

## РІШЕННЯ

### щодо присудження наукового ступеня доктора наук

Спеціалізована вчена рада з присудження наукового ступеня доктора наук  
Д 35.156.01 Інституту фізики конденсованих систем  
(шифр докторської ради, повне найменування закладу вищої освіти (наукової установи),

Національної академії наук України прийняла рішення  
підпорядкування (у родовому відмінку)

про присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук  
(галузь науки)

Бойку Ігорю Володимировичу  
(прізвище, ім'я, по батькові (за наявності) здобувача у давальному відмінку)

на підставі прилюдного захисту докторської дисертації  
« Теорія електронних процесів та взаємодії електронів з акустичними фононами у арсенідних та нітридних напівпровідникових наноструктурах »  
(назва докторської дисертації)

у вигляді на правах рукопису \*/ з грифом (при необхідності)  
(на правах рукопису, опублікованої монографії, наукової доповіді)/  
(таємно, для службового користування)

за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика (104 — Фізика та астрономія)  
(шифр і назва наукової спеціальності за чинним переліком)

« 29 » січня 2025 року, протокол № 4 .

Бойко Ігор Володимирович 1987 року народження,  
(прізвище, ім'я, по батькові (за наявності) здобувача)

громадянин України ,  
(вказується назва держави, громадянином якої є здобувач)

освіта вища: закінчив у 2009 році Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка  
(найменування закладу вищої освіти)

за спеціальністю Педагогіка і методика середньої освіти. Фізика .  
(за дипломом)

Наукові ступені і вчені звання (перелічуються у порядку їх присудження чи присвоєння за наявності):

кандидат фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика  
з 2013 року,

доцент кафедри програмної інженерії з 2020 року.

Працює на посаді доцента в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя, Міністерство освіти і науки України, м. Тернопіль  
(посада) (основне місце роботи, відомче підпорядкування, місто)

з 2015 р. до теперішнього часу.

Докторська дисертація виконана у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя .  
(назва підрозділу, найменування закладу вищої освіти, наукової установи)

Рекомендовано до захисту 15 жовтня 2024 року.

Здобувач має 42 наукові публікації за темою дисертації, з них 26 статей в наукових фахових виданнях, 16 матеріалів та тез конференцій.

Опоненти:

Ткачук Володимир Михайлович, доктор фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика, професор, завідувач кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука Львівського національного університету імені Івана Франка дав позитивний відгук із зауваженнями:

1. У дисертації зустрічаються орфографічні помилки та описки.
2. У всіх розділах дисертації автор використовує в електронному та дірковому гамільтоніанах представлення виду для оператора кінетичної енергії у вигляді:  $-\frac{\hbar^2}{2} \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{m(z)} \frac{\partial}{\partial z}$ , що вказує на координатну залежність ефективної маси. При цьому про доцільність вибору саме такого представлення не повідомляється, а інші можливі представлення не розглядаються. Варто було обговорити в дисертації більш детально проблему впорядкування маси залежної від координат та оператора імпульсу в операторі кінетичної енергії.
3. У четвертому розділі дисертації під час розрахунків спектрів акустичних фононів в нітридних наноструктурах використовується система одиниць СІ, а під час розрахунків спектрів акустичних фононів в арсенідних наноструктурах використовується Гаусова система одиниць. Оскільки розрахунки є однотипними не зрозуміло доцільності такого використання систем одиниць.
4. Безпосередні розрахунки дисертант виконує одразу для складних багатоямних наноструктур. А чи виконувались розрахунки для якихось спрощених моделей наносистем, скажімо з одною потенціальною ямою?

Майзеліс Захар Олександрович, доктор фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика, доцент, старший науковий співробітник відділу радіофізики твердого тіла Інституту радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова дав позитивний відгук із зауваженнями:

1. Дисертант у своєму дослідженні обмежився виключно розглядом балістичного когерентного електронного транспорту. Було б доцільно дослідити або окремо розглянути випадки відхилення від цього режиму та фізичні процеси, які з цим пов'язані.
2. Особливу увагу в дисертації приділено п'єзоелектричному ефекту, що пов'язаний з акустичними фононами. Це доцільно, оскільки взаємодія з акустичними фононами через п'єзоелектричний потенціал є значною. Проте всі ці результати в дисертації стосуються виключно нітридних наноструктур. Чому аналогічні розрахунки не були пророблені для арсенідних наноструктур?
3. Одним з центральних питань, що вирішується у дисертації є теорія акустичних фононів. Які з цих результатів можна розповсюдити для фононів оптичного діапазону, а для яких це не буде мати смислу?
4. Нітридні резонансно-тунельні структури є складовими частинами квантових каскадних лазерів чи детекторів, які працюють виключно на електронних переходах. Чим тоді зумовлено необхідність дослідження взаємодії екситонів з акустичними фононами?

