

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Колісника Андрія Сергійовича

«Особливості впливу магнітного поля, тиску та відпалу на псевдощілину

у плівках і монокристалах $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ($\text{Re} = \text{Y}, \text{Ho}$)

та $\text{Y}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$.»,

подану на здобуття наукового ступеня

доктора філософії за спеціальністю 104 – «Фізика та астрономія»

з галузі знань 10 – «Природничі науки»

1. Обґрунтування вибору теми дослідження

Метою дисертаційної роботи А. С. Колісника є встановлення фундаментальних закономірностей еволюції псевдощілинного стану та флуктуаційної провідності у купратних ВТНП $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ та $\text{Y}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ під впливом потужних зовнішніх чинників — магнітного поля, високого гідростатичного тиску та тривалої структурної релаксації. Ця тематика **актуальна** як для фундаментальної, так і для прикладної фізики, оскільки детальне вивчення флуктуаційної провідності та псевдощилини є надійним інструментом для з'ясування мікроскопічної картини надпровідного спарювання, а експериментально встановлені закономірності поведінки флуктуаційної провідності та псевдощилини в сильних магнітних полях є важливими для проєктування та оптимізації характеристик новітніх надпровідних пристроїв, зокрема магнітометрів та високочастотних резонаторів. Для отримання інформації про надпровідний стан та псевдощілину названих речовин, автор застосовує вивчення змін надпровідних властивостей цих речовин при дії на них магнітного поля, гідростатичного тиску, та відпалу. Сильне магнітне поле впливає на параметри флуктуаційної провідності та енергетичну залежність псевдощилини в епітаксійних плівках $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, і дозволяє виявити ефект магнітоіндукованої ізотропізації флуктуаційних куперівських пар.

Гідростатичний тиск впливає на транспортні властивості та псевдощілину в монокристалах $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ та дозволяє проаналізувати конкуренцію між баричним генеруванням носіїв заряду і дією магнітних моментів празеодиму. Вплив довготривалої структурної релаксації (кімнатного відпалу) на властивості загартованих монокристалів $HoBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ дозволяє проаналізувати еволюцію температурної залежності псевдощілини в процесі релаксації. Ці дослідження були завданнями автора, які були поставлені для досягнення мети дисертації. Автор провів порівняння отриманих експериментальних даних із розрахунками в рамках сучасних теоретичних моделей для з'ясування мікроскопічних причин зміни критичної температури. Автор провів також інтересне дослідження щодо експериментального підтвердження можливості існування хвиль спінової щільності у псевдощілинному стані купратів з магнітними моментами рідкоземельних іонів. Актуальність теми дисертації також підтверджується тим, що дослідження, які складають основу дисертаційної роботи А. С. Колісника, виконувались у відділі мікроконтактної спектроскопії Фізико-технічного інституту низьких температур імені Б.І. Веркіна Національної академії наук України, в рамках тематичного плану інституту за науково-дослідною роботою відомчої тематики «Провідні, надпровідні, магнітні та сенсорні властивості новітніх функціональних матеріалів» (номер державної реєстрації 0122U001501, шифр Ф 19-5, термін виконання 2022 - 2026 рр.)

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

Дисертація представляє собою самостійне, завершене та цілісне наукове дослідження. Текст роботи добре структурований та має високий рівень методологічної культури та науковий стиль мовлення. Робота складається з п'яти розділів, кожен з яких має підрозділи, має загальні вступ й висновки, а також висновки до кожного підрозділу. Висновки роботи дають відповідь на поставлені в роботі мету та завдання дослідження, підкреслюють наукову новизну проведених досліджень та логічно виходять із викладеного матеріалу, достатньо повно його відображають. Повний обсяг роботи становить 177

