

АНОТАЦІЯ

Колісник А. С. 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 $\text{Y}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» (10 – Природничі науки). Фізико-технічний інститут низьких температур ім. Б.І. Веркіна Національної академії наук України, Харків, 2026.

Дисертаційну роботу присвячено дослідженню особливостей впливу на фундаментальні електронні процеси, що формують нормальну та надпровідну (НП) фази у високотемпературних надпровідниках (ВТНП), таких зовнішніх чинників, як сильне магнітне поле, гідростатичний тиск, довготривалий відпал (структурна релаксація) та наявність магнітних домішок у тонких плівках і монокристалах купратних ВТНП REBaCuO ($\text{Re} = \text{Y}, \text{Ho}$) та YPrBaCuO .

У **вступі** стисло обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, визначено об'єкт, предмет, мету, основні завдання та методи досліджень. Викладено наукову новизну та сформульовано практичну значущість одержаних результатів. Окрім того, наведено відомості про особистий внесок здобувача, апробацію роботи, публікації за темою дисертації та подано загальну інформацію про обсяг і структуру роботи.

У **першому розділі «Основні властивості досліджуваних надпровідників (огляд літератури)»** проаналізовано сучасний стан досліджень резистивних, флуктуаційних та надпровідних властивостей ВТНП системи YBaCuO та споріднених сполук. Розглянуто кристалічну структуру та особливості електронної конфігурації купратів. Особливу увагу приділено критичному аналізу проблеми псевдощілини (ПЩ). У розділі систематизовано підходи до опису теорій Асламазова-Ларкіна (АЛ) та Макі-Томпсона (МТ), які дозволяють кількісно оцінити розмірність флуктуаційних процесів та ідентифікувати температуру 3D-2D кросовера. Обґрунтовано застосування

моделі локальних пар (ЛП), яка дає змогу розрахувати температурну залежність параметра ПЩ та дослідити режим кросовера від Бозе-Ейнштейнівської конденсації до теорії Бардіна-Купера-Шріффера. Показано, що магнітне поле в геометрії $B \parallel c$ є деструктивним фактором, що дозволяє вивчати динаміку вихрової ґратки Абрикосова та механізми пригнічення флуктуаційних пар. Досліджено вплив високого тиску та введення магнітних домішок, що дозволяє змінювати міжатомні відстані та локальні магнітні взаємодії та відкриває шлях до виявлення ефектів перерозподілу заряду та структурного впорядкування. Таким чином, проведений літературний огляд підтверджує, що лише комплексне дослідження ПЩ стану дозволяє вийти на рівень побудови фізичної картини електронних процесів у ВТНП.

У другому розділі «Об'єкти і методи експериментальних досліджень» наведено опис технологій виготовлення зразків, процедур їх підготовки та методики проведення прецизійних резистивних вимірювань. Розглянуто процес отримання тонких епітаксійних плівок YBaCuO методом імпульсного лазерного напилення на спеціальні монокристалічні підкладки. Окрім того, описано процедуру вирощування монокристалів купратів розчин-розплавним методом та специфіку формування низькоомних електроконтактів для забезпечення коректності класичних чотиризондових резистивних вимірювань у магнітних полях та під гідростатичним тиском.

Дослідження властивостей плівок YBaCuO виконувалися на базі автоматизованого комплексу Quantum Design PPMS-9 в умовах дії постійних магнітних полів. Висока точність вимірювань додатково гарантувалася формуванням низькоомних контактів. Окрім цього, розкрито методику вивчення баричних ефектів у монокристалах YPrBaCuO під дією високого гідростатичного тиску. Тиск генерувався в автономній камері типу «поршень-циліндр». Для підтримання системи у стані термодинамічної рівноваги вимірювання проводилися в режимі повільного температурного сканування. Також особливу увагу в розділі приділено опису процедури створення контрольованого стану кисневої нестехіометрії у монокристалах HoBCO шляхом термічної

деоксигенації з подальшим швидким загартуванням до кімнатної температури та наступним кімнатним відпалом.