Головацький Володимир Анатолійович, доктор фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика, професор, професор кафедри термоелектрики та медичної фізики Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича дав позитивний відгук із зауваженнями:

1. Замість термінів "флексуральні" та "ділататіональні" фонони доцільніше використовувати "згинівні" та "розтягувальні" фонони. Термін "колапс рівнів", який використовується автором у дисертації, не зовсім адекватно відображає особливості

енергетичного спектру квазічастинок у РТС. У науковій літературі частіше вживаються терміни "антикросинг" або "антиперетин рівнів".

2. Для визначення внеску двофотонного випромінення у динамічну провідність у порівнянні з однофотонним бажано обчислювати їх відносну різницю, поділяючи на однофотонну провідність. Такий показник більш точно характеризуватиме вклад двофотонного випромінення.
3. Потенціальні схеми на с.65 (рис. 1.5) та на с.109 (рис. 2.2) відповідають координатній залежності потенціальної енергії додатнього заряду при заданому напрямку напруженості електричного поля, хоча в тексті йде мова про електрон.
4. Формула для точності хвильової функції (1.49) залежить від  $z$ . Не вказано яких максимальних значень, та при яких значеннях кількості розбиттів  $N$ , вона досягає.
5. Не зрозуміло, в чому перевага запису розв'язку через лінійну комбінацію, що апроксимує функції Ейрі, якщо результат отримується числовим розрахунком. А кінцева формула настільки складна, що переваги отриманого аналітичного виразу використати неможливо.
6. Вигляд варіаційної функції екситона, поданий у формулі (7.18) на с.397, враховує сильну анізотропію, зокрема той факт, що розмірне квантування в напрямку осі  $Oz$  переважає енергію взаємодії електрона та дірки. У зв'язку з цим у показнику експоненти відсутня змінна  $z$ . Однак у випадку, коли потенціальна яма ширша за розміри екситона, така варіаційна функція може неточно описувати стан екситона. Необхідно більш чітко обґрунтувати вибір цієї варіаційної функції та зазначити межі її застосування.
7. В дисертації та авторефераті присутні описки, орфографічні та стилістичні помилки, перелік яких досить значний, але не впливає на їх зміст та наукову цінність результатів.

На докторську дисертацію та реферат надійшли відгуки:

Леонід БУЛАВІН, професор фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка, доктор фізико-математичних наук, професор, академік Національної академії наук України надіслав позитивний відгук на автореферат без зауважень.

Дмитро КОРБУТЯК, головний науковий співробітник Відділу фізики поверхні і нанофотоніки Інституту фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарьова Національної академії наук України доктор фізико-математичних наук, професор надіслав позитивний відгук на автореферат без зауважень.

Ярослав ЛЕПІХ, директор міжвідомчого науково-навчального фізико-технічного центру МОН та Національної академії наук України при Одеському національному університеті імені І.І. Мечникова, доктор фізико-математичних наук, професор надіслав позитивний відгук на автореферат без зауважень.

Юлія СЕПІ, професор кафедри прикладної математики Інституту прикладної математики та фундаментальних наук Національного університету «Львівська політехніка» доктор фізико-математичних наук, професор, а також Богдан МАРКОВИЧ, завідувач кафедри прикладної математики Інституту прикладної математики та фундаментальних наук Національного університету «Львівська політехніка» доктор фізико-математичних наук, професор надіслали позитивний відгук на автореферат без зауважень.

Едуард ЛИСЕНКОВ, професор кафедри фізики та математики Чорноморського національного університету імені Петра Могили, доктор фізико-математичних наук, професор надіслав позитивний відгук на автореферат без зауважень.

Олександр МАХАНЕЦЬ, професор кафедри термоелектрики та медичної фізики Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, доктор фізико-математичних наук, професор, надіслав позитивний відгук на автореферат без зауважень.

