

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу **Котвицкой Клавдии Андреевны**  
**«Влияние дефектов различной морфологии на магниторезистивные свойства монокристаллов  $ReBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  ( $Re = Y, Ho, Pr$ )»**, представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «физика твёрдого тела»

Диссертация посвящена изучению **влияния точечных и плоских дефектов на магниторезистивные свойства монокристаллических купратных высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП)** таких, как  $ReBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  ( $Re = Y, Ho, Pr$ ) путём изучения температурных особенностей сопротивления и избыточной проводимости и извлечению с помощью современных модельных представлений информации об изменении плотности носителей заряда и её соответствии возможным изменениям кристаллической структуры образцов. Заметная часть работы посвящена также проведению экспериментов по изучению влияния гидростатического давления, магнитного поля, а также изменения уровня допирования монокристаллов на переход металл–диэлектрик, а также сверхпроводник–ферми жидкостный металл–несверхпроводник. Работа выделяется оригинальным подходом в постановке эксперимента по изучению локальных свойств кристаллов, тщательной и продуманной направленностью измерительных методов на **физический** результат, имеющий **прикладное значение**.

### **Актуальность темы диссертации.**

Практически сразу же после открытия высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) был обнаружен ряд особенностей, отличающих их поведение от классических сверхпроводников, подчиняющихся теории Бардина-Купера-Шриффера (БКШ). Так отношение сверхпроводящей щели при  $T=0$ ,  $\Delta(0)$ , к критической температуре (температуре сверхпроводящего (СП) перехода)  $T_c$ , равное в теории БКШ -  $2\Delta(0)/k_B T_c = 3.52$ , оказалось равным  $\sim 5$  ( $YBCO$ ) и  $\sim 7$  ( $BiSCCO$ ). Это означает, что, в отличие от классики, ВТСП являются сверхпроводниками с сильной связью, которая, собственно, и обуславливает возможность куперовского спаривания при столь высоких температурах. Основной особенностью, обнаруженной в нормальном состоянии ВТСП, является псевдощелевая аномалия или псевдощель (ПЩ), наблюдаемая в недодопированных ВТСП ниже ПЩ температуры  $T^* \sim 200 \text{ K} \gg T_c$ . Соответствующими измерениями было показано, что ниже  $T^*$  в таких соединениях наблюдается частичное уменьшение плотности электронных состояний на уровне Ферми, что, по определению, и называется псевдощелью. Однако вопрос о том, какова физическая природа этого явления, а также такого фундаментального явления, как сверхпроводящее спаривание с критической температурой сверхпроводящего перехода  $T_c \sim 100 \text{ K}$ , как об этом в деталях сказано во

**Введении** к диссертации, до сих пор остаётся открытым. Проведенные в диссертационной работе исследования позволяют в значительной степени продвинуться в понимании обозначенных выше вопросов, что определяет их *несомненную актуальность*.

Исследования выполнены в соответствии с планами НИР по программам Министерства образования и науки Украины: 1) «Модифікація опроміненням функціональних властивостей перспективних матеріалів сучасної енергетики» № ДР 0113U000055; 2) «Транспортні властивості сильно корельованих анізотропних систем» № ДР 0111U010546; 3) «Розробка та дослідження новітніх матеріалів на основі нанокompозитного діоксиду цирконію і ВТНП-сполук поліфункціонального призначення» № ДР 0113U001078, что также подчёркивает *актуальность рассмотренных в работе проблем*. Работы по теме диссертации опубликованы в хорошо рецензируемых актуальных изданиях и представлены к широкому обсуждению на научных форумах по тематике исследований.

### **Соответствие выбранной специальности.**

Предметом изучения являлись температурные особенности сопротивления ВТСП различного состава, определяемые формулой  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\text{Re} = \text{Y}, \text{Ho}, \text{Pr}$ ), как в сверхпроводящем состоянии, так при  $T \gg T_c$ , то есть в нормальной области. Ввиду этого, соответствие работы Котвицкой К. А. специальности 01.04.07– «физика твёрдого тела» не вызывает сомнений.