У третьому розділі «Вплив магнітного поля на властивості тонких плівок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ » представлено результати дослідження особливостей температурних залежностей питомого опору, надлишкової провідності та еволюції ПЩ в плівках YBaCuO під дією магнітного поля до 9 Тл. Аналіз транспортних характеристик за відсутності поля дозволив встановити наявність широкого температурного інтервалу лінійної залежності опору, відхилення від якого маркує температуру відкриття ПЩ. Встановлено, що магнітне поле в геометрії $B \parallel c$ призводить до розширення НП переходу, що супроводжується зменшенням критичної температури та зростанням магнетоопору. Підтверджено, що незважаючи на трансформацію опору поблизу НП переходу, магнітне поле майже не впливає на опір при високих T , а температура відкриття ПЩ майже не реагує на дію поля, що свідчить про високу енергію зв'язку ЛП. Проведено аналіз флуктуаційної провідності, результати якого вказують на сильне пригнічення флуктуаційного внеску 2D-MT під впливом магнітного поля, що зумовлює специфічне зростання довжини когерентності.

Вперше детально досліджені польові залежності довжини когерентності, значення ПЩ, виміряного при температурі Гінзбурга і параметра Гінзбурга, що характеризує ширину області критичних флуктуацій. Виявлено, що ці три параметри: лінійно залежать від поля, але всі змінюють нахил при 1 Тл. Доведено, що така поведінка обумовлена зміною механізму взаємодії магнітного поля з ВТНП. У малих полях працює механізм розриву НП пар. При $B \geq 1$ Тл поле формує у ВТНП двовимірну решітку вихорів Абрикосова, з якою механізм взаємодії поля виявляється зовсім іншим. Обґрунтовано явище магнітоіндукованої ізотропізації куперівських пар. Кількісно доведено, що у сильних полях відбувається синхронна трансформація просторових масштабів НП стану: в той час як довжина когерентності вздовж осі c , зростає в ~ 3 рази, в площині ab вона зменшується в ~ 3 рази.

У четвертому розділі «Вплив гідростатичного тиску на властивості монокристалів $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ » досліджено еволюцію транспортних властивостей ПЩ у легованих монокристалах $YPrBaCuO$ під дією гідростатичного тиску до 1.1 ГПа. Встановлено, що фізичне стиснення кристалічної ґратки призводить до зменшення абсолютного значення питомого опору в базисній площині ab . Цей процес супроводжується зростанням критичної температури НП переходу. На основі аналізу доведено, що механізмом таких змін транспортних характеристик є барично-індуковане зростання ефективної густини носіїв заряду у провідних площинах. Збільшення концентрації дірок, компенсує пригнічення НП, початково викликане присутністю парамагнітних іонів Pr.

Головним результатом розділу є виявлення та фізичне обґрунтування поведінки ПЩ залежно від гідростатичного тиску. У роботі вперше показано зміну механізму взаємодії між вільними носіями заряду та локалізованими магнітними дефектами під тиском. З'ясовано, що в області малих тисків спостерігається різке падіння значення ПЩ, що зумовлено баричною активацією магнітних дефектів, які починають виступати як додаткові центри розсіяння, руйнуючи ЛП. Натомість, в зоні середніх тисків механізм взаємодії зазнає трансформації: гідростатичний тиск починає діяти як стабілізуючий фактор, нейтралізуючи вплив магнітних домішок празеодиму, що призводить до відновлення енергетичного масштабу ПЩ. Продемонстровано, що в області високих тисків електронна підсистема проходить через етап просторового та магнітного впорядкування локальних моментів Pr. Доведено факт впорядкування структури, що проявляється у відновленні класичної форми температурної залежності параметра ПЩ. Таким чином, результати комплексно ілюструють здатність високого гідростатичного тиску долати внутрішньокристалічний магнітний безлад і відновлювати когерентний псевдоцилінний стан.

У п'ятому розділі «Вплив тривалого відпалу на властивості тонких плівок $HoBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ » висвітлено результати дослідження динаміки релаксаційних процесів та еволюції ПЩ стану в монокристалах $HoBaCuO$ під час

тривалого кімнатного відпалу. Встановлено, що після гартування зразки перебувають у термодинамічно нерівноважному стані з високим рівнем кисневого та структурного безладу. Проведення серії вимірювань протягом 120 годин витримки при кімнатній температурі дозволило зафіксувати стабільність дифузійного перерозподілу лабільного кисню. Експериментально підтверджено, що впорядкування кисневої підсистеми призводить до гомогенізації НП матриці, що проявляється у зменшенні опору, зростанні критичної температури та звуженні ширини резистивного переходу.

