

Рецензія

провідного наукового співробітника відділу мікроконтактної спектроскопії
ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України, доктора фізико-математичних наук,
старшого наукового співробітника Золочевського Івана Васильовича
на дисертаційну роботу Шитова Микити Віталійовича
«Особливості флуктуаційної провідності та псевдощільни у плівках і
монокристалах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ під впливом зовнішніх чинників»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності
104 - «Фізика та астрономія»
з галузі знань 10 – «Природничі науки»

Купратний надпровідник $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, з моменту відкриття якого пройшло вже майже сорок років, став першим надпровідником з критичною температурою, що переступила позначку температури кипіння рідкого азоту. Цей високотемпературний надпровідник (ВТНП), виявляє цілу низку незвичайних властивостей, які відрізняють його від низькотемпературних надпровідників (НТНП). Окрім високої температури надпровідного переходу ($T_c \approx 92 \text{ K}$ у оптимально допованому $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$), це знижена густина носіїв заряду, сильні електронні кореляції та квазі-двовимірність, що призводить до сильної анізотропії властивостей: вздовж провідних площин CuO_2 і в перпендикулярному напрямку вздовж осі c . Незважаючи на велику кількість експериментальних та теоретичних робіт з цієї тематики, досі залишається низка невирішених питань. Але найбільш цікавою і загадковою особливістю ВТНП є так звана псевдощільна, що існує в нормальному стані від T_c до температури її відкриття $T^* \gg T_c$, і фізика якої досі до кінця не з'ясована. Є надія, що правильне розуміння природи псевдощільни дозволить прояснити механізм надпровідного спарювання в конкретному ВТНП.

Дисертаційна робота М.В. Шитова присвячена дослідженню впливу різноманітних зовнішніх чинників (зовнішнього магнітного поля,

опромінення високоенергетичними електронами та довготривалого зберігання) на властивості плівок та монокристалів $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Метою дисертаційної роботи було отримання нової інформації про основні електронні процеси та взаємодії, які формують нормальну і надпровідну фазу в $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, та їх зміни під впливом магнітного поля, сильного електронного опромінення та довготривалого зберігання. **Актуальність** даної теми обумовлена необхідністю з'ясування фізичної природи псевдощільності та її змін під впливом зовнішніх чинників. Можливий наслідок цих досліджень – визначення механізму надпровідного спарювання в купратних ВТНП, що відкриє шлях пошуку надпровідників з ще більш високими T_c .

Загальна характеристика роботи та отриманих в ній результатів

Загальній обсяг кваліфікаційної наукової роботи, що подана на рецензію, нараховує 133 сторінки, та складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків і списку використаних джерел з 139 посилань, двох додатків, та містить 32 рисунки. У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, та описано її взаємозв'язок із науковими програмами. Сформульовано мету і завдання роботи, визначено об'єкт та предмет дослідження, розглянуто практичну цінність отриманих результатів та їх наукову новизну, а також наведено дані про структуру та обсяг дисертаційної роботи.

В **першому розділі** проведено огляд літератури за темою дисертації. Автор приділяє значну увагу теоретичним основам фізики купратних високотемпературних надпровідників. Наведено інформацію про основні властивості купратних ВТНП, які відрізняють їх від низькотемпературних надпровідників. Охарактеризовано такі поняття, як псевдощільність та локальні пари, розглянуті різні точки зору на механізм надпровідного спарювання в

купратних ВТНП. Наведено відомості про температурні залежності надлишкової провідності та псевдощільності. Детально висвітлено загальну інформацію відому на час написання дисертаційної роботи щодо впливу зовнішніх чинників, таких як: магнітне поле, електронне опромінення та довготривале зберігання на властивості ВТНП. У **другому розділі** детально розглянуті методики та технології отримання досліджуваних зразків: вирощування монокристалів $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ і виготовлення тонких плівок за допомогою імпульсного лазерного напилення, та описуються методи дослідження їх характеристик. Розглянуто використовуване в експериментальних дослідженнях лабораторне обладнання та детально обговорена методика нанесення електроконтактів для отримання чотиризондової схеми для резистивних вимірювань. Описані методи вимірювання електроопору при низьких температурах за наявності магнітного поля та електронного опромінення. У **третьому розділі** проведено аналіз досліджень температурної залежності флуктуаційної провідності та псевдощільності тонких плівок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, що знаходились в магнітному полі до 8 Тл. Виявлено, що у магнітному полі ~ 3 Тл в двовимірній області (2D) флуктуаційної провідності відбувається перехід від класичної температурної залежності флуктуаційної провідності 2D Макі-Томпсона (MT) до залежності 2D Асламазова -Ларкіна (АЛ) вище температури 3D-2D кроссовера. При цьому інтервал надпровідних флуктуацій різко зростає. З'ясовано, що усі досліджувані параметри зразків помітно змінюються при збільшенні поля до 8 Тл. Передбачається, що специфічна еволюція форми псевдощільності, виявлена поблизу температури надпровідного переходу, швидше за все, визначається саме впливом створеної магнітним полем двовимірної вихрової ґратки, що перешкоджає утворенню надпровідних флуктуацій поблизу температури надпровідного переходу. **Четвертий розділ** дисертаційної роботи присвячено дослідженню впливу опромінення високоенергетичними електронами при великих дозах