Іван ГРОД, професор кафедри математики та методики її навчання Тернопільського національного технічного університету імені Володимира Гнатюка, доктор фізико-математичних наук, професор надіслав позитивний відгук на автореферат без зауважень.

У дискусії взяли участь члени докторської ради:

Тарас БРИК, доктор фізико-математичних наук, спеціальність 01.04.02

Петро КОСТРОБІЙ, доктор фізико-математичних наук, спеціальність 01.04.02

Мирослав ГОЛОВКО, доктор фізико-математичних наук, спеціальність 01.04.02

Андрій ВДОВИЧ, доктор фізико-математичних наук, спеціальність 01.04.07

Іван ЩЕРБА, доктор фізико-математичних наук, спеціальність 01.04.07

Ярослав ІЛЬНИЦЬКИЙ, доктор фізико-математичних наук, спеціальність 01.04.24

Андрій ШВАЙКА, доктор фізико-математичних наук, спеціальність 01.04.07

Ігор МРИГЛОД, доктор фізико-математичних наук, спеціальність 01.04.02

Сергій МАЛИНИЧ, доктор фізико-математичних наук, спеціальність 01.04.07

Юрій ЯРЕМКО, доктор фізико-математичних наук, спеціальність 01.04.02

Володимир ТКАЧУК, доктор фізико-математичних наук, спеціальність 01.04.02

---

(власні імена і ПРІЗВИЩА, наукові ступені, спеціальності, зауваження)

та присутні на захисті фахівці

Михайло ПЕТРИК, доктор фізико-математичних наук, завідувач кафедри програмної інженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя  
(власні імена і ПРІЗВИЩА, наукові ступені, місця роботи, посади, зауваження)

При проведенні таємного голосування виявилось, що із 14 членів докторської ради, які взяли участь у голосуванні (з них 6 докторів наук за профілем дисертації), проголосували:

«За» 14 членів докторської ради,

«Проти» 0 членів докторської ради,

недійсних бюлетенів 0.

## **ВИСНОВОК**

спеціалізованої вченої ради Д 35.156.01 щодо докторської дисертації

Бойка Ігоря Володимировича

«Теорія електронних процесів та взаємодії електронів з акустичними фононами у арсенідних та нітридних напівпровідникових наноструктурах»

Докторська дисертація Бойка І.В. є завершеною науковою працею, спрямованою на теоретичний опис електронних процесів, що відбуваються у напівпровідникових резонансно-тунельних структурах, створених на основі арсенідних та нітридних напівпровідникових сполук. Основна увага приділена розробленню теоретичних моделей балістичного електронного тунельного транспорту при урахуванні внеску двофотонної лазерної генерації, полів змінного просторового заряду, мультичастотних змінних електромагнітних полів, внутрішнього постійного електричного і зовнішнього магнітного полів. Вивчається поведінка спектральних параметрів електронних квазістаціонарних станів, тунельного струму та електронної провідності у різних режимах тунельного транспорту, визначених часом розсіювання, а також залежно від геометричних та фізичних параметрів AlAs/GaAs і AlN/AlGa<sub>N</sub> наноструктур. Досліджується вплив деформаційних ефектів, полів спонтанної та п'єзоелектричної поляризації, обмінно-кореляційних ефектів на енергетичний конфайнмент нітридних наноструктур і стаціонарний електронний спектр у них. Розвивається теорія взаємодії електронів та екситонів з акустичними фононами за довільних температур, досліджуються механізми такої взаємодії. Окремо виділено низку досліджень, пов'язаних із розробленням спеціальних варіаційних методів та методів дослідження процесів квантового

розсіяння електронів у наноструктурах з підсистемами акустичних фононів, залежними від часу потенціалами. Актуальність виконаних досліджень пов'язана з можливістю практичного використання напівпровідникових наноструктур у пристроях напівпровідникової електроніки таких як квантові каскадні лазери та детектори.