Наукова новизна результатів розділу полягає у виявленні ознак формування хвиль спінової щільності у ПЩ стані. Вперше зафіксовано трансформацію високотемпературної асимптоти параметра ПЩ: у процесі відпалу крутизна нахилу графіку зросла в ~ 3.5 рази порівняно з вихідним станом. Показано, що такий характер поведінки корелює з магнітними НП на основі FeAs, що дозволяє інтерпретувати цей ефект як наслідок сильної локальної магнітної взаємодії ЛП із великим магнітним моментом іонів Но в умовах впорядкованої кисневої ґратки. Обґрунтування цих результатів реалізовано порівнянням експериментальних кривих із теорією Пітерса-Бауера. Доведено, що впорядкування структури під час відпалу супроводжується зростанням густини ЛП, що є причиною спостережуваного зростання критичної температури. Таким чином, застосована методика відпалу дозволила експериментально розмежувати вплив структурного безладу вакансій та стабілізуючий внесок внутрішнього магнетизму іонів гольмію на формування когерентного ПЩ стану.

Таким чином, результати дисертаційної роботи, отримані на основі проведеного комплексу експериментальних досліджень та теоретичного аналізу, встановлюють низку закономірностей еволюції ПЩ стану, флуктуаційної провідності та механізмів спарювання носіїв заряду в купратних ВТНП системах YBaCuO, YPrBaCuO та HoBaCuO під впливом зовнішніх факторів (сильного магнітного поля, високого гідростатичного тиску та структурної релаксації). Робота має важливе значення для розвитку фундаментальних знань щодо фізики ВТНП і суттєво поглиблює сучасні уявлення про природу ПЩ стану та

механізми надпровідного спарювання у купратних ВТНП. Поряд з цим, результати мають і практичне значення, оскільки виявлені ефекти керування критичними параметрами надпровідника за допомогою магнітного поля, високого тиску та структурної релаксації відкривають нові технологічні шляхи для цілеспрямованого пошуку та синтезу матеріалів із підвищеною критичною температурою шляхом маніпуляції внутрішніми структурними параметрами та густиною носіїв заряду. Ключові слова: високотемпературна надпровідність, псевдощілина, флуктуаційна провідність, модель локальних пар, епітаксійні плівки, імпульсне лазерне напилення, магнітне поле, параметр Гінзбурга, ізотропізація куперівських пар, вихровий стан, гідростатичний тиск, барична похідна, магнітні дефекти, відпал, густина носіїв заряду, структурна релаксація.

Ключові слова: надпровідність, високотемпературні надпровідники, тонкі плівки, псевдощілина, флуктуаційна провідність, вихор Абрикосова, ефект Джозефсона, гідростатичний тиск, невідпорядковані надпровідники, розподіл концентрації, надпровідна щілина, питомий електричний опір.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. **A. S. Kolisnyk**, M. V. Shytov, E. V. Petrenko, A. V. Terekhov, L. V. Bludova, A. Sedda, E. Lähderanta, A. L. Solovjov, Effect of a magnetic field up to 9 T on the temperature dependence of the pseudogap in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ films. Low Temperature Physics, 52, 3–17, (2026), DOI: <https://doi.org/10.1063/10.0042157>, Q3
2. A. L. Solovjov, L. V. Bludova, **A. S. Kolesnik**, E. V. Petrenko, N. V. Shytov, A. Sedda, E. Lähderanta, D. Sergeyev, R. V. Vovk, Hydrostatic pressure effect on the pseudogap in $\text{Y}_{0.77}\text{Pr}_{0.23}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ single crystals. Low Temperature Physics, 52, 475–487 (2026), DOI: <https://doi.org/10.1063/10.0043141>, Q3
3. A. L. Solovjov, **A. S. Kolesnik**, E. Lähderanta, R. V. Vovk, K. Rogacki, Unusual behavior of pseudogap in high-temperature superconductors under the

influence of external factors. Part II (Review article). Low Temperature Physics, 51, 1406–1426 (2025), DOI: <https://doi.org/10.1063/10.0039858>, Q3

