

**Рішення**  
**спеціалізованої вченої ради ДФ 76.051.026**  
**про присудження ступеня доктора філософії**

Спеціалізована вчена рада ДФ 76.051.026 Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, Міністерства освіти і науки України, м. Чернівці прийняла рішення про присудження ступеня доктора філософії галузі знань 10 Природничі науки на підставі прилюдного захисту дисертації «Теорія електронних станів та електрон-фононої взаємодії у структурних елементах квантових каскадних детекторів» за спеціальністю 104 Фізика та астрономія «06» вересня 2023 року.

Верешко Євгенія Юріївна 1996 року народження, громадянка України, освіта вища: закінчила у 2019 році Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича за спеціальністю «Прикладна фізика та наноматеріали».

Дисертацію виконано у Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича, МОН України, м. Чернівці.

Науковий керівник - Сеті Юлія Олександрівна, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної фізики навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича.

Здобувачка має 17 наукових публікацій за темою дисертації, зокрема в 9 основних публікаціях, з яких 5 статті у наукових фахових виданнях України, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, 4 статей у періодичних закордонних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, а також 8 праць апробаційного характеру:

1. 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. no. 1. P. 186–195. **(Фахове видання, Scopus) Q3**

2. Сеті Ю.О., Верешко Є.Ю., Ткач М.В., Войцехівська О.М. Особливості перенормування оптичними фононами електронного спектра в каскаді квантового каскадного детектора. *Журнал фізичних досліджень*. 2021. Vol. 25. no. 3. P. 3706. **(Фахове видання, Scopus)**

3. 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. no. 2. P. 02031. **(Фахове видання, Scopus)**

4. Сеті Ю.О., Верешко Є.Ю., Ткач М.В. Властивості електронних станів у закритій нанокаскадній структурі як елементі квантового каскадного детектора. *Журнал фізичних досліджень*. 2022. Vol. 26. no. 4. P. 4702. **(Фахове видання, Scopus)**

5. 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. **(Scopus, Web of Science)**

6. 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. no. 3. P. 533-542. **(Scopus, Web of Science) Q3**

7. 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. **(Scopus)**

8. Сеті Ю.О., Ткач М.В., Верешко Є.Ю. Спектральні властивості широкосмугового квантового каскадного детектора далекого ІЧ-діапазону з двоямною активною зоною.

Нанорозмірні системи: будова, властивості, технології (НАНСИС-2019): Тези VI Наук. конф. (Київ, 4–6 грудня 2019 р.) / редкол.: А. Г. Наумовець [та ін.]. Київ, 2019. С. 151.

9. Tkach M., Seti Ju., Voitsekhivska O., Hutiv V., Ivanochko M., Vereshko E. Properties of renormalized spectrum of interacting with polarization phonons localized quasiparticle with degenerated excited state. The International research and practice conference “Nanotechnology and nanomaterials” (NANO-2019): Abstract Book of participants of the International research and practice conference (Lviv, 27 – 30 August 2019) / Edited by Dr. Olena Fesenko. Kyiv: LLC «Computer-publishing, information center», 2019. P. 576. (**Scopus**)

10. Vereshko E.Ju., Seti Ju.O., Tkach M.V. Effect of interface phonons on the electron spectrum in far infrared range quantum cascade detector at cryogenic temperature. Proceedings of the 2020 IEEE 10th International Conference on "Nanomaterials: Applications and Properties" (NAP 2020). 2020. P. 9309532.

11. Seti Ju.O., Tkach M.V., Vereshko E.Ju., Voitsekhivska O.M. Effect of interface phonons on the functioning of quantum cascade detectors operating in far infrared range. 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. 469.

12. Seti Ju.O., Vereshko E.Y., Voitsekhivska O.M., Tkach M.V. Spectral properties of open multi-cascade nanostructure as an element of quantum cascade detector. 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. 51.

13. Сеті Ю.О., Ткач М.В., Верешко Є.Ю. Перенормування електронного спектра взаємодією з обмеженими фононами у оптимізованому каскаді квантового каскадного детектора. 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. 36.

14. Seti Ju., Vereshko E., Voitsekhivska O., Tkach M., Markin O. Properties of transmission coefficient of multicascade element in quantum cascade detector // 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. 420.

15. Seti Ju., Vereshko E., Voitsekhivska O., Tkach M. Properties of electron states in open multi-cascade nanostructure: S-matrix, transmission coefficient and probability function methods. 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. 444.

