

Голові разової
спеціалізованої вченої ради
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна,
доктору технічних наук,
професору Володимиру ПОЙДІ
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, завідувача кафедри загальної фізики Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, доктора фізикоматематичних наук, доцента Лазоренка Олега Валерійовича на дисертаційну роботу Коробкова Максима Володимировича «Електротранспорт в ВТНП купратів системи $YBaCuO$ в умовах екстремальних зовнішніх впливів», подану на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 104 Фізика та астрономія

1. Обґрунтування вибору теми дослідження.

Відкриття явища високотемпературної надпровідності (ВТНП), що було здійснено сорок років тому й виявилось одним із знакових і визначних досягнень фізики ХХ сторіччя, стало підґрунтям для створення найсучаснішого наукового напрямку досліджень у фізиці твердого тіла, якій швидко розвивається в останні десятиліття. Натомість не зважаючи на суттєві успіхи в експериментальних дослідженнях, мікроскопічна теорія ВТНП ще досі не створена. Але це турбує не лише теоретиків. Ще більш важливими виглядають перспективи використання ВТНП-сполук для розробки нових сучасних технологій різноманітного призначення. Тому підвищена увага та цікавість спеціалістів до досліджень властивостей ВТНП-матеріалів не згасає й досі. Черговим кроком у даному напрямку є дисертаційна робота Коробкова М. В.

Метою дослідження, результати якого містяться у дисертаційній роботі Коробкова М. В., є встановлення впливу експериментальних зовнішніх чинників на процеси переносу заряду та розсіювання його носіїв у ВТНП - сполуках сімейства $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ і $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ у широкому інтервалі температур, магнітних полів і високих тисків; вивчення розподілу дефектів мікроструктури, а також встановлення фізичних особливостей і механізмів релаксації цих дефектів.

Об'єктом дисертаційного дослідження є динаміка переносу заряду та магнітного потоку в ВТНП-сполуках системи $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ і $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ під дією температури, магнітного поля та високого тиску.

Предметом дисертаційного дослідження є процеси електропереносу та механізми розсіювання носіїв струму в сполуках $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ під дією

температури, магнітного поля та високого тиску.

У дисертаційній роботі представлено результати досліджень впливу празеодиму на анізотропію електричного опору високотемпературних надпровідників високотемпературних надпровідників $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, наведено результати експериментальних досліджень впливу високого гідростатичного тиску на провідність у базисній ab -площині середньо допованих празеодимом монокристалів $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, досліджено вплив домішок титану на магнітоопір в $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ кераміках в області переходу в надпровідний стан у постійному магнітному полі. Отже, на основі наведено вище можна зробити висновок, що тема дисертаційного дослідження Коробкова М. В. є важливою й актуальною.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому й оформлення.

Дисертаційна робота Коробкова М. В. складається із анотацій, викладених українською й англійською мовами, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел та додатку, що містить перелік публікацій автора дисертації. Загальний обсяг тексту дисертації складає 159 с., з яких основного тексту – 114 с. Робота містить 35 рисунків і 4 таблиці. Список використаних джерел складається з 210 найменувань.

У **Вступі** обґрунтовано вибір теми дисертаційної роботи, сформульовано її мету й основні задачі, вказано об'єкт і предмет дисертаційного дослідження, наведено інформацію про наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, описано методи досліджень, що було застосовано у роботі, та визначено особистий внесок здобувача.

У **першому розділі «Особливості структури, електротранспорту та динаміки магнітного потоку у ВТНП-сполуках системи 1-2-3»** проведено аналітичний огляд літературних джерел, що містять інформацію про структуру й основні фізичні властивості сполук $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ і $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ з різним ступенем доповання празеодимом. Докладно розглядаються загальні відомості про особливості структури електротранспорту та динаміки магнітного потоку у ВТНП-сполуках системи 1-2-3, дані про кристалічну структуру й особливості дефектного ансамблю таких сполук. Запропоновано стислий аналіз наявних теоретичних та експериментальних результатів, отриманих при дослідженнях електротранспорту, впливу високого тиску, пінінгу та динаміки магнітного потоку у ВТНП-сполуках системи 1-2-3. Наприкінці розділу на основі аналізу низки взаємопов'язаних питань, на які досі ще немає відповіді, сформульовано наукове завдання, розв'язанню якого й присвячено дану дисертаційну роботу. Вона полягає у встановленні фізичних закономірностей процесів перенесення та розсіювання нормальних і флуктуаційних носіїв заряду, а також пінінгу та динаміки магнітного потоку в монокристалічних зразках сполуки $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ на основі системи 1-2-3 з різними допуючими елементами.

У **другому розділі «Об'єкти та методи досліджень»** містяться основні

необхідні відомості про методики синтезу монокристалів $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, $\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, методи рентгенівської дифрактометрії, електронної й оптичної мікроскопії, з використанням яких проводилися структурні дослідження, особливості технологій виготовлення досліджуваних зразків, вимірювання електроопору та температури, дослідження динаміки магнітного потоку, створення гідростатичного тиску.

У третьому розділі «Анізотропія провідності та перехід метал-ізолятор монокристалів $\text{Y}_z\text{Pr}_{1-z}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ з різним вмістом празеодиму» містяться результати досліджень впливу празеодиму на анізотропію електричного опору високотемпературних надпровідників $\text{Y}_z\text{Pr}_{1-z}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, що є вкрай важливим для з'ясування природи ВТНП, а також підвищення її критичних параметрів. На основі докладного аналізу отриманих експериментальних даних, автор пропонує оригінальні підходи, що сприяють розв'язанню цієї задачі.

У четвертому розділі «Розсіювання носіїв заряду на фононах і флуктуаційна електропровідність $\text{Y}_{0,66}\text{Pr}_{0,34}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ під тиском» викладено результати експериментальних досліджень впливу високого гідростатичного тиску на провідність у базисній ab-площині середньо допованих празеодимом монокристалів $\text{Y}_{0,66}\text{Pr}_{0,34}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Наведено та докладно проаналізовано низку числових характеристик, що описують залежність спостережуваних ефектів від тиску та температури. Запропоновано розлоге теоретичне пояснення отриманих результатів.

У п'ятому розділі «Паракогерентний перехід у допованих титаном ВТНП-сполуках YBaCuO » досліджено вплив домішок титану на магнітоопір у $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ кераміках в області переходу до надпровідного стану у присутності постійного магнітного поля. Докладно проаналізовано залежність відповідних числових характеристик від величини напруженості магнітного поля, запропоновано обґрунтування отриманих ефектів з точки зору існуючих теоретичних поглядів.

Наприкінці кожного з розділів дисертації наведено висновки, в яких стисло сформульовано основні наукові та практичні результати, отримані у даному розділі.

У загальних Висновках стисло сформульовані основні наукові результати, отримані здобувачем у результаті проведення досліджень за темою дисертації.

У Списку використаних джерел наведено посилання на використані класичні та сучасні літературні джерела.

Основні наукові результати, які складали зміст дисертаційного дослідження Коробкова М. В., повною мірою відображені у 4 наукових статтях у періодичних виданнях, що індексуються міжнародною науково-метричною базою Scopus («Current Applied Physics», «Journal of Materials Science: Materials in Electronics», «Functional Materials»), 2 наукових статтях у періодичному

науковому виданні, що входить до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б») за науковим напрямком «Природничі науки» («Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Фізика»»), а також пройшли апробацію на 1 міжнародній науковій конференції, що підтверджено наявністю двох опублікованих тез доповідей.

Оформлення дисертації Коробкова М. В. відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 440 та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки № 759 від 31.05.2019).

3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами

Дисертаційна робота Коробкова М. В. відповідає напрямку наукових досліджень, що проводяться на кафедрі фізики низьких температур фізичного факультету Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Результати даної дисертаційної роботи отримано у рамках двох науково-дослідних робіт, що виконувались за рішеннями Міністерства освіти та науки України та Державного фонду фундаментальних досліджень України, де Коробков М. В. був виконавцем.

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

Достовірність наукових результатів, які було одержано Коробковим М. В. при проведенні досліджень за темою дисертаційної роботи, забезпечена тим, що вони отримані із застосуванням надійних і загальноприйнятих методів експериментальної фізики. Обґрунтованість наукових висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Коробкова М. В., забезпечується тим, що їх тлумачення було проведене на основі існуючих сучасних фундаментальних теоретичних уявлень щодо механізмів фізичних процесів, які досліджуються. Про обґрунтованість висновків дисертаційної роботи свідчить також те, що дані, отримані здобувачем у результаті проведення експериментів, добре узгоджуються із існуючими теоретичними положеннями.

5. Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна.

Виходячи з аналізу тексту дисертації та відповідних наукових публікацій здобувача, можна зробити висновок, що наукова новизна результатів, отриманих в дисертації, полягає у наступному.

1. Вперше встановлено, що збільшення ступеня допування празеодимом у

зразках $Y_zPr_{1-z}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ призводить до посилення ефектів локалізації та реалізації в системі переходу виду «метал-діелектрик», який завжди передуює надпровідному переходу. При цьому збільшення концентрації празеодиму приводить до істотного зміщення точки переходу в область більш низьких температур, що, ймовірно, пов'язано зі збільшенням частки напівпровідникового внеску до провідності експериментальних зразків. Температурна залежність анізотропії електроопору на відміну від $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ добре описується за допомогою універсального «закону $1/2$ » для термоактиваційної стрибкової провідності.

2. Вперше виявлено, що експериментальна температурна залежність електричного опору монокристалічного ВТНП $Y_{0,66}Pr_{0,34}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ у нормальному стані й її перша похідна повністю відповідають моделі розсіювання носіїв заряду на фононах і домішках (модель Блоха-Грюнайзена) в інтервалі гідростатичних тисків 0 – 1 ГПа. Флуктуаційна провідність, отримана у вигляді різниці між експериментальними значеннями та екстрапольованими за допомогою моделі Блоха-Грюнайзена величинами, з доброю точністю описується моделлю Лоуренца-Доніаха з урахуванням неоднорідності зразка.

