10.1016/j.physe.2019.113703
Одноосібне авторство	ні
Містить державну таємницю / службову інформацію	ні
Посилання	<a href="https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000521968000004">https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000521968000004</a>

Bilynskyi I., Leshko R., Bandura H. Influence of quantum dot shape on energy spectra of three-dimensional quantum dots superlattices. *Physics and Chemistry of Solid State*. 2020. Vol. 21. №. 4. P. 584–590. (Scopus, Web of Science)

Рік	2020
Ключові слова	superlattice, quantum dot, form of quantum dot, electron spectrum, zone width
DOI	10.15330/pcss.21.4.584-590
Одноосібне авторство	ні
Містить державну таємницю / службову інформацію	ні
Посилання	<a href="https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000605282100002">https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000605282100002</a>

Leshko R., Bilynskyi I. The hole energy spectrum of an open spherical quantum dot within the multiband model. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*. 2019. Vol. 110. P 10-14. (Scopus, Web of Science) (Q2 – <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=29121&tip=sid&clean=0>)

Рік	2019
Ключові слова	Boundary conditions, Energy spectrum, Multiband hole model, Quasistationary states
DOI	10.1016/j.physe.2019.01.024
Одноосібне авторство	ні
Містить державну таємницю / службову інформацію	ні
Посилання	<a href="https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85061592381&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f">https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85061592381&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f</a>

**Офіційний опонент**

ПІБ **Бойко Ігор Володимирович**

Місце роботи	Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Посада	Доцент (Основне місце роботи)
Факультет або інший структурний підрозділ	Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
Науковий ступінь	Кандидат наук, 01.04.02 Теоретична фізика
Дата отримання диплома доктора філософії (кандидата наук)	04.07.2013
ORCID	0000-0003-2787-1845

*Публікації за тематикою дисертації*

Boyko I., Petryk M. Tunneling transport in open nitride resonant tunneling structures taking into account the acoustic phonons: An variational approach. *Physica B: Condensed Matter*. 2022. Vol. 636. P. 413862. (Scopus, Web of Science) (Q2 – <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=29118&tip=sid&clean=0>).

Рік	2022
Ключові слова	Acoustic phonon, Nitride-based semiconductors, Tunneling transport, Variational method
DOI	10.1016/j.physb.2022.413862
Одноосібне авторство	ні
Містить державну таємницю / службову інформацію	ні
Посилання	<a href="https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000805438800007">https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000805438800007</a>

Boyko I., Petryk M., Mykhailyshyn R. Excitons in resonant tunnelling structures based on AlN/GaN/AlN/AlGaIn/AlN nitride: spectral dependences and intensities of interband optical transitions. *Ukrainian Journal of Physical Optics*. 2022. Vol. 23. №. 3. P. 180-191. (Scopus, Web of Science)

Рік	2022
Ключові слова	excitons, iterative methods, nitride semiconductors, quantum cascade detectors, resonant tunnelling structures, variational methods
DOI	10.3116/16091833/23/3/180/2022
Одноосібне авторство	ні
Містить державну таємницю / службову інформацію	ні
Посилання	<a href="https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85140624340&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f">https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85140624340&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f</a>

Boyko I., Petryk M., Fraissard J. Investigation of the electron-acoustic phonon interaction via the deformation and piezoelectric potentials in AlN/GaN resonant tunneling nanostructures. *Superlattices and Microstructures*. 2021. Vol. 156. P. 106928. (Scopus, Web of Science) (Q2 – <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=21959&tip=sid&clean=0>)

Рік	2021
Ключові слова	acoustic phonon, deformation potential, electron-phonon interaction, Green's function, piezoelectric effect, piezoelectric potential

DOI	10.1016/j.spmi.2021.106928
Одноосібне авторство	ні
Містить державну таємницю / службову інформацію	ні
Посилання	<a href="https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85108082031&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f&amp;src=s&amp;st1=Investigation+of+the+electron-acoustic+phonon+interaction+via+the+deformation+and+piezoelectric+potentials+in+AlN%2fGaN+resonant+tunneling+nanostructures&amp;sid=9ec86363f0078c4ffbc3fbdff1f26128&amp;sot=b&amp;sdt=b&amp;sl=158&amp;s=TITLE%28Investigation+of+the+electron-acoustic+phonon+interaction+via+the+deformation+and+piezoelectric+potentials+in+AlN%2fGaN+resonant+tunneling+nanostructures%29&amp;relpos=0&amp;citeCnt=5&amp;searchTerm=">https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85108082031&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f&amp;src=s&amp;st1=Investigation+of+the+electron-acoustic+phonon+interaction+via+the+deformation+and+piezoelectric+potentials+in+AlN%2fGaN+resonant+tunneling+nanostructures&amp;sid=9ec86363f0078c4ffbc3fbdff1f26128&amp;sot=b&amp;sdt=b&amp;sl=158&amp;s=TITLE%28Investigation+of+the+electron-acoustic+phonon+interaction+via+the+deformation+and+piezoelectric+potentials+in+AlN%2fGaN+resonant+tunneling+nanostructures%29&amp;relpos=0&amp;citeCnt=5&amp;searchTerm=</a>

### Підтвердження

Я підтверджую, що:

- я належним чином уповноважений/а закладом освіти/науковою установою на подання цього повідомлення, і за потреби надам документ, який підтверджує ці повноваження
- усі відомості, викладені у цьому повідомленні, є достовірними

*Документ підписаний електронним підписом*

ЯКУБОВСЬКА НАТАЛІЯ ОЛЕКСІЇВНА

03.07.2023