У дискусії взяли участь голова і члени спеціалізованої вченої ради та присутні на захисті фахівці:

**Крамар Валерій Максимович**, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри професійної та технологічної освіти і загальної фізики Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Зауваження та побажання щодо вдосконалення змісту дисертації:

1. Вказано, що розвинена теорія стаціонарних і квазістаціонарних станів в багатокаскадних системах дозволяє багато чого і може бути важлива при оптимізації дизайну каскадів ККД з метою збільшення їх ефективності. На двокаскадному ККД ви показували оптимізацію каскаду, а для багатокаскадного ККД не робили ці розрахунки тому що це не можливо, нема якихось параметрів чи не мало сенсу?

2. Покажіть будь ласка 10 слайд? На рисунку 4 наведені зміщення та затухання від температури, чому не монотонна така залежність від номера стану? Я так розумію, що мало послідовно йти 1; 2 потім 8; 10, тобто найвище - 10, а найнижче - 1, з чим це пов'язано?

**Головацький Володимир Анатолійович**, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри термоелектрики та медичної фізики Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Зауваження та побажання щодо вдосконалення змісту дисертації:

1. В таблиці 2.1 наведено сили осцилятора квантових переходів з робочих станів 1 і 2 в усі збуджені стани. При цьому силу осцилятора квантового переходу між робочими станами 1 і 2 не наведено. Така інформація була б не зайвою, хоча б для перевірки правила сум Томаса-Райхе-Куна.

2. На рисунку 2.2 наведено енергетичний спектр наносистеми та розподіли ймовірностей знаходження електрона у каскаді ККД, які зображені схематично над відповідними енергетичними рівнями. Для пояснення цього рисунку використано фразу: «розподіли ймовірностей знаходження електрона у каскаді ККД нормовані на величини енергій відповідних станів», яка заплутує читача.

3. У формулі (2.9) використовується усереднена ефективна маса у станах  $n$  та  $n'$ , але в тексті дисертації не вказано як проводиться дане усереднення.

4. У першому розділі у формулах (1.1) та (1.16) напруженість електричного поля електромагнітної хвилі позначена різними буквами.

**Маханець Олександр Михайлович**, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри термоелектрики та медичної фізики Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Зауваження та побажання щодо вдосконалення змісту дисертації:

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.

**Білинський Ігор Васильович**, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри фізики та методики її навчання Криворізького державного педагогічного університету. Зауваження та побажання щодо вдосконалення змісту дисертації:

1. Було б цікавим в'яснити при яких конкретних значеннях концентрації чи алюмінію чи індію отримаємо деякий новий структурний елемент, який певним чином вплине на отримані висновки. Тому виникає запитання: чи не можна здійснити ще більше узагальнення і побудувати найзагальнішу теорію, варіюючи не лише розміри потенціальних ям, та відстані між бар'єрами екстрактора, але й матеріали як ями так і бар'єру для забезпечення ефективного фонон-супровідного тунелювання електронів між активними зонами каскадів.

2. У дисертаційній роботі вивчалася взаємодія електрона з фононами різного типу. Як відомо на квантово-механічні стани зарядів досить суттєво впливають електрон-деформаційний (особливо для неодноріднодеформованої гетеромежі гетеросистеми індію та галію), поляризаційний, домішковий потенціали. Якщо так, то яких змін у властивостях перенормованих спектрів варто очікувати.

3. Бажаним виглядає вказати у тексті дисертації основні параметри розрахунків, виконуваних на основі кожної з теорій: яке програмне забезпечення використовувалось

(власне чи сертифіковане), числові методи (можливо і сам програмний код, що ще більше переконало б опонента у правильності отриманих результатів), причому деякі масивні розрахунки, що мають загальний характер можна було б розмістити у додатках.

**Бойко Ігор Володимирович**, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри програмної інженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Зауваження та побажання щодо вдосконалення змісту дисертації:

1. Розвинена теорія дозволяє розраховувати часи розсіювання за рахунок електрон-фононної взаємодії. Не цілком зрозуміло, чому це не було виконано, оскільки важливо було б порівняти часи життя електронних квазістаціонарних станів з цими величинами.

2. Для електронного тунельного транспорту важливе місце має так-званий механізм "фононної драбинки". Чи можливі випадки, коли цей механізм руйнується через електрон-фононну взаємодію з оптичними фононами?

3. Чи виконується правило сум при розрахунку сил осциляторів у випадку закритих багатокаскадних наносистем? Бажано б виконати перевірку цього факту хоча б на прикладі одної з актуальних геометричних конфігурацій досліджуваних наноструктур.

Результати голосування:

«За» 5 членів ради,  
«Проти» 0 членів ради,  
недійсних бюлетенів 0

На підставі результатів голосування спеціалізована вчена рада ДФ 76.051.026 присуджує **Верешко Євгенії Юрїївні** ступінь доктора філософії з галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

Голова спеціалізованої  
вченої ради ДФ 76.051.026



Валерій КРАМАР