### Найсуттєвіші результати

1. Розвинено теорію електронної провідності багатошарових наноструктур в яких реалізуються можливості генерації чи детектування додаткових різночастотних гармонік електромагнітного поля. Встановлено, що для двоколірного квантового каскадного лазера при реалізації додаткової гармоніки з частотою відмінною від робочої частоти наноприладу, отримане підсилення електронної провідності становить до 38% від загальної її величини.
2. Запропоновано квантову теорію електронних квазістаціонарних станів та електронної провідності багатошарових наносистем з урахуванням внесків просторових статичного та динамічного зарядів. Встановлено, що для значних концентрацій електронів зростає вплив дисипативних процесів та спостерігається зростання майже на порядок величин часів життя електронних квазістаціонарних станів.
3. Розвинено аналітичну теорію типів акустичних фононів у нітридних наносистемах. Узагальнено теорію акустичних фононів у нітридних наносистемах з урахуванням п'єзоелектричного ефекту, що створюється ними. Встановлено, що у випадку поперечних, згинових та розтягувальних акустичних фононів урахування п'єзоелектричного ефекту веде до появи у спектральних залежностях фононів розщеплення спектра, що спостерігається для малих значень хвильового вектора.
4. Розвинено аналітичну теорію взаємодії електронів з акустичними фононами у багатошарових нітридних наносистемах через механізми деформаційного та п'єзоелектричного потенціалу за довільних значень температури. Встановлено, що електрони не взаємодіють з поперечними акустичними фононами через деформаційний потенціал, а така взаємодія можлива лише через механізм п'єзоелектричного потенціалу.
5. Встановлено, що зростання температури зумовлює збільшення абсолютних зміщень енергетичних рівнів електронних станів та їх згасань, спричиняючи перенормування величини поглинутої чи випроміненої енергії та відповідної смуги поглинання. Встановлено, що теплові зміщення електронного спектра зумовлені взаємодією електронів із згиновими та розтягувальними акустичними фононами через деформаційний потенціал можуть мати довільний знак, тоді як у випадку взаємодії через п'єзоелектричний потенціал — тільки додатній.
6. Розроблено варіаційний метод для повного рівняння Шредінгера, що дав змогу виконати дослідження тунельного транспорту електронів при наявності парціальної складової гамільтоніана, зумовленою акустичними фононами. З використанням цього методу розвинено теорію електронних квазістаціонарних станів, електронної провідності та тунельного струму для відкритих нітридних наносистем з урахуванням внеску акустичних фононів. Показано, що вплив акустичних фононів полягає у зміщенні резонансних енергій електронних квазістаціонарних станів в низькоенергетичну область, а резонансні ширини цих станів збільшуються. Також показано, що для багатошарових наноструктур вплив акустичних фононів з ростом температури призводить до зменшення формованої величини тунельного струму та еквівалентної величини електронної провідності.
7. Розвинено теорію електронного тунельного транспорту у відкритій багатошаровій наноструктурі шляхом застосування методу Льюїса-Різенфілда до залежного від часу рівняння Шредінгера, в кожній з квантових ям якої є можливою генерація електромагнітних хвиль із різними амплітудами. Встановлено, що для значень часу близьких до часу релаксації та більших від нього у залежностях коефіцієнта прозорості з'являються осциляції, які призводять до неможливості однозначного визначення спектральних

характеристик квазістаціонарного стану і його фактичного руйнування, а також порушення когерентності тунельного транспорту.

8. Розвинено теорію тунельного транспорту електронів крізь відкриту багатошарову наносистему за умови наявності впливу постійного внутрішнього електричного поля, постійного магнітного поля спрямованого перпендикулярно до напрямку руху електронів й з урахуванням взаємодії тунельованих електронів із змінним електромагнітним полем.
9. Запропоновано модифікацію методу Льюїса-Різенфілда разом з представленням хвильової функції у вигляді характерному для теорії розсіювання.
10. Запропоновано послідовну теорію взаємодії екситонів з поперечними, згинувими та розтягувальними акустичними фононами у багатошарових нітридних AlN/GaN резонансно-тунельних структурах при довільних температурах. Встановлено, що взаємодія екситонів з акустичними фононами спричиняє перенормування екситонного спектра та зменшення енергій зв'язку.