3. Вперше з'ясовано, що прикладання постійного магнітного поля до зразків $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ з домішкою титану на відміну від аналогічних бездомішкових зразків приводить до розмиття додаткового паракогерентного переходу на температурних залежностях надлишкової провідності в базисній площині в області резистивних переходів у надпровідний стан. Це може бути наслідком впливу об'ємного пінінгу, зумовленого наявністю в структурі експериментального зразка фазових включень, що формуються під час внесення домішки титану. Через це за температур нижче критичної відбувається пригнічення динамічного фазового переходу виду «вихрова рідина – вихрова решітка» та формування в системі переходу виду «вихрова рідина – вихрове «бреггівське» скло». Безпосередньо біля критичної температури фазових перехід задовільно описується тривимірною моделлю Асламазова-Ларкіна для надпровідних шаруватих систем.

6. Практичне значення одержаних результатів.

Практичне значення результатів, отриманих автором дисертації, полягає у наступному.

1. Отримані результати можуть бути успішно використані для прогнозування струмонесучої здатності ВТНП матеріалів у магнітному полі за зміни концентрації точкових і плоских дефектів, а також за зміни напрямку магнітного поля відносно площини двовимірних ефектів.

2. Результати досліджень допущення титаном на динаміку магнітного потоку та резистивні характеристики текстурованих зразків можуть бути використані під час створення постійних магнітів або акумуляторів енергії на основі ВТНП-сполук.

3. Низка отриманих результатів може бути успішно використана під час викладання спеціальних (вибіркових) навчальних курсів для здобувачів вищої освіти першого (бакалавр), другого (магістр) та третього (доктор філософії) рівнів підготовки за спеціальностями фізичного спрямування.

7. Дотримання академічної доброчесності.

На підставі вивчення змісту дисертаційної роботи та наукових публікацій Коробкова М. В. за темою дисертації, що був проведений у ході її рецензування, а також із врахуванням інформації, наведеної у Витязі з протоколу засідання кафедри фізики низьких температур фізичного факультету Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, можна стверджувати, що порушень академічної доброчесності, фактів академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації у дисертації Коробкова М. В. не встановлено, а деякі наявні запозичення, виявлені у дисертації Коробкова М. В. антиплагіатною інтернет-системою Strikeplagiarism.com, не є академічним плагіатом.

8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації.

1. Кількість робіт за темою дисертації складає 8, а не 9 (стор. 32, абз. 3), статей – 6, а не 7 (стор. 32, абз. 3), рисунків – 35, а не 32 (стор. 33, абз. 3), таблиць – 4, а не 5 (стор. 33, абз. 3).

2. Просторове розташування осей a , b , c , що використовуються протягом усієї роботи, варто було хоча б один раз продемонструвати на рисунку, наприклад, на рис. 1.1.

3. У тексті роботи інколи відбувається плутанина між індукцією B та напруженістю H магнітного поля. У результаті цього, наприклад, на стор. 129, абз. 1 виявилось, що « $H = 0$ до 7 Тл».

4. Залишилося повністю незрозумілим, що мав на увазі автор, коли на стор. 52, абз. 1 написав « $FL=JB$ ». Також важко пояснити сенс нерівності « $0.0 < z < 0.5$ » (стор. 85, абз. 1).

5. Залишається абсолютно незрозумілим, як можна з формул (1.3) і (1.8) «легко отримати» співвідношення (1.9), коли з (1.3) і (1.8) постає, що потенціал пінінгу U вимірюється у джоулях, а з (1.9) – у кельвінах. Також невірними є формули (1.10) (стор. 54) і (1.11) (стор. 55), бо в них коїться повний безлад із розмірностями фізичних величин. Додають сумнівів ще відомості зі стор. 61, де прямо повідомляється, що фіксоване значення потенціал пінінгу U_0 вимірюється у кельвінах. Також на стор. 61 вводиться ефективна ширина d каналу, вздовж якого здійснюється деформація зсувом, яка з невідомої причини виявляється безрозмірною.

6. Формули у переважній більшості випадків не варто залишати серед тексту абзацу. Краще виносити їх окремим рядком, що значно зручніше при читанні (див., наприклад, стор. 51, абз. 1, 2; стор. 134, абз. 1, 2). Більш того, у частині формул деякі математичні символи перетворилися на щось рандомне,

зробивші ці формули геть незрозумілими (див., *наприклад*, стор. 52, абз. 3, стор. 53, 54).

7. Коли автор говорить про векторні величини, то майже ніде над позначенням відповідної величини немає «стрілки». Особливо це кидається в очі, коли йдеться про взаємне просторове розташування об'єктів. Наприклад, використання конструкцій на кшталт « $\mathbf{H} \parallel \mathbf{c}$ » (стор. 50, 59) або « $\mathbf{J} \perp \mathbf{DG}$ » (стор. 61) є неприпустимим, оскільки вони декларують ... «паралельність двох скалярних величин» або «перпендикулярність скаляра та певного геометричного об'єкту».

8. На титульному аркуші є три технічні помилки: зайвий символ « $\mathbf{J}$ » в номері УДК, зайвий символ « $\rightarrow$ » у назві теми дисертації (у Рішенні Вченої ради Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна від 30 червня 2026 р., протокол № 11 уточнена тема дисертації затверджена саме у такій редакції), символ « $\cdot$ » замість « $\cdot$ » у ініціалах автора дисертації.

9. У дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії «розв'язується», а не «вирішується» (стор. 30), саме «наукова задача», а не «наукове завдання» (стор. 29, 30, 136). Ця термінологія є принциповою.

10. У тексті в межах одного (!) абзацу одночасно існує цілих три різних варіанти написання назви одного й того ж самого об'єкту: «формула МакМіллана», «формула Мак-Міллана», «формула Макміллана» (стор. 44, абз. 3). Все ж варто вибрати щось одне.

11. Подекуди зустрічається використання скорочень, які не введено у тексті (*наприклад*, «OPTO», стор. 3, абз. 3; «FP», стор. 18, абз. 5; «ФП», стор. 31, абз. 3; «VSM», «PPMS», «ети», стор. 80, абз. 1; «ЕФМ», стор. 110, абз. 3) або введено нижче місця використання («ВТНП», стор. 2, абз. 3, а введено на стор. 5, абз. 6). На жаль, частина скорочень чомусь не потрапила до відповідного Переліку на стор. 25.

12. Набір формату запису одиниць вимірювання фізичних величин, мови та системи одиниць автор має обрати якійсь один та неухильно дотримуватись його протягом усього тексту. Натомість у роботі по текстові, а також у формулах, таблицях, рисунках і підписах до них, це змінюється, здається, хаотичним чином. (*Наприклад*, на стор. 37, у абз. 2 як одиниця густини дислокацій використовується « см^{-2} », а в абз. 3 – « $/\text{см}^2$ ». На стор. 6, абз. 2 в одному абзаці у якості позначень одиниць вимірювання тиску використовуються « $k\text{bar}$ » та « GPa », на стор. 48 – « $k\text{бар}$ », а на стор. 123 – « ГПа »). Зокрема, залишається незрозумілим, що мав на увазі автор, коли написав «...у постійному магнітному полі до 7 Т» (стор. 7, абз. 2). Зазвичай прийнято використовувати систему одиниць СІ, а самі одиниці вимірювання наводити виключно українською мовою.

13. Перші абзаци у «Науковій новизні отриманих результатів» (стор. 30) та на стор. 116 викликають подив.

14. Посилання на роботи автора у загальному «Списку використаних джерел» (стор. 139), як це зазвичай робиться у дисертаційних роботах, відсутні. Нумерація же посилань на роботи автора у «Додатку» (стор. 158) не є наскрізною, тому посилання, зроблені у тексті роботи, з номером, більшим за 6, формально ведуть у нікуди (стор. 109).

Але переважна більшість викладених вище зауважень стосуються радше форми подання автором отриманих результатів, ніж власне їх сутності. Тому в цілому це не впливає на достовірність основних наукових результатів і на обґрунтованість висновків, що представлено в цікавій, змістовній і корисній дисертаційній роботі Коробкова М. В.

9. Загальні висновки щодо дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Коробкова Максима Володимировича «Електротранспорт в ВТНП купратів системи YBaCuO в умовах екстремальних зовнішніх впливів», подана на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 104 Фізика та астрономія, є актуальною, одноосібною, завершеною кваліфікаційною науковою роботою, що виконана на високому науковому рівні та відзначається логічністю та зрозумілістю викладення матеріалу.

У дисертаційній роботі Коробкова М. В. розв'язано актуальну науково-практичну задачу сучасної фізики, що полягає у встановленні фізичних закономірностей процесів перенесення та розсіювання нормальних і флуктуаційних носіїв заряду, а також пінінгу та динаміки магнітного потоку в монокристалічних зразках сполуки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ на основі системи 1-2-3 з різними допуючими елементами. Отримані автором вагомі та важливі експериментальні результати, стиль їх викладення та теоретичні пояснення та обґрунтування переконливо свідчать про те, що Коробков М. В. за рівнем володіння методологією наукової діяльності, якістю теоретичних знань, практичних вмінь, навичок і компетентностей повністю сформувався як професійний фахівець-фізик вищого рівня. Вважаю, що здобувач **Коробков Максим Володимирович** цілком заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії в галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

Офіційний рецензент,
завідуючий кафедрою загальної фізики
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна,
доктор фізико-математичних наук, доцент

Олег ЛАЗОРЕНКО

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 11:00:46 14.08.2026

Назва файлу з підписом: Рецензія Лазоренко 1_3.pdf.asice
Розмір файлу з підписом: 208.8 КБ

Перевірені файли:
Назва файлу без підпису: Рецензія Лазоренко 1_3.pdf
Розмір файлу без підпису: 208.0 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: Лазоренко Олег Валерійович
П.І.Б.: Лазоренко Олег Валерійович
Країна: Україна
РНОКПП: 2569813771
Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 11:00:49
14.08.2026
Сертифікат виданий: КНЕДП ДПС
Серійний номер: 3FAA9288358EC003040000005FA53C00D864E900
Алгоритм підпису: ДСТУ 4145
Тип підпису: Удосконалений
Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)
Формат підпису: З повними даними для перевірки (XAdES-B-LT)
Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2026.07.08 13:00

Голові разової
спеціалізованої вченої ради
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна
професору Володимиру ПОЙДІ
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, доцента кафедри теоретичної фізики Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, кандидата фізико-математичних наук, доцента Єзерської Олени Володимирівни на дисертаційну роботу Коробкова М.В. «Електротранспорт в ВТНП – купратах системи YPrBCO в умовах екстремальних зовнішніх впливів», на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» в галузі знань 10 «Природничі науки».

