

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.308.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «КАБАРДИНО-БАЛКАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Х.М. БЕРБЕКОВА» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 04.10.2024. № 6

О присуждении Рабадановой Аиде Энверовне, гражданину Российской Федерации,
ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Связь электросопротивления с термической деформацией решетки YBCO при переходе в сверхпроводящее состояние» по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния принята к защите 24.05.2024 г., протокол № 4, диссертационным советом 24.2.308.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова» Министерства науки и высшего образования РФ, 360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173, созданного приказом №714/нк от 02.11.2012.

Соискатель Рабаданова Аида Энверовна, 1995 года рождения, в 2018 г. окончила с отличием магистратуру ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет» по направлению 03.04.02 – «Физика», а в 2022 г. окончила очную аспирантуру по специальности: 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния» ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет», получив диплом об окончании аспирантуры с присуждением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь» по направлению подготовки 03.06.01 – Физика и астрономия.

Диссертация выполнена на кафедре физики конденсированного состояния и наносистем ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет».

Научный руководитель – Палчаев Даир Каирович, доктор физико-математических наук, профессор, и.о. заведующего кафедрой физики конденсированного состояния и наносистем ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет».

Официальные оппоненты:

Кульбачинский Владимир Анатольевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики низких температур физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва;

Каменцев Константин Евгеньевич, кандидат технических наук, заведующий лабораторией новых функциональных материалов ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном доцентом кафедры физики твердого тела и наносистем Института лазерных и плазменных технологий, кандидатом физики-математических наук Кузнецовым А.В., зам. заведующего кафедрой физики твердого тела и наносистем № 70, кандидатом физики-математических наук Карцевым П.Ф., директором Института лазерных и плазменных технологий, доктором физико-математических наук, доцентом Кузнецовым А.П., председателем Совета по аттестации и подготовке научно-педагогических кадров, доктором физико-математических наук, профессором Кудряшевым Н.А. и утвержденным ректором НИЯУ МИФИ, доктором физико-математических наук, профессором Шевченко В.И., указала, что диссертационная работа Рабадановой А.Э. представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Новые результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для физики конденсированного состояния. Выводы и рекомендации достаточно обоснованы. Работа отвечает требованиям п.9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор Рабаданова Аида Энверовна, заслуживает присвоения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Соискатель имеет 8 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 4 из них опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 4 работы в МБД Web of Science и Scopus.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Gadzhimagomedov, S.K. YBCO nanostructured ceramics: Relationship between doping level and temperature coefficient of electrical resistance / S.K. Gadzhimagomedov, D.K. Palchaev, Z.K. Murlieva, M.K. Rabadanov, M.Y. Presnyakov, E.V. Yastremsky, N.S. Shabanov, R.M. Emirov, **A.E. Rabadanova** // Journal of Physics and Chemistry of Solids. – 2022. – V. 168. – P. 110811.
2. **Rabadanova, A.E.** Structure and properties of YBCO before and after the short-term exposure of the plasma flow / **A.E. Rabadanova**, S.K. Gadzhimagomedov, D.K. Palchaev, M.H. Gadzhiev, G.B. Ragimkhanov, N.A. Demirov // Journal of Physics: Conference Series. 2019. – V. 1385. – P. 012028.
3. Gadzhimagomedov, S.K. Changes in the surface structure of nanostructured ceramics $YBa_2Cu_3O_{7-y}$ after exposure to a plasma stream / S.K. Gadzhimagomedov, D.K. Palchaev, J.K. Murlieva, M.K. Gadzhiev, G.B. Ragimkhanov, N.A. Demirov, R.M.

Emirov, A.E. Rabadanova, P.M. Saypulaev //Journal of Physics: Conference Series. 2020. – V. 1588. – P. 012009.

4. Рабаданова, А.Э. Влияние термообработки на изменения структуры сверхпроводящих порошков состава YBCO / А.Э. Рабаданова, Д.К. Палчаев, М.Х. Рабаданов, С.Х. Гаджимагомедов, Ж.Х. Мурлиева, Р.М. Эмиров, Н.М.-Р. Алиханов // Вестник Дагестанского государственного университета. Серия 1. Естественные науки. 2021. Т. 36. Вып. 3. С. 37-50.

5. Рабаданова, А.Э. Свойства керамик YBCO в зависимости от допирования кислородом / А.Э. Рабаданова, С.Х. Гаджимагомедов, Д.К. Палчаев, М.Х. Рабаданов, Ж.Х. Мурлиева, Ш.П. Фараджев // Вестник Дагестанского государственного университета. Серия 1. Естественные науки. 2022. Т. 37. Вып. 3. С. 42-57.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. *Положительный отзыв от официального оппонента Кульбачинского Владимира Анатольевича*, где имеются некоторые замечания к работе.