### **Достовірність наукових результатів**

Достовірність результатів, отриманих у дисертаційній роботі підтверджується такими фактами. Пояснено природу додаткових електронних переходів у двоколірному квантовому каскадному лазері, яка зумовлена двофотонними електронними переходами. Розвинені у дисертації аналітичні методи розрахунку потенціальних схем наноструктур показали високу надійність та ефективність у застосуванні до наноструктур з довільною кількістю шарів та різноманітними фізичними параметрами, зокрема й для експериментально отриманих. Застосування методу температурних мацубарівських функцій Гріна, методу трансфер-матриці, дало змогу отримати перенормовані взаємодією з акустичними фононами електронні спектри та смуги поглинання, температурні залежності для яких знаходяться у доброму узгодженні з результатами експерименту. Розроблений варіаційний метод дозволив надійно враховувати вплив фононної підсистеми на тунельний транспорт електронів у відкритих нітридних наноструктурах. Розроблений модифікований підхід у методі Льюїса-Різенфілда дав змогу отримати точні аналітичні розв'язки повного рівняння Шредінгера із залежними від часу потенціалами та дозволив узагальнити і доповнити результати теорії розсіювання та S-матриці розсіювання на випадки встановлення характеристик електронного квазістаціонарного спектра та фази хвильової функції.

### **Новизна наукових результатів**

1. Розвинено теорію електронної провідності багатошарових наноструктур в яких реалізуються можливості генерації чи детектування додаткових гармонік електромагнітного поля. Встановлено, що для двоколірного квантового каскадного лазера при реалізації додаткової гармоніки з частотою відмінною від робочої частоти наноприладу, підсилення електронної провідності за рахунок двофотонної генерації становить до 38% від загальної її величини.
2. Побудовано квантову теорію електронних квазістаціонарних станів та електронної провідності багатошарових наноструктур з урахування внесків просторових статичного та динамічного зарядів. Встановлено, що для значних концентрацій електронів, процеси, спричинені просторовим динамічним зарядом мають дисипативний характер. Крім того, спостерігається зростання майже на порядок величин часів життя електронних квазістаціонарних станів.
3. Побудовано теорію акустичних фононів у нітридних наноструктурах з урахуванням створюваного ними п'єзоелектричного ефекту та виконано теоретичні розрахунки п'єзоелектричного потенціалу, що виникає в такому випадку. Встановлено, що як у випадку поперечних акустичних фононів, так і у випадку згинувих та розтягувальних акустичних

фононів урахування п'єзоелектричного ефекту приводить до появи у залежностях їх спектрів дорозщеплення, що найбільш сильно виражене при малих значеннях хвильового вектора.

4. Розвинено аналітичну теорію взаємодії електронів з акустичними фононами у багат шарових нітридних наноструктурах через виявлені механізми деформаційного та п'єзоелектричного потенціалу для довільних значень температури. Показано, що електрони з поперечними акустичними фононами через деформаційний потенціал не взаємодіють, а така взаємодія можлива лише через механізм п'єзоелектричного потенціалу. Встановлено, що зростання температури спричиняє збільшення абсолютних температурних зміщень енергетичних рівнів електронних станів та їх згасань, перенормовуючи смуги поглинання у наноприладах. Показано, що теплові зміщення електронного спектра, зумовлені взаємодією електронів із згинувими та розтягувальними акустичними фононами через деформаційний потенціал можуть мати довільний знак, тоді як у випадку взаємодії через п'єзоелектричний потенціал – тільки додатній.

5. Побудовано варіаційний метод для повного рівняння Шредінгера для дослідження тунельного електронного транспорту за наявності складової гамільтоніана, що визначена підсистемою акустичних фононів. З використанням даного методу розвинено теорію електронних квазістаціонарних станів, електронної провідності та тунельного струму для відкритих нітридних наноструктур з урахуванням внеску акустичних фононів. Показано, що вплив акустичних фононів полягає у зміщенні резонансних енергій електронних квазістаціонарних станів в низькоенергетичну область, а резонансні ширини цих квазістаціонарних станів збільшуються.

6. Розвинено теорію електронного тунельного транспорту у відкритих багат шарових наноструктурах шляхом застосування методу Льюїса-Різенфілда до залежного від часу рівняння Шредінгера в кожній з квантових ям яких відбувається генерація електромагнітних хвиль з різними амплітудами. Розвинено теорію тунельного транспорту електронів крізь відкриту багат шарову наносистему за умови наявності впливу постійного внутрішнього електричного поля, постійного магнітного поля спрямованого перпендикулярно до напрямку руху електронів й з урахуванням взаємодії тунельованих електронів із змінним електромагнітним полем. Встановлено, що для значень часу близьких до часу релаксації та більших від нього у залежностях коефіцієнта прозорості з'являються осциляції які приводять до неможливості однозначного визначення спектральних характеристик квазістаціонарного стану і його фактичного руйнування. Запропоновано модифікацію методу Льюїса-Різенфілда разом з представленням хвильової функції у вигляді характерному для теорії розсіювання.