1. Обґрунтування вибору теми дослідження

У зв'язку з відсутністю повної мікроскопічної моделі фізичних явищ у ВТНП-матеріалах, дослідження цих сполук з використанням екстремальних зовнішніх факторів, таких як температура, високий тиск, радіаційне опромінення, не втрачають своєї актуальності. Тому дисертаційна робота Коробкова М.В., в якій були досліджені електротранспортні властивості та динаміка магнітного потоку в ВТНП-сполуках системи $\text{Y}_{1-z}\text{Pr}_z\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ із заданою морфологією дефектного ансамблю під дією екстремальних зовнішніх чинників (низької температури, гідростатичного тиску, магнітного поля), є доцільною та знаходиться у руслі сучасної науки.

Слід зазначити, що дослідження провідності ВТНП-сполук у нормальному стані є одним з основних та прямих джерел інформації про динаміку носіїв заряду, структурних та фазових станах системи. Цікавість до подібних досліджень залишається незмінно високою, оскільки вважається, що такі явища, як перехід метал-ізолятор, некогерентний електротранспорт, флуктуаційна провідність є, разом з псевдоцілинним станом, ключем до розуміння природи ВТНП, яка на цей час є центральною невирішеною проблемою фізики твердого тіла. Таким чином, предмет дослідження, а також результати рецензованої дисертаційної роботи безсумнівно актуальні.

Особливо можна підкреслити, важливість отриманих результатів, що стосуються вивчення впливу легування ізовалентними та неізовалентними домішками і високого тиску на властивості ВТНП-сполук в плані їх

практичного застосування. Дослідження проводилися в рамках виконання держбюджетних НДР за програмами Міністерства освіти і науки України, перерахованих в дисертації, що також підтверджує актуальність розв'язаного в дисертаційній роботі наукового завдання.

Наукові праці за темою дисертації опубліковані в рецензованих відомих фізичних журналах та пройшли апробацію на науковій конференції міжнародного рівня.

Оскільки предметом вивчення були температурні особливості електроопору сполук $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ і $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ в основному в нормальному (не надпровідному) стані і при цьому значна частина роботи присвячена аналізу експериментальних даних в рамках моделей різних механізмів переносу заряду, відповідність роботи Коробкова М.В. спеціальності 104 «Фізика та астрономія» в галузі знань 10 «Природничі науки» не викликає сумнівів.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення

Структура дисертаційної роботи стандартна. Вона складається зі вступу, п'яти розділів та списку використаної літератури.

Вступ містить обґрунтування актуальності теми дисертації, мету і завдання досліджень. Відображена новизна результатів та їх практичне значення. Містяться також потрібні відомості про творчий внесок дисертанта та апробацію праці.

Розділ 1 – огляд наявних літературних даних – у ньому відібрано те головне, що автор вважав за потрібне, з величезного потоку інформації, з яким стикаються дослідники, що працюють в цій галузі. Зокрема, надано опис кристалічної структури сполук $YBaCuO$ з різним значенням кисневого індексу, розглянуто вплив різних видів структурних дефектів та домішок на електротransпортні властивості цих сполук. Наведено короткий огляд основних сучасних теоретичних моделей, що описують механізми формування флуктуаційної та псевдощільної аномалій в ВТНП-сполуках. Досить докладно проаналізовані роботи, присвячені вивченню впливу пінінгу і динаміки магнітного потоку. Ґрунтуючись на наявних даних, автором сформульоване наукове завдання, розв'язання якого є метою дисертації, визначені об'єкт та предмет досліджень, виконаних в дисертації.

Оригінальна складова дисертації викладена в наступних чотирьох змістовних розділах.

Розділ 2 дисертації носить, в основному, методологічний характер. У ньому розглядається технологія вирощування ВТНП-монокристалів системи 1-2-3, методика отримання монокристалічних зразків високого ступеня досконалості та зразків з різним ступенем відхилення від стехіометрії, а також

легованих різними елементами, зокрема празеодимом. Описано технологію синтезу монокристалічних зразків сполуки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, які були леговані празеодимом. Також в цьому розділі подані схематичні описи експериментальних установок та пристроїв, що використовувалися при проведенні вимірювань, а також наведені основні метрологічні характеристики приладів і обладнання, яке використовувалося в процесі експериментальних досліджень.

У третьому розділі «**Анізотропія провідності і перехід метал-ізолятор монокристалів $\text{Y}_{1-z}\text{Pr}_z\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ з різним вмістом празеодиму**» обговорюються експериментальні дані, отримані при дослідженнях присвячених вивченню впливу домішок празеодиму на еволюцію некогерентного переносу заряду і анізотропію електричного опору $\rho_c(T)/\rho_{ab}(T)$ ВТНП-сполук з стехіометричною формулою $\text{Y}_{1-z}\text{Pr}_z\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Вплив домішок Pr на анізотропію провідності в цій системі має важливе значення як для прояснення природи високотемпературної надпровідності (ВТНП), так і для підвищення її критичних параметрів..

Незважаючи на те, що питання пов'язані з некогерентним транспортом в ВТНП-сполуках різного роду вивчаються протягом багатьох десятиліть, інтерес до них періодично повертається в зв'язку з відкриттям нових надпровідних матеріалів, в яких структура може визначати незвичайні властивості і динаміку переносу заряду вздовж і поперек базисної площини. У свою чергу вміння керувати процесами електропереносу важливе для збільшення струмонесучої здатності надпровідників у сильноточній енергетиці та для впливу на резистивний стан у надпровідниковій електроніці.

У першій частині розділу розглядаються анізотропія електричного опору $\rho_c(T)/\rho_{ab}(T)$ високотемпературних надпровідників $\text{Y}_{1-z}\text{Pr}_z\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Такий вибір об'єкта досліджень обумовлений тим фактом, що автори мають відпрацьовану технологію вирощування унікальних високотемпературних монокристалів з відносно великими розмірами, які дозволяють нанести низькоомні контакти для вимірювання електроопору у відповідній геометрії експерименту. При цьому вплив домішок Pr на анізотропію провідності в цій системі має важливе значення як для прояснення природи високотемпературної надпровідності (ВТНП), так і для підвищення її критичних параметрів. Зроблено висновок щодо того, що поперечна провідність зразка є стрибковою зі змінною довжиною стрибка, і анізотропія опору добре описується універсальним «законом $1/2$ ». Вперше зареєстровано переходом Фріделя у такий ВТНП-системі, який полягає в пригніченні

поперечної надпровідності шляхом допомогою розростання кільцевих джозефсонівських вихорів у шаруватому надпровіднику.

У другій частині розділу встановлено, що, індукована празеодимом кластеризація зразка, може ініціювати перехід метал-діелектрик «андерсонівського» типу. Криві $\rho_{ab}(T)$ та $\rho_c(T)$ можна зробити апроксимованими у всьому інтервалі температур, враховуючи металеву, напівпровідникову та флуктуаційну провідності. Це дає можливість визначити температурні залежності анізотропії механізмів розсіювання носіїв заряду при різних z . Збільшення z викликає перехід метал-діелектрик, який завжди передує надпровідному переходу, та зменшення температури переходу. Відмінність механізмів провідності вздовж і впоперек шарів підкреслює відмінність ВТНП купратів від фермі-рідинних металів.

У розділі 4 «Розсіювання носіїв заряду на фонах та флуктуаційна електропровідність $Y_{0.66}Pr_{0.34}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ під тиском» наведено результати досліджень впливу високого гідростатичного тиску до 14 kbar на провідність у базисній ab -площині середньо допованих празеодимом ($x \approx 0,34$) монокристалів $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. Показано, що, на відміну від чистих зразків $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, з оптимальним вмістом кисню, прикладання високого тиску сприяє покращенню структурних характеристик монокристалів $Y_{0.66}Pr_{0.34}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$. Встановлено, що в нормальному стані провідність є металевою та обмежується розсіюванням на фонах (режим Блоха-Грюнайна) та дефектах. Гідростатичний тиск приводить до зменшення залишкового та фонного опорів. Температура Дебая та довжина когерентності не залежать від тиску. Показано, що при температурах оддалік від критичної надлишкова провідність $\Delta\sigma(T)$ підлягає експоненціальній температурній залежності в широкому діапазоні температур $T_f < T < T^*$, а температурна залежність псевдощільни задовільно описується в межах теорії переходу БКШ-БЕК.

Розділ 5 «Паракогерентний перехід у допованих титаном ВТНП-сполуках $YBaCuO$ » присвячений вивченню впливу домішок титану на магнітоопір в $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ кераміках в області переходу в надпровідний стан у постійному магнітному полі до 7 Т.

Опромінення електронами ВТНП сполук дає можливість, без зміни складу зразків, створювати в них дефекти різної концентрації та морфології. Створення ансамблю дефектів заданої концентрації та природи відкриває можливості керування, зокрема, електротransпортними властивостями зразка як у нормальному, так і в надпровідному станах. Дослідження впливу опромінення електронами певних енергій на електричний опір системи Y - Ba -

Cu-O у широкому інтервалі температур від надпровідного переходу до кімнатних може дати важливу інформацію про взаємодію носіїв заряду з фононною та дефектною підсистемами, що необхідно для цілеспрямованого впливу на властивості матеріалу. Враховуючи перспективу використання високотемпературних надпровідників у якості надчутливих датчиків та ліній передачі електричного струму з малими втратами енергії, що працюють в інтервалі температур кипіння рідкого азоту, створення так званої «керованої» дефектної структури у надпровіднику має значне фундаментальне та практичне значення.

