

АНОТАЦІЯ

Коробков М.В. Електротранспорт у ВТНП купратів системи $YBaCuO$ в умовах екстремальних зовнішніх впливів – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія (Галузь знань 10 – Природничі науки). – Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна Міністерства освіти та науки України, Харків, 2026.

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 $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, що містять контрольовані дефекти, зокрема, монокристали, що містять односпрямовані границі двійників та зразки, леговані титаном і празеодимом.

Процеси переносу заряду у високотемпературних надпровідниках мають характерні особливості, зумовлені проявом у цих сполуках цілого ряду специфічних фізичних явищ, що спостерігаються у нормальному (ненадпровідному) стані. До останніх можна віднести флуктуаційну і псевдоцілінну аномалії, переходи виду метал-ізолятор, некогерентний електротранспорт та інші. Відповідно до сучасних уявлень саме ці явища можуть бути ключем до розуміння природи ВТНП. Слід, однак, відзначити, що, незважаючи на значні зусилля теоретичних та експериментальних наукових груп, багато аспектів цих явищ залишаються нез'ясованими дотепер. Певну роль при цьому відіграє істотна анізотропія кристалічної структури ВТНП-сполук, наявність у них нетривіального дефектного ансамблю, що включає дефекти дуже різної морфології, присутність в системі лабільної компоненти і низки інших особливостей, що створюють об'єктивні труднощі при вивченні цих явищ. Слід також зазначити, що дуже важливе значення при проведенні таких досліджень має точне розуміння механізмів розсіювання носіїв заряду,

що враховує специфіку їх перенесення в умовах структурної та кінематичної анізотропії.

Одними з найбільш затребуваних для досліджень, в цьому аспекті, є сполуки так званої системи 1-2-3, $R\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, де R – іон рідкоземельного елемента. Це зумовлено низкою причин: цей надпровідник має високу критичну температуру та найкращу струмонесучу здатність у сильних магнітних полях, можна відносно легко отримати литі зразки та монокристали, фізичні властивості, зокрема й надпровідні, можна досить просто змінити, варіюючи кисневий індекс δ або легуванням, є можливість отримувати високоякісні монокристали відносно великих розмірів. Остання обставина має вирішальне значення для фундаментальних досліджень.

Критична температура (T_c) цих сполук, оптимально допованих киснем, становить $T_c \approx 90$ К і слабо залежить від природи R. При цьому $\text{CeBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ і $\text{TbBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ не утворюють ОРТО-структуру, $\text{PmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ є радіоактивним, а $\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ не є надпровідником («аномалія празеодима»), незважаючи на наявність орторомбічного елементарного осередку. Особливий інтерес у цьому аспекті представляють сполуки з частковою заміною Y на Pr, що, з одного боку, приводить до часткового пригнічення надпровідності, а з іншого – дозволяє зберігати практично незмінними параметри решітки та кисневий індекс сполуки.

Дисертаційна робота містить п'ять розділів.

У першому розділі **«Особливості структури, електротранспорту та динаміки магнітного потоку у ВТНП-сполуках системи 1-2-3»** проведена систематизація наявних літературних джерел про структуру та основні фізичні властивості сполук $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ та $\text{Y}_{1-z}\text{Pr}_z\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ з різним ступенем допування празеодимом.

Розділ містить загальну інформацію про особливості структури, електротранспорту та динаміки магнітного потоку у ВТНП-сполуках системи 1-2-3. Наведено дані про кристалічну структуру та особливості дефектного ансамблю таких сполук, зроблена спроба короткого аналізу 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 не знайшли свого теоретичного та експериментального вирішення. Проведено постановку задачі досліджень.

У другому розділі «Об'єкти та методи досліджень» описані методики синтезу монокристалів $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ($\text{Re} = \text{Y}, \text{Pr}$). Зразки монокристалів вирощували розчин-розплавним методом в золотих і цирконієвих тиглях за наявності градієнта температур. Для отримання орторомбічної фази з вмістом кисню, близьким до стехіометричного, $\delta < 0.1$, проводили їхній відпал у потоці кисню при температурі 420°C протягом трьох діб.