опромінення на температурні залежності флуктуаційної провідності та псевдощільності монокристала $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, який майже не містить двійників. При середньому значенні дози опромінення виявлено зміну внеску 2D-МТ флуктуаційної провідності на виражену залежність 2D-АЛ. Водночас показано, що всі параметри псевдощільності і в цілому вся температурна залежність псевдощільності різко зростають. Однак при збільшенні дози опромінення, як флуктуаційна провідність, так і псевдощільність демонструють криві, типові для $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, з дуже низьким рівнем дефектів, тобто виникли складнощі з інтерпретацією цих результатів в рамках моделі локальних пар. Таким чином, з'ясовано, що утворення різноманітних дефектів у монокристалах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ під впливом високоенергетичного електронного опромінення є немонотонним процесом і має власну специфіку. В **п'ятому розділі** наведено результати дослідження та аналізу впливу довготривалого зберігання за нормальних умов на флуктуаційну провідність та псевдощільність у монокристалах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ з двійниками. Одержана інформація є важливою, зокрема, для практичного використання ВТНП. Аналіз цих досліджень показав, що після 6 років зберігання, дефекти, які виникли під час старіння, практично повністю усувають вплив двійників і двійникових границь у зразку і температурна поведінка як флуктуаційної провідності та псевдощільності нагадує типову для добре структурованих монокристалів $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Таким чином дисертантом доведено, що монокристали $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ після 6 років зберігання все ще можна використовувати. Але після 17 років зберігання велика кількість структурних дефектів, які виникають у зразку, призводить до сильної деградації структури та перерозподілу заряду в кристалі, які призводять до сильного зростання опору та, швидше за все, відповідають за спостережувану незвичайну температурну залежність як флуктуаційної провідності, так і псевдощільності. Таким чином показано, що такі зразки ВТНП вже не можна використовувати.

У «Висновках» стисло представлено основні результати роботи. Висновки дисертації повністю відповідають поставленій меті дослідження та змісту отриманих результатів. Результати, представлені в дисертації опубліковані у вигляді трьох статей в журналі Low Temperature Physics (ФНТ) з квантилем Q3, і який входить до Переліку наукових фахових видань України категорії "А", та п'яти тезах міжнародних конференцій.

На сьогоднішній день немає суворої теорії процесів, пов'язаних з флуктуаційною провідністю та псевдощілиною в купратних надпровідниках, що підкреслює актуальність цієї дисертації. Теорія локальних пар, яка доволі добре інтерпретувала цілий ряд експериментів напередодні, в цій роботі з нею виникли складнощі у трактуванні результатів аналізу деяких експериментальних досліджень. Але це ніяк не зменшує доброго враження про професіональний рівень дисертанта. Він продемонстрував високу ерудицію та обізнаність щодо об'єкта досліджень, що й вимагається від даної кваліфікаційної роботи.

Автором було отримано експериментальні результати, що зазнали глибокого нестандартного аналізу. На підставі представлених на захист досліджень можна зробити висновок, що дисертант добре оволодів експериментальними методиками. Виходячи з цього можна констатувати, що М.В. Шитов вже є сформованим науковим працівником.

Як і будь-яке дослідження, представлена на його основі дисертація не позбавлена недоліків.

Необхідно відмітити, що незважаючи на достатньо високий рівень написання дисертаційної роботи, в ній присутні друкарські помилки в тексті та на рисунках, які були здебільшого виправлені.

1.В дисертації не наведено повну паспортизацію зразків високотемпературних надпровідників $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, зокрема, результатів рентгеноструктурного дослідження/аналізу (РСД/РСА) та електронографії (ЕСА) цих зразків до, в процесі експериментів і після досліджень впливу

зовнішніх чинників. Наявність паспортизації могла б прямо підтвердити, чи спростувати висновки з проведених досліджень, а також допомогла б уникнути ряду припущень, які вимушений був зробити дисертант, а робота стала б більш доказовою. Наприклад:

На 97 стр. в першому абзаці зверху написано: "Останній факт підтверджує зроблене раніше **припущення, що монокристали у цьому експерименті дійсно не містять двійників.**"

На 86 стр. в першому абзаці зверху написано, що "при φ_2 , незважаючи на те, що **кількість дефектів, як вважається, помітно зростає**, внесок 2D MT навіть більш виражений, ніж при $\varphi_1=0$, що є дещо дивним".

На 98 стр. в першому абзаці зверху написано: "Дивним фактом є те, що модель ЛД, як характерна для ВТНП із пошкодженою структурою [42, 89, 90], не апроксимує експеримент, що вказує на те, що **кристалічна структура якимось чином зберігається.**"

2.В дисертаційній роботі не запропоновано будь-якого пояснення того факту, що навіть при максимальному (в цих експериментальних дослідженнях) опроміненні і флуктуаційна провідність, і псевдощілина демонструють типову для зразків $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ **поведінку без дефектів**, а модель Лоуренса-Доніаха, властива для ВТНП із **пошкодженою структурою**, не апроксимує експериментальну криву.

Звичайно ж, зазначені недоліки не применшують загальної високої оцінки дисертації.

Підсумовуючи, маю відзначити, що дисертаційна робота **Шитова Микити Віталійовича «Особливості флуктуаційної провідності та псевдощілини у плівках і монокристалах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-8}$ під впливом зовнішніх чинників»** відповідає 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 № 502 і від 03.05.2024 № 507, та відповідає напряму наукового дослідження освітньо-наукової програми «Фізика» ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України зі спеціальності 104 «Фізика та астрономія». Дисертація містить обґрунтовані висновки на основі одержаних здобувачем достовірних результатів, характеризується єдністю змісту та відповідає принципам академічної доброчесності, а її автор Шитов Микита Віталійович безумовно заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – «Фізика та астрономія» з галузі знань 10 – «Природничі науки».

Рецензент: провідний науковий співробітник
відділу мікроконтактної спектроскопії
ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України,
доктор фізико-математичних наук
старший науковий співробітник

І. Золоче

Золочевський І.В.