4. A. L. Solovjov, L. V. Omelchenko, E. V. Petrenko, Yu. A. Kolesnichenko, **A. S. Kolesnik**, S. Dzhumanov, R. V. Vovk, Effects of annealing on the fluctuation conductivity and pseudogap in slightly doped $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ single crystals. Low Temperature Physics, 49, 108–119 (2023), DOI: <https://doi.org/10.1063/10.0016484>, Q3

Наукові праці, які засвідчують апробацію результатів:

1. **A. S. Kolisnyk**, A.L. Solovjov, L.V. Omelchenko, E.V. Petrenko, Yu.A. Kolesnichenko, S. Dzhumanov, R.V. Vovk Effects of annealing on the fluctuation conductivity and pseudogap in slightly doped $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ single crystals “CM<P 2023”: III International Advanced Study Conference Condensed Matter and Low Temperature Physics, June 5–11, 2023: Book of Abstracts. – Ukraine, Kharkiv, 2023. – P.53.
2. **A. S. Kolisnyk**, A.L. Solovjov, L.V. Omelchenko, E.V. Petrenko, Yu.A. Kolesnichenko, S. Dzhumanov, R.V. Vovk, Effects of annealing on the fluctuation conductivity and pseudogap in slightly doped $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ single crystals “HEUREKA-2024”: International Conference of Students and Young Researchers in Theoretical and Experimental Physics, May 14–16, 2024: Book of Abstracts. – Ukraine, Lviv, 2024. – P.A2.
3. **A. S. Kolisnyk**, E.V. Petrenko, A.V. Terekhov, L.V. Bludova, K. Rogacki, A.L. Solovjov, Вивчення впливу магнітного поля на температурну залежність псевдощілини у оптимально допованих плівках $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ International Conference, присвячена 100-річчю з дня народження проф. Ю.М. Ломсадзе, December 17–18, 2024 – Ukraine, Uzhhorod, 2024.
4. **A. S. Kolisnyk**, E.V. Petrenko, A.V. Terekhov, L.V. Bludova, K. Rogacki, A.L. Solovjov, Дослідження еволюції температурної залежності псевдощілини в $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ плівках під впливом магнітного поля “HEUREKA-2025”: International Conference of Students and Young

Researchers in Theoretical and Experimental Physics, May 13–15, 2025: Book of Abstracts. – Ukraine, Lviv, 2025. – P.E2.

5. **A. S. Kolisnyk**, M.V. Shytov, E.V. Petrenko, A.V. Terekhov, L.V. Bludova, K. Rogacki, A.L. Solovjov Study of the effect of magnetic field on the temperature dependence of the pseudogap in optimally doped $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ films “CM<P 2025”: IV International Advanced Study Conference Condensed Matter and Low Temperature Physics, June 2–6, 2025: Book of Abstracts. – Ukraine, Kharkiv, 2025. – P.77.

ABSTRACT

Kolisnyk A. S. **Features of the influence of magnetic field, pressure, and annealing on the pseudogap in films and single crystals of $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (Re = Y, Ho) and $\text{Y}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$.** – Qualifying scientific work on manuscript rights.

The thesis to obtain a Doctor of Philosophy degree in the specialty 104 - “Physics and astronomy”. – B.I. Verkin Institute for Low Temperature Physics and Engineering of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, 2026.

The dissertation is devoted to studying the features of the influence of such external factors as a strong magnetic field, hydrostatic pressure, long-term annealing (structural relaxation), and the presence of magnetic impurities on the fundamental electronic processes that form the normal and superconducting (SC) phases in high-temperature superconductors (HTSC) in thin films and single crystals of cuprate HTSCs REBaCuO (Re = Y, Ho) and YPrBaCuO .

The introduction briefly justifies the relevance of the dissertation research topic, and defines the object, subject, purpose, main tasks, and research methods. The scientific novelty is stated, and the practical significance of the obtained results is formulated. In addition, it provides information on the personal contribution of the applicant, the approbation of the work, publications on the topic of the dissertation, and presents general information about the volume and structure of the work.