Структурні дослідження проводили методами рентгенівської дифрактометрії, електронної та оптичної мікроскопії. Рентгендифрактометричні дослідження проводили на апараті ДРОН-3М у монохроматизованому Cu-K_α -випромінюванні. Параметри елементарної комірки a , b і c визначали шляхом реєстрації відбиттів від площин (200), (020) і (006) відповідно. Рефлекс (006) реєструвався в геометрії Бреґґа на відбиття, а рефлекси (200) і (020) — в геометрії Лауе на просвіт. Блочність кристалів визначали з кривих хитання для відбиттів від площин (006).

Зразки для електронної мікроскопії препарували з монокристалів, що пройшли рентгендифрактометричні дослідження. Витончення кристалів проводили у вакуумі іонним травлінням атомами аргону. Прискорююча напруга іонної гармати становила 104 кВ. Топологію двійникових меж досліджували на оптичному мікроскопі МІМ-7 у поляризованому світлі. Крім рентгенівської дифракції, структурні дослідження проводились за допомогою електронного мікроскопа. Електронну мікроскопію проводили на мікроскопі EMR-100 АК.

Електроопір вимірювали за стандартною чотирьохконтактною методикою, а анізотропію електроопору – методом Монтгомері на постійному струмі від 0.1 до 10 мА.

Динаміку магнітного потоку досліджували транспортним методом з використанням спеціальної установки для проведення резистивних вимірювань зі змінною орієнтацією магнітного поля.

Гідростатичний тиск створювали в автономній камері типу поршень-циліндр з фіксованим зажимом. Як середовище, що передає тиск, використовували зневоднену суміш трансформаторного масла з гасом у співвідношенні 1:1. Для визначення величини тиску в камері був використаний попередньо відградуваний манганіновий манометр, поміщений у робочу частину камери.

Температуру зразка визначали платиновими і вугільними терморезисторами, а також мідь-константовими термопарами.

У *третьому розділі* «**Анізотропія провідності і перехід метал-ізолятор монокристалів $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ з різним вмістом празеодиму**» представлено результати досліджень 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.

Температурні залежності $\rho_{ab}(T)$ та $\rho_c(T)$ у нормальному стані мають лінійні ділянки в області високих температур. Підвищення вмісту празеодиму, z , приводить до появи напівпровідникової форми кривих $\rho_c(T)$, тоді як, криві $\rho_{ab}(T)$ довше зберігають лінійну ділянку. Відхилення донизу від лінійної ходи при зниженні температури свідчить про появу надлишкової провідності. Критичні температури, T_c , вздовж та впоперек базисної площини дещо відрізняються, що пов'язується з переходом Фріделя у системі 1-2-3, який полягає в пригніченні поперечної надпровідності шляхом допомогою розростання кільцевих джозефсонівських вихорів у шаруватому надпровіднику. Це можливо при розпаді провідної підсистеми на кілька областей з різними T_c . Розпад відбувається при структурному розупорядкуванні за рахунок допущання ВТНП-купратів іновалентною домішкою або зміни вмісту кисню, та приводить до виникнення у системі електронейтральних областей – металевих та

діелектричних. У такому випадку провідність зразка є стрибковою зі змінною довжиною стрибка, і анізотропія опору добре описується універсальним «законом $1/2$ ». 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 четвертому розділі «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 до 14 kbar на провідність у базисній ab -площині середньо допованих празеодимом ($x \approx 0,34$) монокристалів $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. Отримані температурні залежності електричного опору монокристалічного ВТНП $Y_{0.66}Pr_{0.34}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ у нормальному стані ($T^* \leq T \leq 300$ K) при різних величинах гідростатичного тиску ($0 \leq P \leq 1$ GPa) апроксимовані моделлю розсіювання носіїв заряду на фононах (модель Блоха-Грюнайзена) та дефектах. Температурна похідна опору, $d\rho(T)/dT$, у нормальному стані проходить через максимум ($T_{max} \approx \theta/3$, θ – температура Дебая), що повністю відповідає вказаній моделі. Надпровідний перехід приводить до появи низькотемпературного максимуму при $T = T_c$. Температура мінімуму, що існує між цими максимумами, ототожнюється із температурою відкриття псевдощільни, T^* . T^* зростає при збільшенні гідростатичного тиску. Екстраполяція нормальної провідності на область $T_c < T < T^*$ дозволяє обчислити флуктуаційну провідність, яка досить точно описується моделлю Лоуренца-Доніаха з урахуванням неоднорідності зразка. Баричні залежності параметрів моделі Лоуренца-Доніаха показують, що гідростатичний тиск сприяє покращенню структури зразка. Наявність високотемпературного максимуму $d\rho(T)/dT$ свідчить про відсутність лінійної