– Нет объяснения, как были получены производные, например, dp/dT , температурные зависимости которых очень гладкие.

– На рисунках не указаны доверительные интервалы. Это особенно необходимо для коэффициентов теплового расширения.

– Не обсуждается, почему в области выше температуры сверхпроводящего перехода, кривые зависимости сопротивления от температуры «зашумлены», например, на рис. 4.6.

– Было бы интересно проверить, применима ли разработанная методика и наблюдаются ли такие же корреляции в других высокотемпературных сверхпроводниках.

2. *Положительный отзыв от официального оппонента Каменцева Константина Евгеньевича*, со следующими замечаниями.

– В работе недостаточно полно приведено описание процедур количественной оценки положения пиков на дифрактограммах, а также определения температурных коэффициентов электросопротивления и теплового расширения.

– Приведены экспериментальные данные по температурным зависимостям сопротивления и теплового расширения для четырех образцов, а корреляционный анализ этих свойств в нормальном состоянии представлен только для двух.

– В литературном обзоре неполно освещены вопросы измерения температурного расширения сверхпроводников, особенно работы за последние годы.

– Кроме того, в работе есть ряд неточных формулировок, например, на страницах 65 и 115.

3. *Положительный отзыв ведущей организации* с замечаниями.

– Неудачно скомпонованы две первые главы диссертации с литературными данными и вводной информацией по тематике исследований. Вторая глава содержит материалы и понятия, частично используемые в первой, поэтому при перестановке

глав заключенная в них информация воспринималась бы значительно легче и эффективней.

– В описании экспериментальных методов отсутствуют данные о методике измерения теплоемкости, хотя данные о ее температурной зависимости приводятся в диссертации. Описание метода измерения электросопротивления не позволяет оценить мощность, рассеиваемую в образцах, так как не указаны характерные величины измерительных токов и сопротивления контактов на образцах. Учитывая низкую теплопроводность ВТСП керамик, даже относительно небольшая мощность может вызвать нагрев образцов, не детектируемый термометром держателя образца.

– Для одной из серий образцов используется неудачное наименование «монокристаллические», вводящее читателей в заблуждение и приводящее к таким казусам как, например, «у монокристаллических образцов, а тем более монокристаллических» на с. 52 или упоминающиеся на с. 86 кристаллиты монокристаллического образца. В методике приготовления таких образцов на с. 60 указано, что они суть текстурированные керамики с ориентированной осью *c* кристаллической структуры, поэтому в последующем тексте их следовало бы именовать высокотекстурированные или *c*-текстурированные образцы.

– В работе выполнены прецизионные дифракционные измерения кристаллической структуры керамик, состоящих из фаз с разным кислородным индексом. Наличие таких фаз должно приводить к уширению дифракционных пиков, поэтому полученные параметры структуры не могут иметь точность 10^{-6} – 10^{-5} Å, приведенную для некоторых значений на с. 93 и 104.

– Приведенный в диссертации графический материал имеет хорошее качество, однако шрифт подписи осей ординат многих графиков слишком мелок, и порой без отсылки из текста трудно понять, какая величина построена. Обсуждение корреляций различных параметров в области сверхпроводящего перехода построено на основе рисунков 5.5-5.10. На некоторых из них графики построены в различающихся диапазонах температур и приведены на странице «в ряд», что затрудняет восприятие информации читателем. Для каждого образца следовало бы привести все данные относительно общей оси температур, расположив графики друг над другом.

– Список литературы, включающий 115 источников, хорошо отражает современное состояние исследований по теме диссертации, однако один из источников не процитирован: за ссылкой [8] на с. 5 следует ссылка [10] на с. 11.

– Текст диссертации написан хорошим языком, но при этом содержит значительное количество опечаток, например, «снижению электросопротивление» на с. 22, «объема которого» на с. 64, «можно определялось» на с. 90 и др.

– В автореферате, полностью соответствующем *содержанию* диссертации, формально отсутствует описание пятой главы. Ее содержание изложено, начиная с рисунка 5, без разграничения с описанием четвертой главы.

4. Положительный отзыв от Фетисова Андрея Вадимовича, доктора химических наук, старшего научного сотрудника лаборатории статики и кинетики

процессов Федерального государственного бюджетного Учреждения науки Института металлургии Уральского отделения РАН (г. Екатеринбург). Отмечаются следующие замечания и вопросы.

– В работе использован неудачный термин, касающийся температурных коэффициентов КТР и электросопротивления – «нулевые значения» этих коэффициентов. Это, скорее, будут их «начальные значения перед сверхпроводящим переходом».