7. Побудовано послідовну теорію взаємодії екситонів із поперечними, згинувими та розтягувальними акустичними фононами в багат шарових нітридних наносистемах для довільних значень температури. Встановлено, що взаємодія екситонів з акустичними фононами спричиняє перенормування екситонного спектра, зменшення енергій зв'язку. Виявлено, що значення температурних зміщень і згасань для тих самих екситонних станів у разі наносистеми типу вюрциту домінують над тими ж значеннями для наносистеми типу цинкової обманки.

### **Значення отриманих результатів та їх застосування**

Отримано теоретичні результати із дослідження електронних квазістаціонарних станів та електронної провідності багат шарових наносистем мають практичне значення для роботи квантових каскадних лазерів з принципово іншими функціональними характеристиками – так званих двоколірних лазерів. Побудована теорія акустичних фононів у багат шарових нітридних наносистемах має фундаментальний загальний характер. Вона дала змогу у поєднанні з розвиненими методами розрахунку потенціальних схем наноструктур та електронних стаціонарних та квазістаціонарних станів дослідити взаємодію електронів із акустичними фононами. Розвинутий підхід до розрахунку перенормованого взаємодією з акустичними фононами електронного спектра та температурної зміни смуг поглинання чи

випромінювання має безпосереднє практичне значення для забезпечення когерентного робочого стану в квантових каскадних наноприладах й може застосовуватись для нітридних наносистем з широким варіюванням їх геометричних та фізичних параметрів, що було підтверджено розрахунками на основі експериментально реалізованого наноприладу. Теоретичні методи, які базуються на здійсненій модифікації методу Льюїса-Різенфілда та варіаційному методі для повного рівняння Шредінгера, яке описує електрон-фононну систему, відкривають можливості їх застосування до задач теорії розсіювання, електронного транспорту та спектральних задач із залежними від часу потенціалами.

Результати дисертаційної роботи можуть бути використані в Інституті фізики конденсованих систем НАН України (м. Львів), Інституті теоретичної фізики імені М. М. Боголюбова НАН України (м. Київ), Інституті фізики НАН України (м. Київ), Інституті фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова НАН України (м. Київ), Інституті радіофізики та електроніки імені О. Я. Усикова НАН України (м. Харків), Львівському національному університеті імені Івана Франка (м. Львів), Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича (м. Чернівці), Національному університеті "Львівська політехніка" (м. Львів), Київському національному університеті імені Тараса Шевченка (м. Київ), інших науково-дослідних інститутах та закладах вищої освіти.

Рада констатує, що дисертаційна робота Бойка Ігоря Володимировича «Теорія електронних процесів та взаємодії електронів з акустичними фононами у арсенідних та нітридних напівпровідникових наноструктурах» є оригінальним і завершеним науковим дослідженням та задовольняє вимоги Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197 із змінами, внесеними згідно з Постановами Кабінету Міністрів України № 502 від 19.05.2023 і № 507 від 03.05.2024.

На підставі результатів таємного голосування та прийнятого висновку докторська рада присуджує

Бойку Ігорю Володимировичу .

(прізвище, ім'я, по батькові (за наявності) здобувача у давальному відмінку)

науковий ступінь доктора фізико-математичних наук

(галузь)

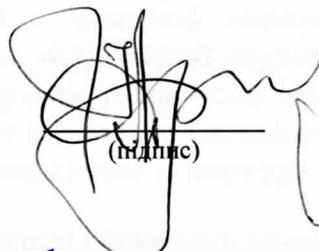
за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика

(шифр і назва наукової спеціальності)

Головуючий на засіданні  
спеціалізованої вченої ради з  
присудження наукового ступеня  
доктора наук

Д 35.156.01

(шифр ради)

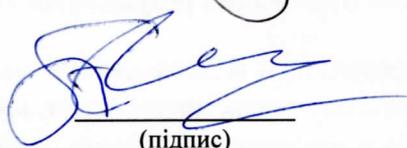


(підпис)

Ігор МРИГЛОД

(власне ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
з присудження наукового  
ступеня доктора наук



(підпис)

Андрій ШВАЙКА

(власне ім'я ПРІЗВИЩЕ)

М. П. « 29 » січня 2025 року  
(за наявності)