залежності електричного опору в дослідженому зразку при $T \leq 300$ К. 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. Гідростатичний тиск сприяє покращенню структури зразка. Еволюція флуктуаційної провідності, що викликана тиском, у легованих Pr монокристалах $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, ймовірно, визначається двома процесами: загальною «трехмеризацією» системи внаслідок змінення 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 призводить до суттєвого збільшення похідних тиску dT_c/dP та $d\xi_c/dP$.

П'ятий розділ «Паракогерентний перехід у допованих титаном ВТНП-сполуках YBaCuO». Досліджено вплив домішок титану на магнітоопір в $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ кераміках в області переходу в надпровідний стан у постійному магнітному полі до 7 Т. 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 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.

Головні наукові результати отримані у роботі, є такими.

1. Вперше встановлено, що збільшення концентрації празеодиму в монокристалах $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ приводить до виникнення локалізації носіїв і зміни міжшарової взаємодії.

2. Вперше показано, що 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.

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 стрибкова провідність одновимірна, та/або що кулонівська взаємодія відіграє в поперечному транспорті істотну роль.

5. 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 передує надпровідному переходу.

6. 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.

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 фонах 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 псевдощільни в даному випадку є температура мінімуму $d\rho(T)/dT$, 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 Лоуренца-Доніаха з урахуванням неоднорідності зразка.

11. Гідростатичний тиск сприяє покращенню структури зразка.

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

13. Прикладання постійного магнітного поля до зразків $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ 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 - вихрове "бреггівське" скло.

Ключові слова: монокристали $YBaCuO$, флуктуаційна провідність, допування титаном, псевдощільни, двійникові межі, пінінг, гідростатичний тиск, анізотропія, розсіювання носіїв, формула Блоха-Грюнайзена.

ANNOTATION

Korobkov M.V. Electrotransport in HTSC cuprates of the YBaCuO system under extreme external influences – Qualification scientific work in the form of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 104 – Physics and Astronomy (Field of knowledge 10 – Natural Sciences). – V. N. Karazin Kharkiv National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2026.

The dissertation is devoted to the study of magnetoresistive characteristics under extreme external factors of compounds of the 1-2-3 system, which contain controlled pinning centers and have high perfection. As such objects in this work, single crystals and ceramic samples of the $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ system containing controlled defects were selected, in particular, single crystals containing unidirectional twin boundaries and samples doped with titanium and praseodymium.

Charge transfer processes in high-temperature superconductors have characteristic features due to the manifestation in these compounds of a number of specific physical phenomena observed in the normal (non-superconducting) state. The latter include fluctuation and pseudogap anomalies, metal-insulator transitions, incoherent electrical transport, and others. According to modern ideas, these phenomena may be the key to understanding the nature of. It should be noted, however, that despite the significant efforts of theoretical and experimental scientific groups, many aspects of these phenomena remain unclear to this day. A certain role is played by the significant anisotropy of the crystal structure of compounds, the presence of a non-trivial defect ensemble in them, which includes defects of very different morphology, the presence of a labile component in the system and a number of other features that create objective difficulties in the study of these phenomena. It should also be noted that a very important importance in conducting such studies is an accurate understanding of the mechanisms of scattering of charge carriers, which takes into account the specifics of their transfer under conditions of structural and kinematic anisotropy.