Встановлено, що безпосередньо поблизу T_c ФП задовільно описується тривимірною моделлю Асламазова–Ларкіна для надпровідних шаруватих систем. Прикладання постійного магнітного поля до зразків $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ з домішкою титану, на відміну від аналогічних, бездомішкових зразків, приводить до розмиття додаткового паракогерентного переходу на температурних залежностях надлишкової провідності в базисній аб-площині в області резистивних переходів в надпровідний стан. Це може бути наслідком впливу об'ємного пінінгу, зумовленого наявністю в структурі експериментального зразка фазових включень, які формуються при внесенні домішки титану. Внаслідок цього, при температурах нижче критичної $T < T_c$, відбувається пригнічення динамічного фазового переходу виду вихорова рідина – вихорова решітка та формування в системі переходу виду вихорова рідина – вихорове «бреггівське» скло.

У дисертації Коробкова М.В. використаний широкий спектр об'єктів дослідження різної морфології дефектної структури і досить широкий набір експериментальних методів, при цьому робота достатньо логічна, написана доброю науковою мовою, а отримані дані не викликають сумнівів.

3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами
Дисертаційна робота Коробкова М.В. відповідає напрямку наукових досліджень, які проводяться на кафедрі низьких температур фізичного факультету Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна.

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

Достовірність наукових результатів, які були одержані Коробкова М.В. при проведенні досліджень за темою дисертаційної роботи, забезпечена тим, що вони отримані із застосуванням надійних методів експериментальних та обчислювальних методів. Обґрунтованість наукових висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Коробкова М.В., забезпечується тим, що їх тлумачення було проведене на основі існуючих сучасних фундаментальних теоретичних уявлень щодо високотемпературної надпровідності.

5. Основні наукові результати, одержані автором та їх новизна

Оцінюючи наукове значення і новизну дисертації, виділю наступні її результати, отримані вперше, і як на мене, важливі для просування вперед у розумінні незвичайної фізики ВТНП-купратів та мають практичне значення:

1. На першому місці стоїть виявлення ролі анізотропії структурних характеристик у реалізації процесів переносу заряду і виникнення некогерентного електротранспорту уперек базисної площини. Результат без сумніву має велике практичне значення.

2. Для подальшого розвитку уявлень про механізми розсіювання носіїв заряду і їх впливу на надпровідні властивості цих речовин велике значення мають висновки про можливість підвищення критичних параметрів і провідних характеристик системи під дією високого гідростатичного тиску.

3. Результати, що були отримані при вивченні впливу допування титаном на **спінінг** і динаміку магнітного потоку та магніторезистивні властивості сполуки YBaCuO в широкому інтервалі температур дозволяють оцінити ряд фундаментальних величин, таких як критична температура, довжина когерентності, величина псевдощільності, що разом з результатами структурного аналізу дають важливу інформацію для розуміння таких явищ як псевдощільний стан і флуктуаційна провідність, які є, вірогідно, ключем до розуміння природи ВТНП. Крім цього, експериментальні дані п'ятого розділу окреслюють емпіричні шляхи підвищення технологічних характеристик ВТНП-сполук системи 1-2-3, що, безсумнівно, має велике практичне значення.

6. Практичне значення одержаних результатів

Одержані результати мають значний теоретичний й експериментальний потенціал, оскільки може стати основою для подальших теоретичних пошуків.

7. Дотримання академічної доброчесності

Проаналізувавши текст дисертаційної роботи Коробкова М.В., наукових праць та Протоколу контролю оригінальності (перевірку наявності текстових запозичень виконано в антиплагіатній інтернет-системі Strikeplagiarism.com), можна впевнено стверджувати, що дисертаційна робота виконана самостійно, текст дисертації не містить плагіату, а дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності.

8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації

У той же час, слід зазначити, що робота не позбавлена деяких недоліків, а саме:

1. Дослідження впливу дефектів різної морфології на пінінг вихорів монокристалів YBaCuO проведено не повно. Безумовний інтерес мало би визначення магніторезистивних характеристик у монокристалічних кристалах. Це дало би змогу отримати важливу інформацію про вплив власного пінінгу і пінінгу на кластерах кисневих вакансій. Очевидно, що зміна фізичних

характеристик залежить і від технології отримання вихідних монокристалів. На жаль у дисертації є обмаль інформації та порівнянь з результатами, одержаними іншими авторами.

2. У результатах експериментів з вивчення впливу високого тиску і домішок празеодиму на резистивні властивості в нормальному стані і пригнічення надпровідних характеристик сполуки $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, на мій погляд, не вистачає даних щодо впливу максимальних концентрацій празеодиму, безпосередньо поблизу переходу метал-ізолятор.

3. Рисунок 3.1 (а, б) і вставки до них краще було б показати кожен на окремому полі.

Проте зазначені недоліки та зауваження не мають вирішального значення і не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

Таким чином, дисертаційна робота Коробкова М.В. є завершеним науковим дослідженням в області фізики надпровідності та електропровідності твердого тіла. Отримані в ній результати нові та принципово важливі для розуміння природи надпровідності в ВТНП-купратах.

9. Загальні висновки щодо дисертаційної роботи

Вважаю, що дисертація «Електротранспорт в ВТНП – купратах системи $YPrBCO$ в умовах екстремальних зовнішніх впливів» за своєю актуальністю, об'ємом проведених досліджень, ступенем новизни, науковим та практичним значенням одержаних результатів, відповідає спеціальності 104 «Фізика та астрономія» галузі знань 10 «Природничі науки» та вимогам, передбаченим наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44). Враховуючи все зазначене, вважаю, що Коробков М.В. заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Офіційний рецензент,
кандидат фізико-математичних наук,
доцент, доцент кафедри
теоретичної фізики імені І.М. Ліфшиця
Харківського національного
університету імені В.Н. Каразіна

Олена ЄЗЕРСЬКА

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 15:56:46 04.08.2026

Назва файлу з підписом: !Відгук офіційного рецензента ЄзерськаОВ_КЕП.pdf.asice
Розмір файлу з підписом: 243.3 КБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: !Відгук офіційного рецензента ЄзерськаОВ_КЕП.pdf
Розмір файлу без підпису: 251.4 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: ЄЗЕРСЬКА ОЛЕНА ВОЛОДИМИРІВНА

П.І.Б.: ЄЗЕРСЬКА ОЛЕНА ВОЛОДИМИРІВНА

Країна: Україна

РНОКПП: 2094401446

Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 15:56:44
04.08.2026

Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"

Серійний номер: 5E984D526F82F38F04000000FACF22019B1ED407

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Удосконалений

Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)

Формат підпису: З повними даними для перевірки (XAdES-B-LT)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2026.07.08 13:00

Голові разової
спеціалізованої вченої ради
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна
професору Володимиру ПОЙДІ
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

Відгук

офіційного опонента, наукового співробітника відділу фізики реальних кристалів Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна Національної академії наук України, кандидата фізико-математичних наук, Гейдарова Вусала Гейдар огли на дисертаційну роботу Коробкова М.В. «Електротранспорт в ВТНП – купратах системи YPrBCO в умовах екстремальних зовнішніх впливів», на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» в галузі знань 10 «Природничі науки».

Обґрунтування актуальності теми дослідження.

Дисертація присвячена дослідженням магніторезистивних характеристик в умовах дії екстремальних зовнішніх чинників ВТНП сполук системи 1-2-3, що містять контрольовані центри пінінгу та мають високу досконалість. В якості таких об'єктів в цій роботі були вибрані монокристали та керамічні зразки системи $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, що містять контрольовані дефекти, зокрема, монокристали, що містять односпрямовані границі двійників та зразки, леговані титаном і празеодимом. Робота вирізняється оригінальним підходом до постановки експерименту з вивчення локальних властивостей кристалів і керамічних зразків, ретельною та продуманою спрямованістю вимірювальних методів на фізичний результат, що має прикладне значення.

Найважливішою проблемою досліджень високотемпературних надпровідників (ВТНП) є з'ясування механізмів розсіювання носіїв заряду в цих ВТНП-сполуках, що мають надзвичайно складну електронну структуру, квазідвовимірність якої пов'язана з сильними зарядовими та спіновими кореляціями. Як наразі стало очевидним, подальше просування в розумінні фізики надпровідності у ВТНП може бути досягнуте завдяки вивченню їх

властивостей в нормальному стані при температурах вище критичної температури надпровідного переходу (T_c).

Особлива АКТУАЛЬНІСТЬ теми дисертаційної роботи Коробкова М.В. "Електротранспорт в ВТНП – купратах системи $YPrBCO$ в умовах екстремальних зовнішніх впливів" обумовлена тим, що в області температур вище T_c , ВТНП-система переходить в новий незвичайний стан. Цей стан отримав назву «псевдощілинна аномалія» або псевдощілина (ПЩ), яка спостерігається в недолегованих ВТНП нижче температури ПЩ — $T^* \sim 200 \text{ K} \gg T_c$. Відповідними вимірюваннями було показано, що нижче T^* у таких сполуках спостерігається часткове зменшення густини електронних станів на рівні Фермі, що, за визначенням, і називається псевдощілиною. Однак питання про фізичну природу цього явища, а також про суть такого фундаментального явища, як надпровідне спаровування з критичною температурою надпровідного переходу $T_c \sim 100 \text{ K}$, як докладно зазначено у **Вступі** до дисертації, досі залишається відкритим. Дисертація присвячена встановленню закономірностей реалізації низькотемпературних фазових переходів, а також взаємовпливу флуктуаційної та псевдощілинної аномалій, локалізації носіїв при наявності структурної анізотропії та заданої топології дефектів кристалічної ґратки в сполуках системи 1-2-3 $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ із різним вмістом празеодиму, а також при допуванні керамічних зразків $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ титаном.

Дослідження, проведені у дисертаційній роботі, дають можливість значно просунутися в розумінні згаданих вище питань, що визначає їх **безперечну актуальність**.