– В работе рассмотрены только лишь литературные источники, в которых подтверждаются выводы автора относительно корреляций температурного хода электросопротивления и термического расширения параметров решетки в области сверхпроводящего перехода. Вместе с тем существуют работы, в которых не обнаружено каких-либо заметных изменений параметров решетки и объема $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ в данной области. С чем связано такое расхождение в результатах разных авторов? Является ли это следствием недостаточно точных измерений параметров решетки в ряде исследований или причина в чем-то другом?

– Не возможен ли такой вариант, что не изменение объема (параметров решетки) способствует допированию $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ зарядовыми возбуждениями в структурных плоскостях, ответственных за высокотемпературную сверхпроводимость, а, наоборот, перераспределение носителей заряда между структурными плоскостями сверхпроводника и их электростатическое взаимодействие ответственно за изменение объема (параметров решетки) $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$?

– Если изменение объема (параметров решетки) иттрий-бариевого купрата действительно влияет на степень его допирования зарядовыми возбуждениями, то, изменяя объем сверхпроводника искусственно, т.е. воздействуя на него давлением, можно регулировать концентрацию зарядовых возбуждений в нем. Можно ли таким образом увеличить температуру сверхпроводящего перехода T_c ?

5. Положительный отзыв от Гурьева Валентина Васильевича, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника НБИКС-ИТТ НИЦ «Курчатовский институт» (г. Москва). В качестве замечания отмечает, что в работе не обсуждаются потенциальные корреляции структуры с изменением магнитных свойств, что может ограничить полноту анализа процессов формирования сверхпроводящего состояния в YBCO, и стоит рассмотреть возможность дальнейших исследований в этом направлении.

6. Положительный отзыв от Гасумянца Виталия Эдуардовича, доктора физико-математических наук, профессора Высшей инженерно-физической школы Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (г. Санкт-Петербург). По автореферату имеются следующие замечания и вопросы.

– Указано, что как керамические, так и монокристаллический образцы, использованные для проведения исследований, содержали фазы с различным уровнем легирования. Во-первых, не ясно, чем вызвана подобная ситуация, поскольку технология получения однофазных образцов ВТСП системы YBCO является достаточно отработанной, во-вторых, наличие дополнительной

особенности на температурной зависимости сопротивления в области сверхпроводящего перехода в случае керамических образцов обычно связывается с различиями в свойствах гранул керамики и их границ, что не обсуждается автором.

– В четвертом из основных результатов работы автор указывает на сравнение результатов, полученных при исследовании не только электросопротивления и коэффициента теплового расширения, но и теплоемкости. Однако данные для этого эффекта в автореферате не представлены, а измерение теплоемкости не упоминается при перечислении использованных в работе методик исследования (описание содержания главы 3 диссертационной работы).

– Температурная зависимость удельного сопротивления для монокристаллического образца (рис. 2b) содержит, выше температуры сверхпроводящего перехода, две особенности, наблюдаемые при $T \approx 180$ К и $T \approx 130$ К. Первая связывается автором с переходом в псевдощелевое состояние, причина второй никак не обсуждается.

– Значения удельного сопротивления для керамических образцов, использованных при проведении исследований, при комнатной температуре составляют более 4 мОм·см. Обычно качественные керамические образцы системы YBCO, демонстрирующие значение критической температуры $T_c \approx 90$ К, имеют удельное сопротивление около 1 мОм·см или даже ниже. С чем связано относительно высокое значение данной величины у образцов, синтезированных автором?

7. Положительный отзыв от Ильиных Нины Иосифовны, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника лаборатории порошковых и композиционных материалов Института металлургии Уральского отделения РАН (г. Екатеринбург). Есть замечания: из текста автореферата неясно, какие методы синтеза были использованы при изготовлении образцов и каким образом определялись структура и T_c полученных образцов.

8. Положительный отзыв от Гохфельда Дениса Михайловича, доктора физико-математических наук, старшего научного сотрудника лаборатории сильных магнитных полей института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук (г. Красноярск). В качестве замечаний отмечено, что следовало также провести анализ флуктуационной проводимости из температурных зависимостей сопротивления вблизи критической температуры, используя подход Асламазова-Ларкина, что при сравнении результатов анализа флуктуационной проводимости и изменения температурных коэффициентов сопротивления и теплового расширения могло бы дать более полное понимание природы наблюдаемых явлений.