One of the most popular for research in this aspect are compounds of the so-called 1-2-3 system, $\text{RBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, where R is a rare-earth element ion. This is due to a number of reasons: this superconductor has a high critical temperature and the best current-carrying capacity in strong magnetic fields, it is relatively easy to obtain cast samples and single crystals, physical properties, including superconducting ones, can be changed quite simply by varying the oxygen index δ or by doping, it is possible to obtain high-quality single crystals of relatively large sizes. The latter circumstance is of decisive importance for fundamental research.

The critical temperature (T_c) of these compounds, optimally doped with oxygen, is $T_c \approx 90$ K and weakly depends on the nature of R. At the same time, $\text{CeBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ and $\text{TbBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ do not form an ORTHO structure, $\text{PmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ is radioactive, and $\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ is not a superconductor ("praseodymium anomaly"), despite the presence of an orthorhombic unit cell. Of particular interest in this aspect are compounds with partial substitution of Y by Pr, which, on the one hand, leads to partial suppression of superconductivity, and on the other hand, allows the lattice parameters and oxygen index of the compound to remain practically unchanged.

The dissertation work contains five chapters.

In the first chapter "**Features of the structure, electrical transport and dynamics of magnetic flux in HTSC compounds of 1-2-3 system**" the available literature sources on the structure and main physical properties of the compounds $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ and $\text{Y}_{1-z}\text{Pr}_z\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ with different degrees of praseodymium doping are systematized.

The chapter contains general information on the features of the structure, electrical transport and dynamics of magnetic flux in compounds of the 1-2-3 system. Data on the crystal structure and features of the defect ensemble of such compounds are presented, an attempt is made to briefly analyze the available theoretical and experimental results obtained in the studies of electrical transport, the effect of high pressure, pinning and dynamics of magnetic flux in compounds of the 1-2-3 system. The main questions that have not found their theoretical and experimental solution are highlighted. The research problem is formulated.

The second section "**Objects and methods of research**" describes the methods of synthesis of single crystals $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (Re = Y, Pr). Single crystal samples were grown by the solution-melt method in gold and zirconium crucibles in the presence of a temperature gradient. To obtain an orthorhombic phase with an oxygen content close to stoichiometric, $\delta < 0.1$, they were annealed in a stream of oxygen at a temperature of 420°C for three days.

Structural studies were carried out by X-ray diffractometry, electron and optical microscopy. X-ray diffractometric studies were performed on a DRON-3M apparatus in monochromatized $\text{Cu-K}\alpha$ radiation. The unit cell parameters a, b and c were determined by recording reflections from the (200), (020) and (006) planes, respectively. The (006) reflection was recorded in Bragg geometry for reflection, and the (200) and (020) reflections were recorded in Laue geometry for transmission. The blockiness of the crystals was determined from the oscillation curves for reflections from the (006) planes.

Samples for electron microscopy were prepared from single crystals that had undergone X-ray diffractometric studies. Crystal thinning was performed in vacuum by ion etching with argon atoms. The accelerating voltage of the ion gun was 104 kV. The topology of the twin boundaries was studied on a MIM-7 optical microscope in polarized light. In addition to X-ray diffraction, structural studies were carried out using an electron microscope. Electron microscopy was performed on an EMR-100 AK microscope.

The electrical resistance was measured using the standard four-contact method, and the anisotropy of the electrical resistance was measured using the Montgomery method at a constant current from 0.1 to 10 mA.

The dynamics of the magnetic flux was studied by the transport method using a special installation for resistive measurements with a variable orientation of the magnetic field.

Hydrostatic pressure was created in an autonomous piston-cylinder chamber with a fixed clamp. A dehydrated mixture of transformer oil and kerosene in a ratio of 1:1 was used as the pressure-transmitting medium. To determine the pressure in

the chamber, a pre-calibrated manganin manometer was used, placed in the working part of the chamber.

The sample temperature was determined by platinum and carbon thermistors, as well as copper-constantan thermocouples.

The third section, **“Conductivity anisotropy and metal-insulator transition of $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ single crystals with different praseodymium contents,”** presents the results of studies of the influence of praseodymium on the anisotropy of the electrical $\rho_c(T)/\rho_{ab}(T)$ of high-temperature superconductors $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. The influence of Pr impurities on the conductivity anisotropy in this system is important both for clarifying the nature of high-temperature superconductivity (HTSC) and for increasing its critical parameters.