In the first chapter, "Basic properties of the investigated superconductors (literature review)", the current state of research on the resistive, fluctuation, and superconducting properties of HTSCs of the YBaCuO system and related compounds is analyzed. The crystal structure and features of the electronic configuration of cuprates are considered. Special attention is paid to a critical analysis of the pseudogap (PG) problem. The chapter systematizes approaches to describing the Aslamazov-Larkin (AL) and Maki-Thompson (MT) theories, which allow for a quantitative assessment of the dimensionality of fluctuation processes and the identification of the 3D-2D crossover temperature. The application of the local pair (LP) model is justified, which makes it possible to calculate the temperature dependence of the PG parameter and investigate the crossover regime from Bose-Einstein condensation to the Bardeen-

Cooper-Schrieffer theory. It is shown that a magnetic field in the $B \parallel c$ geometry is a destructive factor, which allows studying the dynamics of the Abrikosov vortex lattice and the mechanisms of suppression of fluctuation pairs. The influence of high pressure and the introduction of magnetic impurities is investigated, which allows altering interatomic distances and local magnetic interactions, paving the way for the detection of charge redistribution and structural ordering effects. Thus, the conducted literature review confirms that only a comprehensive study of the PG state allows reaching the level of constructing a physical picture of electronic processes in HTSCs.

In the second chapter, "Objects and methods of experimental research", a description of the sample manufacturing technologies, their preparation procedures, and the methodology for conducting precision resistive measurements is provided. The process of obtaining thin epitaxial YBaCuO films by pulsed laser deposition onto special single-crystal substrates is considered. In addition, the procedure for growing cuprate single crystals by the solution-melt method and the specifics of forming low-resistance electrical contacts to ensure the correctness of classical four-probe resistive measurements in magnetic fields and under hydrostatic pressure are described.

Investigations of the properties of YBaCuO films were performed using the automated Quantum Design PPMS-9 system under the influence of DC magnetic fields. The high measurement precision was additionally guaranteed by the formation of low-resistance contacts. Furthermore, the methodology for studying pressure effects in YPrBaCuO single crystals under high hydrostatic pressure is disclosed. The pressure was generated in an autonomous piston-cylinder type cell. To maintain the system in a state of thermodynamic equilibrium, the measurements were carried out in a slow temperature scanning mode. Also, special attention in the chapter is paid to describing the procedure for creating a controlled state of oxygen non-stoichiometry in HoBCO single crystals by thermal deoxygenation with subsequent rapid quenching to room temperature and further room-temperature annealing.

In the third chapter, "Influence of a magnetic field on the properties of thin $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ films", the results of investigating the features of the temperature dependencies of resistivity, excess conductivity, and the evolution of the PG in

YBaCuO films under a magnetic field of up to 9 T are presented. Analysis of the transport characteristics in the absence of a field made it possible to establish the presence of a wide temperature interval of linear resistance dependence, the deviation from which marks the PG opening temperature. It was established that a magnetic field in the $B \parallel c$ geometry leads to a broadening of the SC transition, which is accompanied by a decrease in the critical temperature and an increase in magnetoresistance. It is confirmed that despite the transformation of the resistance near the SC transition, the magnetic field has almost no effect on the resistance at high T , and the PG opening temperature almost does not react to the action of the field, which indicates a high binding energy of LPs. An analysis of the fluctuation conductivity was performed, the results of which indicate a strong suppression of the 2D-MT fluctuation contribution under the influence of a magnetic field, which causes a specific increase in the coherence length.

For the first time, the field dependencies of the coherence length, the PG value measured at the Ginzburg temperature, and the Ginzburg parameter, which characterizes the width of the critical fluctuation region, were studied in detail. It was found that these three parameters linearly depend on the field, but all change their slope at 1 T. It is proved that such behavior is caused by a change in the mechanism of interaction of the magnetic field with the HTSC. In small fields, the SC pair breaking mechanism operates. At $B \geq 1$ T, the field forms a two-dimensional Abrikosov vortex lattice in the HTSC, with which the mechanism of field interaction turns out to be completely different. The phenomenon of magnetically induced isotropization of Cooper pairs is substantiated. It is quantitatively proved that in strong fields, a synchronous transformation of the spatial scales of the SC state occurs: while the coherence length along the c axis increases by ~ 3 times, in the ab plane it decreases by ~ 3 times.