Во всех поступивших отзывах отмечается актуальность и новизна проведенного исследования, ее практическая и теоретическая значимость. Во всех отзывах делается вывод, что диссертационная работа «Связь электросопротивления с термической деформацией решетки YBCO при переходе в сверхпроводящее состояние» соответствует необходимым критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013, №842 (в актуальной редакции), предъявляемых к

кандидатским диссертациям, а ее автор Рабаданова Аида Энверовна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что:

- официальные оппоненты являются авторитетными специалистами в исследуемой области. У них имеются публикации в ведущих отечественных и зарубежных научных журналах, индексируемых в МБД Web of Science, Scopus и RSCI.
- научные исследования сотрудников Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (г. Москва), а также их публикации полностью соответствуют тематике диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработан** способ получения $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ керамики с текстурой роста микрокристаллитов, преимущественно, в направлении параметра c ;
- **установлено**, что дополнительное насыщение монокристаллических образцов в микропорошках того же состава привело к увеличению в них содержания кислорода;
- **получены** данные по температурным зависимостям электросопротивления и теплового расширения на одних и тех же образцах микрокристаллических и монокристаллических $YBCO$ в нормальном и сверхпроводящем состояниях;
- **показано** наличие линейной корреляции между температурными коэффициентами электросопротивления и теплового расширения для оптимально допированных $YBCO$ в нормальном и псевдощелевом состояниях с коэффициентом корреляции $\sim 0,99$;
- **установлено**, что для образцов, содержащих несколько сверхпроводящих фаз различной стехиометрии, до перехода в сверхпроводящее состояние объем элементарной ячейки кристаллической структуры уменьшается для каждой из фаз;
- **показано**, что начало сверхпроводящего перехода, определяемое по температурной зависимости электросопротивления, сопровождается сжатием решетки, с последующим резким увеличением ее объема в области срединных значений T_c , и стремлением к нулю после перехода фазы в сверхпроводящее состояние;
- **показано**, что изменения решетки в направлениях a и b коррелируют, при этом площадь элементарной ячейки, перпендикулярной направлению c , оказывается постоянной в сверхпроводящем состоянии;
- **установлено**, что для образцов $YBCO$ в области перехода в сверхпроводящее состояние, отклонения коэффициентов теплового расширения от своих нулевых значений происходят с изменением знака для каждой из сверхпроводящих фаз, в отличие от производной электросопротивления по температуре.

Теоретическая значимость обусловлена тем, что:

- результаты могут быть **использованы** для развития теории проводимости и высокотемпературной сверхпроводимости, а также при прогнозировании и создании

ВТСП материалов с заданными характеристиками, в том числе со значениями T_c , выше достигнутых;

- установленная корреляция температурных коэффициентов электросопротивления и теплового расширения может **способствовать** пониманию явлений «псевдощели» и «странного металла», наблюдаемых в нормальном состоянии YBCO;
- наличие корреляции электросопротивления с термической деформацией решетки может **служить основой** для интерпретации природы возникновения зарядовых возбуждений и их релаксации в ВТСП.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- экспериментальные данные, полученные в работе, могут быть **использованы** при создании новых и расширении существующих баз данных по температурным коэффициентам электросопротивления и теплового расширения ВТСП материалов;
- установленные корреляции электросопротивления с тепловым расширением параметров решетки **обеспечивают** возможность количественной оценки электрических свойств по данным термической деформации и, наоборот, по изменению электрических свойств судить об изменениях межатомных расстояний.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

- температурные зависимости электросопротивления, теплового расширения параметров решетки и теплоемкости **получены** для одних и тех же образцов на высокотехнологичных измерительных установках, реализующих хорошо апробированные методы;
- для всех свойств, исследованных в различных лабораториях, температуры перехода в сверхпроводящее состояние и аномалий, наблюдаемых в нормальном состоянии, **согласуются** в пределах погрешности их определения;
- корреляция температурных зависимостей электросопротивления и теплового расширения **воспроизводится** для всех исследованных образцов;
- полученные в работе результаты **согласуются** с признанными теоретическими положениями и экспериментальными данными других авторов.

Личный вклад соискателя состоит в том, что:

- основные результаты диссертационной работы получены **непосредственно при участии** диссертанта под руководством своего научного руководителя;
- исследования, предусмотренные решаемой задачей, обоснование полученных результатов, формулировки новизны, практической значимости, а также изложение содержания диссертационной работы выполнены автором самостоятельно;
- соискатель принимал **личное участие** в обсуждении и интерпретации научных результатов со своими соавторами.

На заседании 04.10.2024 (протокол № 6) диссертационный совет принял решение присудить Рабадановой Аиде Энверовне ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния за решение научной задачи по установлению связи между температурными зависимостями электросопротивления и теплового расширения в

нормальном состоянии и при переходе в сверхпроводящее состояние, имеющей значение для развития физики конденсированного состояния.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **15** человек, из них **8** докторов наук по специальности 1.3.8-физика конденсированного состояния, участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за **15**, против **0**, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель
диссертационного совета 24.2.308.01
д. ф.-м. наук, профессор

 О.Г. Ашхотов

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.308.01
д. ф.-м. наук, профессор

 А.А. Дышеков

4 октября 2024 г.