The temperature dependences $\rho_{ab}(T)$ and $\rho_c(T)$ in the normal state have linear sections at high temperatures. Increasing the praseodymium content, z , leads to a semiconductor shape of the $\rho_c(T)$ curves, but the $\rho_{ab}(T)$ curves retain a linear section for longer. A downward deviation from the linear course with decreasing temperature indicates the appearance of excess conductivity. The critical temperatures, T_c , along and across the basal plane are different, which is associated with the Friedel transition in the 1-2-3 system, which consists in the suppression of transverse superconductivity by the growth of ring Josephson vortices in a layered superconductor. This is possible when the conducting subsystem breaks down into several regions with different T_c . The breakup occurs during structural disordering due to doping of HTSC cuprates with an inovalent impurity or changing the oxygen content, and leads to the emergence of electrically neutral regions in the system - metallic and dielectric. In this case, the conductivity of the sample is hopping with a variable hopping length, and the resistance anisotropy is well described by the universal “1/2 law”. Praseodymium-induced clustering of the sample can initiate a metal-dielectric transition of the “Anderson” type. The curves $\rho_{ab}(T)$ та $\rho_c(T)$ can be approximated over the entire temperature range, taking into account the metallic, semiconducting, and fluctuational conductivities. This allows us to determine the temperature dependences of the anisotropy of the carrier scattering mechanisms at different z . An increase in z causes a metal-dielectric transition, which always precedes the

superconducting transition, and a decrease in the transition temperature. The difference in the conduction mechanisms along and across the layers emphasizes the difference between cuprates and Fermi-liquid metals.

The fourth section, **“Charge carrier scattering on phonons and fluctuation electrical conductivity of $Y_{0.66}Pr_{0.34}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ under pressure,”** presents the results of experimental studies of the influence of high hydrostatic pressure up to 14 kbar on the conductivity in the basal ab-plane of medium praseodymium-doped ($x \approx 0.34$) single crystals of $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. The obtained temperature dependences of the electrical resistance of single-crystal $Y_{0.66}Pr_{0.34}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ in the normal state ($T^* \leq T \leq 300$ K) at different values of quasi-hydrostatic pressure ($0 \leq P \leq 1$ GPa) are approximated by the model of charge carrier scattering on phonons (Bloch-Grüneisen model) and defects. The temperature derivative of the resistance, $d\rho(T)/dT$, in the normal state passes through a maximum ($T_{max} \approx \theta/3$, θ is the Debye temperature), which fully corresponds to the specified model. The superconducting transition leads to the appearance of a low-temperature maximum at $T = T_c$. The temperature of the minimum that exists between these maxima is identified with the pseudogap opening temperature, T^* . T^* increases with increasing hydrostatic pressure. Extrapolation of the normal conductivity to the region $T_s < T < T^*$ allows us to calculate the fluctuation conductivity, which is described quite accurately by the Lorentz-Doniach model, taking into account the inhomogeneity of the sample. The baric dependences of the parameters of the Lorentz-Doniach model show that hydrostatic pressure contributes to the improvement of the sample structure. The presence of a high-temperature maximum $d\rho(T)/dT$ indicates the absence of a linear dependence of the electrical resistance in the studied sample at $T \leq 300$ K. The fluctuation conductivity, obtained as the difference between the experimental resistance values and the values extrapolated using the Bloch-Grüneisen model, is described with good accuracy by the Lorentz-Doniach model, taking into account the heterogeneity of the sample. Hydrostatic pressure contributes to the improvement of the sample structure. The pressure-induced evolution of the fluctuation conductivity in Pr-doped $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ single crystals is likely to be determined by two processes: the overall “three-dimensionality” of the system due to the change in the ratio between

the coherence length, ξ_c , and the interlayer distance, d , and the shift of the Fermi level relative to the density of states features. In contrast to the undoped and lightly Pr-doped YBCO samples, the application of high pressure leads to a significant increase in the pressure derivatives dT_c/dP та $d\xi_c/dP$.