Робота виконана відповідно до планів науково-дослідних робіт за програмами Міністерства освіти і науки України, перелічених у дисертації, що також підкреслює **актуальність розв’язаного в роботі наукового завдання**. Матеріали за темою дисертації опубліковані в авторитетних міжнародних рецензованих наукових журналах та у вітчизняному фаховому науковому журналі категорії Б і представлені для широкого обговорення на міжнародній науковій конференції відповідної тематики.

Відповідність обраній спеціальності.

Предметом дослідження в дисертаційній роботі були процеси електропереносу і механізми розсіювання носіїв струму в сполуках $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ в умовах дії зовнішніх чинників. З огляду на це, відповідність роботи Коробкова М.В. спеціальності 104 «Фізика та астрономія» не викликає сумнівів.

Мета дисертаційної роботи Коробкова М.В. – розв'язання актуального наукового завдання, яке полягає у встановленні впливу експериментальних зовнішніх чинників на процеси переносу заряду та розсіювання його носіїв у ВТНП – сполуках сімейства $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ та $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ у широкому інтервалі температур, магнітних полів і високих тисків; вивчення розподілу дефектів мікроструктури, а також встановлення фізичних особливостей і механізмів релаксації цих дефектів. Цю мету можна вважати досягнутою в рамках поставлених і розв'язаних у роботі завдань, а саме:

- Отримано монокристали високого ступеня досконалості та керамічні зразки системи 1-2-3 із заданою морфологією дефектної структури, а також зразки, леговані титаном.
- Створено методику транспортних вимірювань на малих зразках при високій густині струму.
- Виміряно температурні, баричні та орієнтаційні залежності електроопору і параметрів резистивного стану в монокристалах $YPrBCO$.
- Досліджено динаміку магнітного потоку на основі аналізу магнітоопору в керамічних зразках $YBCO$ з домішками титану.
- Розділено внесок дефектів різної вимірності та морфології – вакансій, двійникових меж, домішкових дефектів, а також структурної анізотропії в процеси розсіювання носіїв транспортного струму.
- Досліджено вплив високого тиску на електротransпортні характеристики і надлишкову провідність в монокристалічних зразках $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$.
- Вивчено вплив домішок титану на перехід порядок-безпорядок керамічної сполуки $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$.

Обґрунтованість і достовірність результатів.

Результати дисертаційної роботи отримані з використанням сучасних експериментальних методів досліджень, що характеризуються високою надійністю та обґрунтованістю. Вони багаторазово підтверджувалися в ході порівняльних вимірювань, проведених на різних експериментальних установках та з використанням різних зразків. У тій галузі досліджень, яка перетинається з напрямками роботи інших наукових груп, отримані результати добре узгоджуються з даними, відомими з наукової літератури.

Наукова новизна отриманих результатів.

Серед пріоритетних нових наукових результатів, отриманих М.В. Коробковим вперше, можна виокремити такі:

1. Встановлено, що збільшення ступеня допування празеодимом у зразках $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ приводить до посилення ефектів локалізації та реалізації в системі переходу виду метал-діелектрик, який завжди передуює надпровідному переходу. При цьому збільшення концентрації празеодиму приводить до істотного зміщення точки переходу T_{md} в область більш низьких температур, що, вірогідно, пов'язано зі збільшенням частки напівпровідникового внеску в провідність експериментальних зразків. Температурна залежність анізотропії електроопору $\rho_c/\rho_{ab}(T)$, на відміну від $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, добре описується за допомогою універсального «закону $1/2$ » для термоактиваційної стрибкової провідності.
2. Показано, що експериментальна температурна залежність електричного опору монокристалічного ВТНП $Y_{0.66}Pr_{0.34}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ у нормальному стані (та отримана з неї похідна $d\rho(T)/dT$ повністю відповідають моделі розсіювання носіїв заряду на фононах та домішках (модель Блоха-Грюнайзена) в інтервалі гідростатичних тисків 0–1 ГПа. Флуктуаційна провідність, отримана як різниця між експериментальними значеннями та екстрапольованими за допомогою моделі Блоха-Грюнайзена величинами, з хорошою точністю описується моделлю Лоуренса-Доніаха з урахуванням неоднорідності зразка.

3. Встановлено, що прикладання постійного магнітного поля до зразків $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ з домішкою титану, на відміну від аналогічних, бездомішкових зразків, приводить до розмиття додаткового паракогерентного переходу на температурних залежностях надлишкової провідності в базисній ab -площині в області резистивних переходів в надпровідний стан. Це може бути наслідком впливу об'ємного пінінгу, зумовленого наявністю в структурі експериментального зразка фазових включень, які формуються при внесенні домішки титану. Внаслідок цього, при температурах нижче критичної $T < T_c$, відбувається пригнічення динамічного фазового переходу виду вихрова рідина – вихрова решітка та формування в системі переходу виду вихрова рідина – вихрове "бреггівське" скло. Безпосередньо поблизу T_c ФП задовільно описується тривимірною моделлю Асламазова-Ларкіна для надпровідних шаруватих систем.

Повнота висвітлення результатів дисертації в роботах здобувача.

Дисертація викладена на 159 сторінках, включаючи список використаних джерел, що налічує 210 посилань. Назва роботи повністю відповідає її змісту та адекватно відображає поставлені в ній завдання та розглянуті наукові питання.

Результати дисертаційної роботи Коробкова М.В. з достатньою повнотою висвітлені в 7 наукових статтях, опублікованих у міжнародних виданнях, що рецензуються та у вітчизняному фаховому науковому журналі категорії Б. Окремі результати також доповідалися на міжнародній конференції, отримали належне апробування та відомі фахівцям у галузі фізики твердого тіла. Дисертація написана хорошою, зрозумілою науковою мовою та оформлена відповідно до встановлених вимог.

Практичне значення роботи полягає в тому, що вони можуть бути використані для прогнозування струмонесучої здатності ВТНП матеріалів у магнітному полі при зміні концентрації точкових та плоских дефектів, а також при зміні напрямку магнітного поля відносно площини двовимірних дефектів. Результати досліджень впливу допування титаном на динаміку магнітного потоку та резистивні характеристики текстурованих зразків можуть бути

використані при створенні постійних магнітів або акумуляторів енергії на основі ВТНП-сполук. Ряд отриманих результатів може бути використаний при читанні спецкурсів для бакалаврів та магістрів фізичних спеціальностей. Отримані результати можуть бути корисними при розробці нових функціональних матеріалів із заданими властивостями.

Зауваження та недоліки.

Щодо змісту дисертаційної роботи Коробкова М.В. маються такі зауваження:

1. У четвертому розділі, при обговоренні вірогідних механізмів зміни T_c під тиском, згадується можливість зміни електрон-фононної взаємодії. Проте, в умовах відсутності мікроскопічної теорії ВТНП не зовсім коректно в даному випадку говорити про будь який конкретний механізм взаємодії носіїв заряду.
2. Вивчення процесу перерозподілу заряду безпосередньо поблизу переходу надпровідник-діелектрик і вимірювання баричних залежностей ефекту Хола в зразках з різним вмістом празеодиму, безсумнівно, суттєво доповнило б роботу.
3. Не зовсім вдалою і громіздкою представляється назва підрозділу 3.3.2.

Проте зазначені недоліки не мають принципового характеру і жодним чином не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

Висновок.

Дисертаційна робота Коробкова М.В. є завершеним науковим дослідженням, яке містить нові фундаментальні знання щодо динаміки нормальних носіїв заряду у високотемпературних надпровідниках. Отримані результати мають суттєве наукове значення для фізики твердого, фізики низьких температур і фізики надпровідності та їх прикладних аспектів.

На підставі викладеного вважаю, що дисертаційна робота **Коробкова М.В. «Електротранспорт в ВТНП – купратах системи $YPrBCO$ в умовах екстремальних зовнішніх впливів»** повністю відповідає спеціальності **104 – Фізика та астрономія** та всім вимогам, передбаченим наказом Міністерства

освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44), а її **автор заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.**

Офіційний опонент:

науковий співробітник

Фізико-технічного інституту низьких

температур імені Б. І. Веркіна НАН України,

кандидат фізико-математичних наук

Вусал ГЕЙДАРОВ

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 13:29:58 14.08.2026

Назва файлу з підписом: Відгук_опонента_Гейдарова_Вусала.pdf.asice
Розмір файлу з підписом: 217.7 КБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: Відгук_опонента_Гейдарова_Вусала.pdf
Розмір файлу без підпису: 220.1 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: Гейдаров Вусал Гейдар огли

П.І.Б.: Гейдаров Вусал Гейдар огли

Країна: Україна

РНОКПП: 3253704759

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 13:29:37 14.08.2026

Сертифікат виданий: "Дія". Кваліфікований надавач електронних довірчих послуг

Серійний номер: 514B5C86A1E5DA11040000009B9D2F00D92DC105

Тип носія особистого ключа: ЗНКІ криптомодуль ІІТ Гряда-301

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Кваліфікований

Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)

Формат підпису: З повними даними для перевірки (XAdES-B-LT)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2026.07.08 13:00

Голові разової
спеціалізованої вченої ради
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна
професору Володимиру ПОЙДІ
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

ВІДГУК

офіційного опонента, старшого наукового співробітника ННЦ ХФТІ НАНУ, доктора фізико-математичних наук, старшого наукового співробітника Сухаревої Тетяни Віталіївни на дисертаційну роботу Коробкова М.В. «Електротранспорт в ВТНП – купратах системи YBaCuO в умовах екстремальних зовнішніх впливів», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» в галузі знань 10 «Природничі науки».

Метою дисертаційної роботи Максима Володимировича Коробкова є – «розв'язання актуального наукового завдання, яке полягає у встановленні впливу екстремальних зовнішніх чинників на процеси переносу заряду та розсіювання його носіїв у ВТНП – сполуках сімейства $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ та $\text{Y}_{1-z}\text{Pr}_z\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ у широкому інтервалі температур, магнітних полів і високих тисків; вивчення розподілу дефектів мікроструктури, а також встановлення фізичних особливостей і механізмів релаксації цих дефектів» (стор. 29 дисертації).