In the fourth chapter, "Influence of hydrostatic pressure on the properties of $Y_{1-x}\text{Pr}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ single crystals", the evolution of the transport properties of the PG in doped YPrBaCuO single crystals under hydrostatic pressure up to 1.1 GPa is investigated. It is established that the physical compression of the crystal lattice leads to a decrease in the absolute value of the resistivity in the ab basal plane. This process

is accompanied by an increase in the critical temperature of the SC transition. Based on the analysis, it is proved that the mechanism of such changes in transport characteristics is the pressure-induced increase in the effective charge carrier density in the conducting planes. The increase in the hole concentration compensates for the suppression of superconductivity initially caused by the presence of paramagnetic Pr ions.

The main result of the chapter is the discovery and physical substantiation of the PG behavior depending on the hydrostatic pressure. The work shows for the first time a change in the interaction mechanism between free charge carriers and localized magnetic defects under pressure. It is found that in the region of low pressures, a sharp drop in the PG value is observed, which is caused by the pressure activation of magnetic defects that begin to act as additional scattering centers, destroying LPs. In contrast, in the intermediate pressure zone, the interaction mechanism undergoes a transformation: hydrostatic pressure begins to act as a stabilizing factor, neutralizing the influence of praseodymium magnetic impurities, which leads to the restoration of the PG energy scale. It is demonstrated that in the high-pressure region, the electronic subsystem passes through a stage of spatial and magnetic ordering of local Pr moments. The fact of structural ordering is proved, which manifests itself in the restoration of the classical shape of the temperature dependence of the PG parameter. Thus, the results comprehensively illustrate the ability of high hydrostatic pressure to overcome intracrystalline magnetic disorder and restore the coherent pseudogap state.

In the fifth chapter, "Influence of long-term annealing on the properties of thin $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ films", the results of studying the dynamics of relaxation processes and the evolution of the PG state in HoBaCuO single crystals during long-term room-temperature annealing are presented. It is established that after quenching, the samples are in a thermodynamically non-equilibrium state with a high level of oxygen and structural disorder. Conducting a series of measurements over 120 hours of holding at room temperature allowed recording the staging of the diffusive redistribution of labile oxygen. It is experimentally confirmed that the ordering of the oxygen subsystem leads to the homogenization of the SC matrix, which manifests itself in a decrease in

resistance, an increase in the critical temperature, and a narrowing of the resistive transition width.

The scientific novelty of the chapter's results lies in the detection of signs of the formation of spin density waves in the PG state. The transformation of the high-temperature asymptote of the PG parameter is recorded for the first time: during the annealing process, the slope of the graph increased by ~ 3.5 times compared to the initial state. It is shown that this type of behavior correlates with magnetic SCs based on FeAs, which allows interpreting this effect as a consequence of a strong local magnetic interaction of LPs with the large magnetic moment of Ho ions under the conditions of an ordered oxygen lattice. The substantiation of these results is realized by comparing the experimental curves with the Peters-Bauer theory. It is proved that the ordering of the structure during annealing is accompanied by an increase in the LP density, which is the reason for the observed increase in the critical temperature. Thus, the applied annealing technique made it possible to experimentally separate the influence of structural vacancy disorder and the stabilizing contribution of the internal magnetism of holmium ions on the formation of a coherent PG state.

Thus, the results of the dissertation work, obtained on the basis of the conducted complex of experimental studies and theoretical analysis, establish a number of regularities in the evolution of the PG state, fluctuation conductivity, and charge carrier pairing mechanisms in cuprate HTSC systems YBaCuO, YPrBaCuO, and HoBaCuO under the influence of external factors (a strong magnetic field, high hydrostatic pressure, and structural relaxation). The work is of great importance for the development of fundamental knowledge regarding HTSC physics and significantly deepens modern understanding of the nature of the PG state and the mechanisms of superconducting pairing in cuprate HTSCs. Along with this, the results also have practical significance, since the discovered effects of controlling the critical parameters of a superconductor using a magnetic field, high pressure, and structural relaxation open up new technological pathways for the targeted search and synthesis of materials with an increased critical temperature by manipulating internal structural parameters and charge carrier density.