Section Five “**Paracoherent Transition in Titanium-Doped YBaCuO HTSC Compounds**”. The influence of titanium impurities on magnetoresistance in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ceramics in the region of transition to the superconducting state in a constant magnetic field up to 7 T was investigated. It was found that in the immediate vicinity of T_c the phase transition is satisfactorily described by the three-dimensional Aslamazov-Larkin model for superconducting layered systems. Applying a constant magnetic field to samples $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ with a titanium impurity, in contrast to similar, impurity-free samples, leads to a blurring of the additional paracoherent transition on the temperature dependences of excess conductivity in the basic ab-plane in the region of resistive transitions to the superconducting state. This may be a consequence of the influence of volume pinning, caused by the presence of phase inclusions in the structure of the experimental sample, which are formed when titanium impurities are introduced. As a result, at temperatures below the critical $T < T_c$, the dynamic phase transition of the vortex liquid - vortex lattice type is suppressed and the transition of the vortex liquid - vortex "Bragg" glass is formed in the system.

The main scientific results obtained in the work are as follows.

1. It was found that an increase in the praseodymium concentration in single crystals of $\text{Y}_{1-z}\text{Pr}_z\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ leads to the occurrence of carrier localization and a change in the interlayer interaction.

2. It is shown that the temperature dependence of the electrical resistance anisotropy $\rho_c/\rho_{ab}(T)$, in contrast to $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, is well described by the universal “law 1/2” for thermally activated jump conductivity.

3. Such a dependence indicates that the mechanism of carrier transport across the layers is carried out by thermally activated jumps with variable length.

4. The exponent 1/2 indicates that the jump conductivity is one-dimensional, and/or that the Coulomb interaction plays a significant role in transverse transport.

5. Increasing the degree of praseodymium doping in $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ samples leads to an increase in the localization effects and realization in the metal-dielectric transition system, which always precedes the superconducting transition.

6. Increasing the praseodymium concentration leads to a significant shift of the T_{md} transition point to a lower temperature range, which is probably due to an increase in the share of the semiconductor contribution to the conductivity of the experimental samples.

7. The experimental temperature dependence of the electrical resistance of the single-crystal HTSC $Y_{0.66}Pr_{0.34}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ in the normal state (and the derivative obtained from it, $d\rho(T)/dT$ fully correspond to the model of scattering of charge carriers on phonons and impurities (Bloch-Grüneisen model) in the range of hydrostatic pressures 0–1 GPa.

8. The temperature dependence of the derivative, $d\rho(T)/dT$, clearly indicates the absence of a linear dependence of the electrical resistance in the studied sample at $T \leq 300$ K, thereby indicating that only the Bloch-Grüneisen model can be used to extrapolate the "normal" resistance to the region of fluctuation conductivity.

9. The pseudogap opening temperature in this case is the minimum temperature $d\rho(T)/dT$, which increases with pressure.

10. The fluctuation conductivity, obtained as the difference between the experimental values and the values extrapolated using the Bloch-Grüneisen model, is described with good accuracy by the Lorentz-Doniach model, taking into account the inhomogeneity of the sample.

11. Hydrostatic pressure contributes to the improvement of the sample structure.

12. In the immediate vicinity of T_c , the FP is satisfactorily described by the three-dimensional Aslamazov-Larkin model for superconducting layered systems.

13. Applying a constant magnetic field to samples $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ with titanium impurity, in contrast to similar, impurity-free samples, leads to the blurring of the additional paracoherent transition on the temperature dependences of excess conductivity in the basic ab-plane in the region of resistive transitions to the superconducting state.

14. The blurring of the additional paracoherent transition on the temperature dependences of excess conductivity may be a consequence of the effect of volume pinning, caused by the presence of phase inclusions in the structure of the experimental sample, which are formed when titanium impurity is introduced.

15. At temperatures below the critical $T < T_c$, the dynamic phase transition of the vortex liquid - vortex lattice type is suppressed and the formation of the vortex liquid - vortex "Bragg" glass transition in the system occurs.

Keywords: YBaCuO single crystals, fluctuation conductivity, titanium doping, pseudogap, twin boundaries, pinning, hydrostatic pressure, anisotropy, carrier scattering, Bloch-Grüneisen formula.