Вже формулювання мети роботи М.В. Коробкова свідчить про актуальність дисертаційної роботи. Дійсно, фактично в роботі йдеться про два найважливіші аспекти проблеми високотемпературної надпровідності:

- Розширення існуючих уявлень про можливу природу та механізми прояву цього унікального явища.
- Пошук емпіричних шляхів підвищення критичних параметрів ВТНП шляхом модифікації хімічного складу, кристалічної та дефектної

структури в умовах докладання екстремальних зовнішніх чинників (низької температури, магнітного поля і високого тиску).

Про актуальність дисертаційної роботи свідчить також та важлива обставина, що робота виконувалася в рамках низки тем НДР за програмами МОН України. Робота виконана на кафедрі фізики низьких температур Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Результати, представлені в дисертаційній роботі, були отримані під час проведення досліджень у рамках проектів Міністерства освіти України та ДФФД України: «Комплексні фізичні дослідження природи надпровідного стану в шаруватих системах з різним спектром квазічастинкових збуджень» - № ДР 0104U0092/96; «Створення Джозефсонівських зв'язків та ефективного пінінгу на двійниках у монокристалах YBaCuO » - N ДР 0106U003111. Здобувач брав участь у виконанні даних НДР як виконавець – аспірант кафедри.

Для досягнення мети роботи розроблено та реалізовано програму досліджень, що включає розв'язання таких завдань:

1. Отримати монокристали високого ступеня досконалості та керамічні зразки системи 1-2-3 із заданою морфологією дефектної структури, а також зразки леговані титаном.
2. Створити методику транспортних вимірювань на малих зразках при високій густині струму.
3. Виміряти температурні, баричні та орієнтаційні залежності електроопору та параметрів резистивного стану у монокристалах YPrBCO .
4. Дослідити динаміку магнітного потоку на основі аналізу магнітоопору в керамічних зразках YBCO з домішками титану.
5. Розділити внесок дефектів різної вимірності та морфології – вакансій, двійникових меж, домішкових дефектів, а також

структурної анізотропії в процесі розсіювання носіїв транспортного струму.

6. Дослідити вплив високого тиску на електротransпортні характеристики і надлишкову провідність в монокристалічних зразках $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$.
7. Вивчити вплив домішок титану на перехід порядок-безпорядок керамічної сполуки $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$.

Свою основну роль як офіційного опонента я бачу у встановленні на підставі ознайомлення з дисертацією та опублікованими науковими працями Коробкова М.В. того, що мету роботи досягнуто, а поставлені завдання успішно вирішено. Для цього необхідно розглянути структуру дисертаційної роботи та, звісно, новизну і достовірність, а також цінність для сучасної фізики основних отриманих у роботі результатів.

Структура дисертації М.В. Коробкова така. Робота складається з анотації, списку умовних позначень і скорочень, вступу, п'яти розділів, Висновків і бібліографічного списку, що включає 210 назв.

Анотація і Вступ написані в повній відповідності з вимогами МОН України, що пред'являються до даних розділів кандидатських дисертацій.

У Розділі 1 **«Особливості структури, електротransпорту та динаміки магнітного потоку у ВТНП-сполуках системи 1-2-3»** проведена систематизація наявних літературних джерел про структуру та основні фізичні властивості сполук $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ та $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ з різними ступенем допування празеодимом.

Розділ містить загальну інформацію про особливості структури, електротransпорту та динаміки магнітного потоку у ВТНП-сполуках системи 1-2-3. Наведено дані про кристалічну структуру та особливості дефектного ансамблю таких сполук, проведено стислий аналіз наявних теоретичних та експериментальних результатів, отриманих при

дослідженнях електротранспорту, впливу високого тиску, пінінгу та динаміки магнітного потоку у ВТНП-сполуках системи 1-2-3. Виділено основні питання, що ще не знайшли свого теоретичного та експериментального вирішення. Проведено постановку задач для досліджень.

Огляд написаний досить кваліфіковано. Насамперед це стосується викладу питань, пов'язаних із псевдоцілинним станом та флуктуаційною парепровідністю у ВТНП при $T > T_c$, а також із впливом зовнішніх чинників на магніторезистивні характеристики таких систем.

У розділі проаналізовано наявні експериментальні та теоретичні дані з цього питання. Підкреслено обмеженість і суперечливість даних, присвячених саме питанням впливу екстремальних зовнішніх чинників.

Розділ 2 “Експериментальна техніка та методики досліджень”. Методичні досягнення здобувача полягають у розвитку технології одержання монокристалів ВТНП різного складу з регульованими дефектами та створенні осередку, що дає змогу змінювати взаємну орієнтацію **H** і базисної площини *ab* зразків. Розглянуті також методики отримання високого тиску і використання низькотемпературного устаткування.

Я вважаю, що матеріал Розділу 2, який стосується синтезу монокристалів різного складу і дефектності, заслуговує винесення на табло найважливіших результатів роботи Максима Володимировича Коробкова.

Розділ 3 «Анізотропія провідності і перехід метал-ізолятор монокристалів $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ з різним вмістом празеодиму» присвячений вивченню впливу празеодиму на анізотропію електричного опору $\rho_c(T)/\rho_{ab}(T)$ високотемпературних надпровідників $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. Вплив домішок Pr на анізотропію провідності в цій системі має важливе

значення як для прояснення природи високотемпературної надпровідності (ВТНП), так і для підвищення її критичних параметрів.

У Розділі 3 наведено експериментальні дані щодо температурних залежностей електроопору вздовж і впоперек базисної площини, досліджено вплив підвищення вмісту празеодиму на електротransпортні властивості. Експериментально виявлені розбіжності в критичних температурах, T_c , вздовж та впоперек базисної площини. Отримані експериментальні дані проаналізовані в рамках існуючих моделей і уявлень, щодо природи та механізмів процесів, що впливають на анізотропію електричного опору високотемпературних надпровідників $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ при збільшенні вмісту празеодиму. Досягнуто висновків, що збільшення празеодиму викликає перехід метал-діелектрик, який передуює надпровідному переходу, та зменшенню температури переходу. Відмінність механізмів провідності вздовж і впоперек шарів підкреслює відмінність ВТНП купратів від фермі-рідинних металів.

У Розділі 4 **«Розсіювання носіїв заряду на фононах та флуктуаційна електропровідність $Y_{0.66}Pr_{0.34}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ під тиском»** наведено результати експериментальних досліджень впливу високого гідростатичного тиску на провідність у базисній ab -площині середньо допованих празеодимом ($z \approx 0,34$) монокристалів $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-\delta}$.

У четвертому Розділі обговорюються можливі механізми впливу допування празеодимом та високого тиску на нормальну і надлишкову провідність, а також механізми розсіювання нормальних і флуктуаційних носіїв. Застосування добре обґрунтованої і розвиненої в статтях[166–173] схеми обчислення значень флуктуаційної провідності та, за певних умов, формули Мак-Міллана, дала можливість здобувачеві отримати параметри, що характеризують як розсіювання носіїв заряду на фононах та дефектах, так і характеристики флуктуаційної провідності. Отримані температурні залежності електричного опору монокристалічного ВТНП

$\text{Y}_{0.66}\text{Pr}_{0.34}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ у нормальному стані ($T^* \leq T \leq 300$ K) при різних величинах гідростатичного тиску ($0 \leq P \leq 1$ GPa) були апроксимовані моделлю розсіювання носіїв заряду на фононах (модель Блоха-Грюнайзена) та дефектах. Аналіз отриманих в роботі даних в рамках існуючих моделей створив можливість дійти до висновку про те, що флуктуаційна провідність отримана як різниця між експериментальними значеннями опору та екстрапольованими за допомогою моделі Блоха-Грюнайзена величинами, із хорошою точністю описується моделлю Лоуренса-Доніаха з урахуванням неоднорідності зразка. Еволюція флуктуаційної провідності, що викликана тиском, у легованих Pr монокристалах $\text{Y}_{1-z}\text{Pr}_z\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, на думку здобувача, визначається двома процесами: загальною «трюхмеризацією» системи внаслідок зміни співвідношення між довжиною когерентності, ξ_c , та міжшаровою відстанню, d , а також зсувом рівня Фермі відносно особливостей густини станів. На відміну від зразків YBCO без домішок та слабо легованих Pr, застосування високого тиску приводить до суттєвого збільшення похідних тиску dT_c/dP та $d\xi_c/dP$.

З моєї точки зору зміст цього розділу значно ширший, ніж його назва.

5 Розділ «Паракогерентний перехід у допованих титаном ВТНП-сполуках YBaCuO» принципово відрізняється від попередніх Розділів 3 й 4 за характером досліджуваних зразків та методологічними аспектами досліджень. Відмінності ці полягають у наступному: об'єкти дослідження мають гранулярну (керамічну) структуру; як правило, об'єкти не є однофазними; крім вивчення явища надлишкової провідності при $T > T_c$ проведені виміри електроопору в сильних магнітних полях тощо.

Досліджено вплив домішок титану на магнітоопір в $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ кераміках в області переходу в надпровідний стан у постійному магнітному полі до 7 Т. Встановлено, що безпосередньо поблизу T_c

фазовий перехід задовільно описується тривимірною моделлю Асламазова-Ларкіна для надпровідних шаруватих систем. Прикладання постійного магнітного поля до зразків $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ з домішкою титану, на відміну від аналогічних, бездомішкових зразків, приводить, на думку здобувача, до розмиття додаткового паракогерентного переходу на температурних залежностях надлишкової провідності в базисній ab -площині в області резистивних переходів в надпровідний стан. Це, як вважає здобувач, може бути наслідком впливу об'ємного пінінгу, зумовленого наявністю в структурі експериментального зразка фазових включень, які формуються при внесенні домішки титану. Внаслідок цього, при температурах нижче критичної $T < T_c$, відбувається пригнічення динамічного фазового переходу виду вихорова рідина – вихорова решітка та формування в системі переходу виду вихорова рідина – вихорове "бреггівське" скло.