Keywords: Superconductivity, high- T_c superconductors, thin films, pseudogap, fluctuation conductivity, Abrikosov vortex, Josephson effect, hydrostatic pressure, disordered superconductors, concentration distribution, superconducting gap, electrical resistivity.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

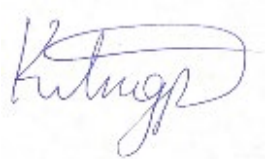
1. **A. S. Kolisnyk**, M. V. Shytov, E. V. Petrenko, A. V. Terekhov, L. V. Bludova, A. Sedda, E. Lähderanta, A. L. Solovjov, Effect of a magnetic field up to 9 T on the temperature dependence of the pseudogap in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ films. Low Temperature Physics, 52, 3–17, (2026), DOI: <https://doi.org/10.1063/10.0042157>, Q3
2. A. L. Solovjov, L. V. Bludova, **A. S. Kolesnik**, E. V. Petrenko, N. V. Shytov, A. Sedda, E. Lähderanta, D. Sergeyev, R. V. Vovk, Hydrostatic pressure effect on the pseudogap in $\text{Y}_{0.77}\text{Pr}_{0.23}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ single crystals. Low Temperature Physics, 52, 475–487 (2026), DOI: <https://doi.org/10.1063/10.0043141>, Q3
3. A. L. Solovjov, **A. S. Kolesnik**, E. Lähderanta, R. V. Vovk, K. Rogacki, Unusual behavior of pseudogap in high-temperature superconductors under the influence of external factors. Part II (Review article). Low Temperature Physics, 51, 1406–1426 (2025), DOI: <https://doi.org/10.1063/10.0039858>, Q3
4. A. L. Solovjov, L. V. Omelchenko, E. V. Petrenko, Yu. A. Kolesnichenko, **A. S. Kolesnik**, S. Dzhumanov, R. V. Vovk, Effects of annealing on the fluctuation conductivity and pseudogap in slightly doped $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ single crystals. Low Temperature Physics, 49, 108–119 (2023), DOI: <https://doi.org/10.1063/10.0016484>, Q3

Наукові праці, які засвідчують апробацію результатів:

1. **A. S. Kolisnyk**, A.L. Solovjov, L.V. Omelchenko, E.V. Petrenko, Yu.A. Kolesnichenko, S. Dzhumanov, R.V. Vovk Effects of annealing on the fluctuation conductivity and pseudogap in slightly doped $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ single

crystals “CM<P 2023”: III International Advanced Study Conference Condensed Matter and Low Temperature Physics, June 5–11, 2023: Book of Abstracts. – Ukraine, Kharkiv, 2023. – P.53.

2. **A. S. Kolisnyk**, A.L. Solovjov, L.V. Omelchenko, E.V. Petrenko, Yu.A. Kolesnichenko, S. Dzhumanov, R.V. Vovk, Effects of annealing on the fluctuation conductivity and pseudogap in slightly doped $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ single crystals “HEUREKA-2024”: International Conference of Students and Young Researchers in Theoretical and Experimental Physics, May 14–16, 2024: Book of Abstracts. – Ukraine, Lviv, 2024. – P.A2.
3. **A. S. Kolisnyk**, E.V. Petrenko, A.V. Terekhov, L.V. Bludova, K. Rogacki, A.L. Solovjov, Вивчення впливу магнітного поля на температурну залежність псевдощілини у оптимально допованих плівках $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ International Conference, присвячена 100-річчю з дня народження проф. Ю.М. Ломсадзе, December 17–18, 2024 – Ukraine, Uzhhorod, 2024.
4. **A. S. Kolisnyk**, E.V. Petrenko, A.V. Terekhov, L.V. Bludova, K. Rogacki, A.L. Solovjov, Дослідження еволюції температурної залежності псевдощілини в $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ плівках під впливом магнітного поля “HEUREKA-2025”: International Conference of Students and Young Researchers in Theoretical and Experimental Physics, May 13–15, 2025: Book of Abstracts. – Ukraine, Lviv, 2025. – P.E2.
5. **A. S. Kolisnyk**, M.V. Shytov, E.V. Petrenko, A.V. Terekhov, L.V. Bludova, K. Rogacki, A.L. Solovjov Study of the effect of magnetic field on the temperature dependence of the pseudogap in optimally doped $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ films “CM<P 2025”: IV International Advanced Study Conference Condensed Matter and Low Temperature Physics, June 2–6, 2025: Book of Abstracts. – Ukraine, Kharkiv, 2025. – P.77.



Андрій КОЛІСНИК