**Цель диссертационной работы** Котвицкой К. А. – установление взаимосвязи температурных особенностей электрофизических характеристик монокристаллов  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\text{Re} = \text{Y}, \text{Ho}, \text{Pr}$ ) со структурными и электронными превращениями в интервале температур от гелиевых до 300 К под влиянием гидростатического давления и магнитного поля, а также при изменении содержания кислорода, можно считать достигнутой в рамках поставленных и разрешённых в работе следующих вопросов:

- рассмотрено влияние высокого гидростатического давления, различных уровней допирования и магнитного поля на температурную зависимость электросопротивления  $\rho_{ab}(T)$  и избыточной проводимости в монокристаллах  $\text{Y}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $x \leq 0,05$ ) и  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ;
- предложен механизм, объясняющий влияние давления на режим флуктуационной проводимости в образцах  $\text{Y}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  и обусловленный как изменением соотношения между  $\xi_c$  и  $d$ , так и возможностью смещения уровня Ферми, обусловленной влиянием примесей празеодима;
- выяснены особенности влияния природы редкоземельного иона на интенсивность процессов структурной релаксации в нестехиометричных купратах, и показано, что, независимо от типа иона, уменьшение содержания кислорода приводит к усилению эффектов локализации в купратах  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\text{Re} = \text{Y}, \text{Ho}$ ) и, в конечном итоге, к переходу металл-диэлектрик;

- изучено влияние магнитного поля на слабодопированные монокристаллы  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  и выяснена роль центров пиннинга в обнаруженных эффектах, которая, в свою очередь, зависит как от возможного наличия кислородных кластеров в структуре образца, так и от угла  $\alpha \equiv \angle(H,ab)$  между направлением магнитного поля и базисной плоскостью монокристалла.

### **Обоснованность и достоверность результатов.**

Результаты диссертационной работы получены с использованием современных экспериментальных методов, которые имеют высокую надёжность и обоснованность. Они многократно подтверждались в сравнительных измерениях, использующих различные установки и исследуемые образцы. В той области исследований, которые перекрываются с деятельностью других исследовательских групп, результаты хорошо согласуются с известными из литературы.

### **Новизна полученных результатов.**

Среди приоритетных результатов К. А. Котвицкой, полученных впервые, можно выделить следующие:

1. Показано, что интервал линейной температурной зависимости электросопротивления монокристаллов  $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  ( $x \leq 0,05$ ) заметно расширяется под влиянием давления, в то время как интервал температур, отвечающий псевдощелевому режиму, напротив сужается.
2. Обнаружено, что особенности поведения флуктуационной проводимости в слабо допированных празеодимом монокристаллах  $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  с большой долей вероятности определяются смещением уровня Ферми под влиянием давления.
3. Установлено, что процессы структурной релаксации в купратах существенным образом зависят от природы редкоземельного иона, однако, независимо от типа иона, снижение уровня кислорода в  $ReBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  ( $Re = Y, Ho$ ) приводит к усилению процессов локализации и, в конечном итоге, к переходу металл-диэлектрик.
4. Обнаружено, что под действием магнитного поля на температурной зависимости избыточной проводимости слабо допированных монокристаллов  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  возникает необычный паракогерентный переход в базисной  $ab$ -плоскости, который наблюдается вблизи  $T_C$ .
5. Показана взаимосвязь между увеличением угла  $\alpha \equiv \angle(H,ab)$ , которое приводит к росту величины и ширины пика, отвечающего паракогерентному переходу, и уменьшением роли пиннинга вихревой подсистемы с одновременным усилением объёмного пиннинга в результате присутствия в образце кластеров кислородных вакансий.

### **Полнота освещения результатов диссертации в работах соискателя.**

Диссертация изложена на 129 страницах, включая список литературы, насчитывающий 177 ссылки. Название работы, полностью соответствует её

требованиям, предъявляемым к кандидатской диссертации ДАК Украины, в частности пунктам 9, 11 и 12 «Порядку присуждения наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» от 13 июля 2013 г. № 567, а Котвицкая Клавдия Андреевна заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «физика твёрдого тела».

Ведущий научный сотрудник  
отдела «Транспортных свойства  
проводящих и сверхпроводящих систем»  
ФТИНТ им. Б.И. Веркина НАН Украины,  
доктор физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.



А. Л. Соловьёв



*Калиненко А.Н.*

А. Н. Калининко