Найвищої оцінки, на мій погляд, заслуговують результати вивчення впливу сильних магнітних полів (до 7 Т!) на магнітоопір гранулярних зразків $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ легованих домішками титану.

Структура дисертаційної роботи цілком логічна.

Зупинюся на аналізі *новизни та достовірності* основних висновків дисертації Максима Володимировича Коробкова.

Висновки, так само як і розділи оригінальної частини дисертації можна умовно розділити на три групи:

- вплив ступеня допування празеодимом на природу та механізми процесів анізотропії провідності високотемпературних надпровідників $\text{Y}_{1-z}\text{Pr}_z\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (Розділ 3, Висновки 1 – 6);
- вплив високого тиску на процеси розсіювання носіїв заряду та флуктуаційну провідність середньо допованих празеодимом ($z \approx 0,34$) монокристалічних зразків $\text{Y}_{1-z}\text{Pr}_z\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (Розділ 4, Висновки 7 – 11);

- вплив прикладання постійного магнітного поля до зразків $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ з домішкою титану (Розділ 5, Висновки 12 – 15).

У зв'язку з вищесказаним, вважаю доцільним сумісний розгляд новизни та достовірності Висновків, об'єднаних за напрямками досліджень та проблемами, що в них вирішуються. Тим більше, що як в ідеологічному, так і в експериментальному плані деякі положення, що виносяться на захист, тісно пов'язані між собою і впливають одне з іншого.

Висновки 1 – 6:

1. Вперше встановлено, що збільшення концентрації празеодиму в монокристалах $\text{Y}_{1-z}\text{Pr}_z\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ приводить до виникнення локалізації носіїв і зміни міжшарової взаємодії.
2. Вперше показано, що температурна залежність анізотронії електроопору $\rho_c/\rho_{ab}(T)$, на відміну від $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, добре описується за допомогою універсального «закону $1/2$ » для термоактиваційної стрибкової провідності.
3. Подібна залежність свідчить про те, що механізм транспорту носіїв поперек шарів здійснюється шляхом термоактиваційних стрибків зі змінною довжиною.
4. Показник $1/2$ свідчить про те, що стрибова провідність одновимірна, та/або що кулонівська взаємодія відіграє в поперечному транспорті істотну роль.
5. Збільшення ступеня допування празеодимом у зразках $\text{Y}_{1-z}\text{Pr}_z\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ приводить до посилення ефектів локалізації та реалізації в системі переходу виду метал-діелектрик, який завжди передує надпровідному переходу.
6. Збільшення концентрації празеодиму призводить до істотного зсуву точки переходу $T_{\text{мд}}$ в область більш низьких температур, що,

вірогідно, пов'язано зі збільшенням частки напівпровідникового вкладу в провідність експериментальних зразків.

Захисту цих висновків присвячено Розділ 3.

Я не маю сумнівів щодо *новизни* та *достовірності* Висновків 1 – 6; основні експериментальні результати, що підтверджують обґрунтованість цих висновків, наведено на Рис. 3.1 – 3.5 ; 3.8, 3.9 та 3.11, 3.12. Безумовною заслугою здобувача в плані доведення обґрунтованості зроблених ним висновків є послідовний аналіз отриманих експериментальних даних у рамках існуючих теорій та уявлень про вплив ступеня допування празеодимом та пов'язаних із цим ефектів анізотропії провідності як на механізми транспорту носіїв, так і на ефекти локалізації.

Експериментально виміряні температурні залежності $\rho_{ab}(T)$ та $\rho_c(T)$ (див. Рис. 3.1) у нормальному стані мали лінійні ділянки в області високих температур. Показано, що підвищення вмісту празеодиму, приводить до появи напівпровідникової форми кривих $\rho_c(T)$, тоді як, криві $\rho_{ab}(T)$ довше зберігають лінійну ділянку. Критичні температури, вздовж та впоперек базисної площини дещо відрізняються, що здобувач пов'язує з переходом Фріделя у системі 1-2-3, який полягає в пригніченні поперечної надпровідності шляхом розростання кільцевих джозефсонівських вихорів у шаруватому надпровіднику при розпаді провідної підсистеми на кілька областей з різними T_c . Такий розпад, як вважає здобувач, може відбуватися при структурному розупорядкуванні за рахунок допування празеодимом та привести до виникнення у системі електронейтральних областей – металевих та діелектричних.

Аналізуючи температурні залежності анізотропії провідності $\rho_c/\rho_{ab}(T)$ (див. Рис. 3.3) у рамках моделей Андерсона [співвідношення (3.5)] та Абрикосова [рівняння (3.3)], М.В. Коробков показує, що провідність зразків є стрибковою зі змінною довжиною стрибка, а анізотропія опору добре описується універсальним «законом 1/2», та на цій підставі робить

висновок щодо механізму транспорту носіїв. Тобто стверджує, що індукована празеодимом кластеризація зразка може ініціювати перехід метал-діелектрик «андерсонівського» типу.

Криві $\rho_{ab}(T)$ та $\rho_c(T)$ були апроксимовані у всьому інтервалі температур, враховуючи металеву, напівпровідникову та флуктуаційну провідності. Це дало здобувачеві можливість визначити температурні залежності механізмів анізотропії розсіювання носіїв заряду при різних z та показати, що збільшення R_T викликає перехід метал-діелектрик, який передуює надпровідному переходу, та зменшення температури переходу.

Значний зсув критичної температури фазового переходу метал-діелектрик в область більш низьких температур при збільшенні концентрації празеодиму здобувач пов'язує зі збільшенням частки напівпровідникового вкладу в провідність експериментальних зразків. М.В. Коробков у формулюванні цього висновку використовує прислівник «вірогідно», чим значно полегшує роботу офіційного опонента. Тим не менш, є підстави вважати це положення *новим і достовірним*.

Висновки 7 – 11:

7. *Експериментальна температурна залежність електричного опору монокристалічного ВТНП $Y_{0.66}Pr_{0.34}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ у нормальному стані (та отримана з неї похідна, $d\rho(T)/dT$) повністю відповідають моделі розсіювання носіїв заряду на фононах і домішках (модель Блоха-Грюнайзена) в інтервалі гідростатичних тисків 0–1 ГПа.*
8. *Температурна залежність похідної, $d\rho(T)/dT$, однозначно свідчить про відсутність лінійної залежності електричного опору в дослідженому зразку при $T \leq 300$ К, вказуючи тим самим, що тільки модель Блоха-Грюнайзена може бути використана для екстраполяції "нормального" опору на область флуктуаційної провідності.*

9. Температурою відкриття псевдоцілини в даному випадку є температура мінімуму $dp(T)/dT$, яка зростає з тиском.
10. Флуктуаційна провідність, отримана як різниця між експериментальними значеннями та екстрапольованими за допомогою моделі Блоха-Грюнайзена величинами, з хорошою точністю описується моделлю Лоренца-Доніаха з урахуванням неоднорідності зразка.
11. Гідростатичний тиск сприяє покращенню структури зразка.

Я вважаю за доцільне розглядати достовірність та новизну Висновків 7 – 11 спільно, оскільки всі вони стосуються аналізу ефектів, близьких за своєю суттю, пов'язаних із впливом гідростатичного тиску на механізми розсіювання носіїв заряду та флуктуаційну провідність монокристалів $Y_{0.66}Pr_{0.34}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$. Захисту цих висновків присвячено Розділ 4.

Впливу гідростатичного тиску на нормальну та надлишкову провідність, а також механізмам розсіювання нормальних і флуктуаційних носіїв у допованих празеодимом монокристалах $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ присвячено велику кількість наукових праць. Однак слід віддати належне здобувачеві, що він зміг не тільки на якісному рівні проаналізувати отримані експериментальні дані в рамках існуючих теорій і моделей, але й визначити dp/dT у всьому інтервалі температур. Тобто на відміну від попередників вже на кількісному рівні на основі аналізу особливостей поведінки dp/dT у всьому інтервалі температур показати, що в нормальному стані провідність обмежена розсіюванням на фононах і дефектах [в нормальному стані електроопір зразка – це $\rho_{ph}(T)$]. А це, в свою чергу, дозволило Максиму Володимировичу визначити T^* , тобто межу між $\rho_{ph}(T)$ та $\rho_{fl}(T)$, й обчислити $\rho_{fl}(T)$, як різницю між експериментальними значеннями $\rho(T)$ та $\rho_{ph}(T)$, екстрапольованим на інтервал $T_c < T \leq T^*$. Така схема дозволила здобувачеві отримати

параметри, що характеризують як розсіювання носіїв заряду на фононах та дефектах, так і характеристики флуктуаційної провідності. Найбільш наочно ідейний підхід здобувача до аналізу отриманих експериментальних даних показано на рис. 4.1 та в Таблиці 4.1. Великий обсяг послідовних розрахункових робіт (див., наприклад, Табл. 4.1 та Рис. 4.2) дав можливість М.В. Коробкову переконливо *довести*, що модель Блоха-Грюнайзена може бути застосована як для аналізу експериментальної температурної залежності електричного опору монокристалічного ВТНП $\text{Y}_{0.66}\text{Pr}_{0.34}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ у нормальному стані, так і для екстраполяції «нормального» опору на область флуктуаційної провідності. Саме в цьому, зокрема, полягає *новизна* висновків, що висуюються на захист.

Подальший, з урахуванням неоднорідності зразка, розрахунковий аналіз еволюції флуктуаційної провідності, спричиненої тиском, у монокристалах ВТНП $\text{Y}_{0.66}\text{Pr}_{0.34}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, яка була визначена як різниця між експериментальними значеннями та величинами, екстрапольованими за допомогою моделі Блоха-Грюнайзена, показав, що флуктуаційна провідність з хорошою точністю може бути описана моделлю Лоренца-Доніаха.