сторінок тексту, включаючи 39 рисунків та 6 таблиць. Список використаної літератури з 170 джерел є репрезентативним, додатки А та Б містять список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію, відповідно. Матеріал дисертації викладено послідовно та структуровано, що забезпечує його чітке і зрозуміле сприйняття. Композиційна побудова дисертаційної роботи узгоджується з логікою та етапністю проведених автором досліджень. У розділі «Вступ» обґрунтовано актуальність теми, визначено об'єкт, предмет, мету, основні завдання та методи досліджень, наукову новизну, практичну значущість результатів, наведено відомості про особистий внесок здобувача, апробацію роботи, публікації за темою дисертації та надано інформацію про обсяг і структуру роботи. В розділі 1 наведено огляд літератури, в якому описано основні властивості надпровідників, які досліджені в дисертації. В розділі 2 наведена технологія приготування експериментальних зразків та методи їх досліджень. Далі в дисертації описано результати експериментів по дослідженню впливу магнітного поля (розділ 3), гідростатичного тиску (розділ 4) та відпалу (розділ 5) на електричні властивості та псевдощілину досліджуваних зразків. Завершують дисертацію розділ «Висновки» та список літературних джерел. У додатках знаходяться список публікацій автора по темі дисертації та відомості про апробацію результатів.

Оформлення дисертації, її зміст, структура, та кількість публікацій відповідають вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. № 44 (редакція від 01.01.2024 р.), та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій».

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

Сформульовані в роботі А. С. Колісника положення та висновки характеризуються належним рівнем обґрунтованості та достовірності. Обґрунтованість та достовірність наукових результатів, наведених у дисертації, забезпечується коректністю постановки мети та задач дослідження, високим рівнем експериментальної техніки та відтворюваністю результатів. Дослідження базуються на сучасних теоретичних та експериментальних підходах і методах. Зокрема, застосовано прецизійне вимірювання температурних залежностей електричного опору стандартним чотиризондовим методом у широкому діапазоні температур (від критичної температури до 300 K) з використанням сучасної комп'ютеризованої вимірювальної техніки. Розрахунки та аналіз надлишкової провідності та псевдощільності проведені з використанням класичних флуктуаційних теорій та моделі локальних пар і порівняні з результатами, отриманими для магнітних надпровідників (пніктидів), та з теорією Пітерса-Бауера.

Аналіз тексту дисертації дає підстави констатувати, що автор застосовує системний та послідовний підхід до дослідження обраної проблематики. Структура роботи є логічно вибудованою та забезпечує повне розкриття поставлених дослідницьких завдань і досягнення визначеної мети. Основні результати дисертаційного дослідження опубліковані в індексованих наукових журналах та доповідалися на міжнародних наукових конференціях. Висновки дисертаційної роботи є обґрунтованими та логічно отриманими із наведених розрахунків.

4. Повнота викладу в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 9 наукових працях. З них: 4 статті у провідних міжнародних фахових виданнях, що індексуються у міжнародних наукометричних базах Scopus та Web of Science, та 5 тез доповідей у збірниках матеріалів міжнародних наукових конференцій,

чого достатньо для дисертаційної роботи доктора філософії, згідно встановленим вимогам МОН України щодо публікацій основного змісту дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 104 - «Фізика та астрономія» в галузі 10 – «Природничі науки». З дисертації є очевидним, що особистий вклад дисертанта в ці роботи є вирішальним. Результати спільних робіт, які увійшли до дисертації, не використовувались в дисертаційних роботах співавторів.

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

У результаті проведених досліджень сформульовано низку нових наукових положень і висновків:

1. Вперше в деталях досліджено еволюцію псевдощільності під впливом магнітного поля поблизу T_c в плівках $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ і експериментально доведено можливість формування двовимірної ґратки вихорів Абрикосова у високотемпературних надпровідниках в полі $B > 1$ Тл.
2. Вперше показано, що магнітне поле помітно зменшує величину псевдощільності при високих T . Таким чином доведено, що магнітне поле по різному взаємодіє з нормальними електронами, відповідальними за опір, який не змінюється в полі, і з локальними парами, відповідальними за псевдощільність.
3. Виявлено феномен магнітоіндукованої ізотропізації флуктуаційних куперівських пар в плівках $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ під впливом сильного (до 9 Тл) магнітного поля $B \parallel c$. Науково обґрунтовано, що цей ефект реалізується через синхронну зміну довжин когерентності — зростання $\xi_c(0)$ при одночасному зменшенні $\xi_{ab}(0)$, що призводить до наближення електронної підсистеми до ізотропного стану.
4. Встановлено немонотонний характер еволюції параметра псевдощільності $\Delta^*(T_G)$ у монокристалах $\text{Y}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ($x \sim 0.23$) в умовах високого гідростатичного тиску, від активації руйнівного впливу магнітних дефектів празеодиму при малих тисках до їх ефективної нейтралізації та

структурного впорядкування при тисках $P > 1.0$ ГПа, що супроводжується відновленням класичної форми $\Delta^*(T)$.

5. Вперше виявлено можливість формування хвиль спінової щільності (SDW) у псевдоцілінному стані купратів із великими магнітними моментами рідкоземельних іонів на прикладі монокристалів $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Обґрунтовано наявність SDW через аномальне зростання (у 3.5 рази) високотемпературного нахилу α_{max} залежності $\Delta^*(T)$ внаслідок довготривалої структурної релаксації, що свідчить про виникнення специфічних магнітних кореляцій в електронному спектрі.
6. Доведено, на основі зіставлення експериментальних даних із мікроскопічною теорією Пітерса-Бауера, що зростання критичної температури T_c під час відпалу та гідростатичного стиснення зумовлене систематичним підвищенням густини локальних пар в провідних площинах CuO_2 .

З цих висновків виділю висновок 2, який є, на мою думку, суттєвим аргументом на користь опису високотемпературного надпровідника в рамках моделі локальних пар.

6. Особистий внесок здобувача.

Основні результати дисертаційної роботи, які були опубліковані у статтях, були отримані здобувачем у співавторстві. Особистий внесок здобувача полягає в підготовці зразків до вимірювань, проведенні експерименту, обробці експериментальних даних, проведенні аналітичних розрахунків надлишкової провідності та параметрів псевдоціліни в рамках теоретичної моделі локальних пар, у виконанні графічної візуалізації результатів, в написанні та підготовці до друку наукових статей та у підготовці матеріалів доповідей на семінарах і конференціях. Таким чином, особистий внесок дисертанта є визначальним. Дисертаційна робота не містить елементів плагіату.

7. Наукове та практичне значення результатів дисертації

Результати досліджень, представлених в цій дисертаційній роботі, вносять внесок у фізику сильно корельованих електронних систем. Зокрема,

вони поглиблюють уявлення про природу псевдощілинного стану та механізми спарювання в купратних високотемпературних надпровідниках. Встановлені закономірності поведінки флуктуаційної провідності та псевдощілини в сильних магнітних полях важливі для проектування магнітометрів та високочастотних резонаторів. Виявлена можливість змінювати критичні параметри надпровідника за допомогою високого тиску та структурної релаксації корисна для синтезу матеріалів з високою критичною температурою. Результати роботи можуть бути використані науковими організаціями, що займаються розробкою функціональних матеріалів для енергетики та мікроелектроніки, а також використані в навчальному процесі з підготування фахівців зі спеціальності «Фізика та астрономія».

8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації

1. У висновку 4 у підрозділі висновків до розділу 5 на сторінці 150 описаний результат експерименту. Самого висновку з цього результату не зроблено.
2. В загальних висновках до дисертації (сторінка 152) у висновку 1 зазначено, що «Вперше виявлено несподіваний вплив магнітного поля на псевдощілину у плівках YBCO при високих T , водночас жодного впливу на опір у нормальному стані немає. Таким чином доведено, що...». Який саме несподіваний вплив, і чому він несподіваний, у висновках не указано.
3. В загальних висновках до дисертації (сторінка 152) зазначено «Вперше спостерігалось восьмиразове збільшення числа Гінзбурга $G_i(B)$, на основі аналізу якого з'ясовано необхідність трикратного зменшення довжини когерентності...». Чи не можна було би висловити цей висновок більш зрозуміло?
4. Кружки, якими показані експериментальні результати на рисунках 3.1 - 3.4, 4.1, 5.1 в дисертації, занадто великі (особливо це стосується рисунків 3.2 та 4.1). Звичайно розмір кружків порівнюють з величиною похибки

експерименту. Якщо застосувати цей підхід для показу апроксимації експериментальних даних за допомогою теорії, то відмічені стрілками на рисунках 3.4 температури T_G повинні знаходитись на кілька десятків кельвінів вище або нижче значень, указаних на рисунках, а з рисунку 3.1 положення T^* взагалі не зрозуміло, якщо не дивитись на вставку до цього рисунку. Водночас в дисертації відзначається, що середньоквадратичні похибки апроксимації малі (сторінка 68). Експериментальні дані на деяких рисунках показані за межами графіків (рисунки 3.4-3.6, 3.11, 4.3). Доцільно також кілька рисунків, об'єднаних одним номером (наприклад, рисунок 3.4, в якому є два графіка), позначати як рисунок 3.4 (а), (б), як на рисунках 5.3, 5.4.

5. Відома двохстадійна модель структурної релаксації в багатокомпонентних структурно неупорядкованих аморфних системах, а саме, спершу відбувається композиційне упорядкування (утворення кластерів однотипних елементів), а потім - топологічне упорядкування (вихід вільного об'єму, формування мікрокристалів і т. д.). Застосування цієї моделі до змін електричних властивостей високотемпературних надпровідників з часом відпалу (наприклад, при утворенні кластерів кисню) не обговорена в розділі 5 дисертації. Представляло би також інтерес обговорити можливість композиційного упорядкування при прикладенні тиску в розділі 4.

Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну і високу оцінку дисертації. Науковий рівень дисертації є високим, отримані результати не викликають сумніву щодо їх достовірності, а висновки роботи є обґрунтованими.

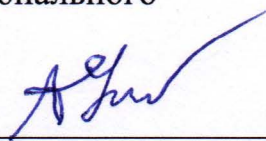
9. Загальна оцінка та висновок.

Дисертаційна робота А. С. Колісника «Особливості впливу магнітного поля, тиску та відпалу на псевдощілину у плівках і монокристалах $REBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ($RE = Y, Ho$) та $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ » є оригінальною, самостійною та завершеною науковою роботою. Висловлені автором гіпотези, узагальнення, висновки

підтверджуються отриманими результатами дослідження. Тема і зміст дисертації відповідають спеціальності 104 «Фізика та астрономія» у галузі знань 10 «Природничі науки» та вимогам пп. 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 зі змінами від 21 березня 2022 р. № 341, від 19.05.2023 р. № 502 і від 03.05.2024 р. № 507, а автор дисертації Колісник Андрій Сергійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 - «Фізика та астрономія» в галузі знань 10 -«Природничі науки».

Офіційний опонент

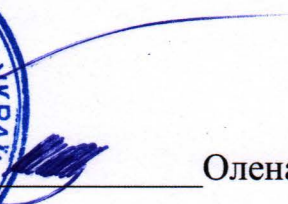
Професор кафедри фізики низьких температур
фізичного факультету Харківського Національного
університету імені В. Н. Каразіна,
доктор фіз.-мат. наук



Олександр ГРИБ

Підпис професора кафедри фізики низьких температур фізичного факультету Харківського Національного університету імені В. Н. Каразіна, доктора фізико-математичних наук Гриба Олександра Миколайовича засвідчую.

Начальник відділу кадрів
Харківського Національного
університету імені В. Н. Каразіна



Олена ГРОМИКО