Таким чином, аналіз застосовності різних моделей для опису поведінки ВТНП $\text{Y}_{0.66}\text{Pr}_{0.34}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, що перебувають під дією гідростатичного тиску, при наближенні від високих температур до температури надпровідного переходу, а також широке застосування розрахункових методів, дозволили здобувачеві *довести достовірність* своїх висновків.

Висновки 12 – 15:

12. *Безпосередньо поблизу T_c ФП задовільно описується тривимірною моделлю Асламазова-Ларкіна для надпровідних шаруватих систем.*

13. Прикладання постійного магнітного поля до зразків $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ з домішкою титану, на відміну від аналогічних, бездомішкових зразків, приводить до розмивання додаткового паракогерентного переходу на температурних залежностях надлишкової провідності в базисній ab -площині в області резистивних переходів в надпровідний стан.
14. Розмивання додаткового паракогерентного переходу на температурних залежностях надлишкової провідності може бути наслідком впливу об'ємного пінінгу, зумовленого наявністю в структурі експериментального зразка фазових включень, які формуються при внесенні домішки титану.
15. При температурах нижче критичної $T < T_c$, відбувається пригнічення динамічного фазового переходу виду вихорова рідина - вихорова решітка та формування в системі переходу виду вихорова рідина - вихорове "бреггівське" скло.

На мою думку, доцільно було б розглянути новизну та достовірність Висновків 12–15 разом, оскільки всі вони стосуються аналізу ефектів, близьких за своєю суттю, пов'язаних із впливом домішок Ti на магнітоопір керамічних зразків YBaCuO . Захисту цих висновків присвячено Розділ 5.

Фактично ці висновки захищають результати вивчення впливу домішки Ti на надпровідність і надлишкову провідність гранулярних зразків ВТНП $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Я готова погодитися з новизною й достовірністю цих висновків на якісному рівні. Річ у тім, що наведені в роботі дані про структурні й електрофізичні дослідження, не дають можливості кількісної оцінки деяких результатів дослідження. Справа в тому, що практично всі дослідження, проведені на зразках, які складаються щонайменше із двох фаз (надпровідної типу 1-2-3 і якоїсь «орторомбічної структури типу перовскіту, але з іншими параметрами»). Здобувачеві не вдалося встановити ані концентраційної залежності складу фази типу 1-2-

3, ані частки цієї фази в багатофазній суміші. Зовсім не ясний внесок «орторомбічної структури типу перовскіту, але з іншими параметрами» у виявлений дисертантом ефект *розмивання додаткового паракогерентного переходу*. Які-небудь відомості про хімічний склад і частки обох фаз у досліджуваному зразку в дисертації відсутні. Мені здається, що здобувач дещо переоцінює значущість результатів своїх рентгенографічних досліджень у встановленні ролі домішки величезної кількості Ti (30%) у формуванні об'ємних центрів пінінгу. Я вважаю, що застосування терміну «фазові включення», при настільки високому вмісті домішкової фази, не цілком логічно.

Щодо застосовності тривимірної моделі Асламазова-Ларкіна для опису фазових переходів поблизу T_c для надпровідних шаруватих систем, то *достовірність* даного висновку не викликає сумнівів, на користь справедливості цього положення свідчать дані про поведінку резистивних переходів в надпровідний стан, що наведені на Рис. 5.3.

Як цілком вірно стверджує здобувач, вплив магнітного поля призводить до значного розширення та розмиття надпровідного переходу, що сприяє переходу від фази впорядкованої вихрової решітки до фази так званого «вихрового» або «бреггівського» скла. Для підтвердження достовірності висновку щодо пригнічення динамічного фазового переходу типу «вихрова рідина — вихрова решітка» та формуванні в системі переходу типу «вихрова рідина — вихрове «бреггівське» скло» за температур нижче критичної $T < T_c$ під дією магнітного поля та за наявності у складі зразка великої кількості домішкової фази, здобувач наводить скейлінг залежностей магнітної сприйнятливості $\chi(T)$ (див. Рис. 5.5). Отже, *новизна* та *достовірність* цього положення сумнівів не викликають.

У мене немає зауважень щодо дисертаційної роботи Коробкова М.В. в цілому. Однак робота має низку недоліків. Наведу лише три зауваження:

1. Щодо літературного огляду (Розділ 1). Він містить занадто ретельний огляд деяких теоретичних моделей формування пінінгу і динаміки магнітного потоку в ВТНП-сполуках $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$.
2. Щодо висновків до дисертації. Висновків надто багато. Скорочення кількості висновків хоча б на третину за рахунок об'єднання деяких з них полегшило б сприйняття отриманих у роботі результатів. Тим більше, що у формулюванні деяких висновків взагалі не вказано об'єкт досліджень. Незважаючи на безперечну достовірність Висновку 11, на мій погляд, він більш пасує як висновок до Розділу 3 (де він також наводиться), ніж як висновок до дисертації в цілому.
3. Як відомо (див., наприклад, [10.1016/j.matpr.2015.06.024](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2015.06.024)) домішка нанорозмірного оксиду титану (TiO_2) у ВТНП $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ діє як ефективний центр пінінгу магнітних вихрів, значно підвищуючи густину критичного струму J_c в магнітному полі при температурі кипіння рідкого азоту (77,4 К), хоча й дещо знижує критичну температуру T_c , але зазвичай йдеться про 0,5 – 1% домішок. Нажаль М.В. Коробков не надає у тексті дисертації жодних відомостей ані про розмір включень, ані, взагалі, про фазовий склад зразків YBaCuO з домішкою титану.

Усі висловлені зауваження не носять принципового характеру, не торкаються загальної високої оцінки дисертації та не можуть вплинути на позитивне враження від отриманих у роботі нових і важливих результатів та її змісту.

Наукова значимість роботи Коробкова М.В. полягає у встановленні впливу екстримальних зовнішніх чинників на процеси переносу заряду та розсіювання його носіїв у ВТНП – сполуках сімейства $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ та $\text{Y}_{1-z}\text{Pr}_z\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ у широкому інтервалі температур, магнітних полів і високих тисків; вивчення розподілу дефектів мікроструктури, а також встановлення

фізичних особливостей і механізмів релаксації цих дефектів, що дає можливість не тільки перевірити адекватність численних теоретичних моделей, але й окреслити емпіричні шляхи підвищення критичних параметрів ВТНП- сполук.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розширенні асортименту методів дослідження природи та механізмів процесів електропереносу та розсіювання носіїв заряду в монокристалічних сполуках типу 1 : 2 : 3 шляхом залучення об'єктів, що мають ансамбль дефектів різної концентрації та морфології.

Фундаментальні та практичні результати роботи будуть корисними для фахівців у галузях фізики низьких температур та надпровідності, які працюють у науково-дослідних установах України та зарубіжжя. Матеріали дисертаційної роботи у повному обсязі опубліковані у провідних фахових наукових виданнях України та закордонних наукових виданнях, які реферуються системою Scopus та Web of Science.

Дисертаційна робота та наукові праці здобувача проходили перевірку на наявність плагіату з використанням антиплагіатної системи Strikeplagiarism.com. Результати перевірки продемонстрували, що дисертаційна робота Коробкова М.В. є оригінальною, текст дисертації не містить плагіату. Відтак, дисертаційна робота відповідає вимогам академічної доброчесності.

Текст дисертації добре структуровано і логічно викладено відповідно до вимог, які встановлено до наукових робіт. Основні матеріали наукових публікацій автора представлені у тексті дисертації. У висновках чітко сформульовано особовий внесок здобувача у розв'язання наукових завдань для досягнення поставленої мети, що полягає у проведенні експериментальних досліджень, аналізі отриманих результатів, проведенні розрахунків, участі в обговоренні отриманих результатів, а також у

підготовці публікацій за темою дисертації. Дисертація Коробкова М.В. є завершеною науковою роботою, в рамках якої отримана низка нових науково-обґрунтованих результатів.

Актуальність теми роботи, новизна та наукова значимість одержаних результатів, їх достовірність та обґрунтованість дають підставу зробити висновок, що дисертаційна робота «Електротранспорт в ВТНП – купратах системи YBaCuO в умовах екстремальних зовнішніх впливів» повністю задовольняє вимогам, встановлених до дисертацій доктора філософії МОН України, а її автор, Коробков М.В., безумовно заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Оформлення дисертації повністю відповідає вимогам, що висуваються до таких робіт згідно наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. №40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій». Текст дисертації написаний українською науковою мовою.

На основі викладеного вище вважаю, що дисертаційна робота Коробкова М.В. «Електротранспорт в ВТНП – купратах системи YBaCuO в умовах екстремальних зовнішніх впливів» є завершеним науковим дослідженням в галузі фізики низьких температур та надпровідності, актуальним за розглянутими науковими проблемами, має наукову новизну і є важливою для практичного впровадження отриманих результатів. Тема і матеріал дисертації повністю відповідають спеціальності 104 «Фізика та астрономія» галузі знань 10 «Природничі науки» та вимогам, передбаченим наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44).

Враховуючи усе вищесказане, вважаю, що Коробков Максим Володимирович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Офіційний опонент
старший науковий співробітник
ІНЦ ХФТІ НАНУ,
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник

Тетяна СУХАРЕВА

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 13:38:02 14.08.2026

Назва файлу з підписом: ВІДГУК_ Сухаревої ТВ_ дис_Коробков 2026.docx.p7s
Розмір файлу з підписом: 95.1 КБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: ВІДГУК_ Сухаревої ТВ_ дис_Коробков 2026.docx
Розмір файлу без підпису: 77.8 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: СУХАРЕВА ТЕТЯНА ВІТАЛІЇВНА

П.І.Б.: СУХАРЕВА ТЕТЯНА ВІТАЛІЇВНА

Країна: Україна

РНОКПП: 2425001104

Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 14:37:57
14.08.2026

Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"

Серійний номер: 5E984D526F82F38F0400000039B72002D5C78807

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Удосконалений

Тип контейнера: Підпис та дані в одному файлі (CAAdES enveloped)

Формат підпису: З повними даними ЦСК для перевірки (CAAdES-X Long)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2026.07.08 13:00