



УТВЕРЖДАЮ
Ректор НИЯУ МИФИ
доктор физ.-мат. наук

В.И. Шевченко

« 09 » сентября 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский ядерный
университет «МИФИ»

на диссертационную работу Рабадановой Аиды Энверовны «**Связь
электросопротивления с термической деформацией решетки YBCO при
переходе в сверхпроводящее состояние**», представленную на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности
1.3.8 – «физика конденсированного состояния» в диссертационный совет
24.2.308.01 при ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный
университет им. Х.М. Бербекова».

Диссертация А.Э. Рабадановой посвящена исследованию связи электро-
сопротивления высокотемпературного сверхпроводника (ВТСП) $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$
с тепловым расширением, обусловленным ангармонизмом колебаний ионов.
В работе убедительно показано, что данная связь наблюдается как в нор-
мальном состоянии, так и при переходе в сверхпроводящее состояние. Ранее
было установлено, что температурные зависимости параметров решетки дан-
ного соединения и других ВТСП имеют особенности в области сверхпрово-
дящего перехода, однако ввиду малой ширины температурного диапазона
перехода систематически они не изучались. Ангармонизм колебаний ионов и
изменение расстояний между ними в области перехода являются важными,
возможно даже решающими, факторами, участвующими в формировании
высокотемпературной сверхпроводимости, и это определяет **актуальность**
темы исследований диссертационной работы А.Э. Рабадановой.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, раздела с ос-
новными результатами и выводами и списка цитированной литературы из
115 источников. Общий объем составляет 148 страниц, включая 73 рисунка и
3 таблицы.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сфор-
мулированы цель и задачи диссертационной работы, определены новизна и
практическая значимость, изложены положения, выносимые на защиту,
обоснована достоверность полученных результатов и соответствие диссерта-
ции Паспорту специальности 1.3.8 – «физика конденсированного состояния».

В первой главе проведен анализ проблем, связанных с интерпретацией
температурных зависимостей электросопротивления сверхпроводников. Сде-

лан обзор экспериментальных фактов о значимости изменения объема в формировании температурных зависимостей электросопротивления металлических проводников. Приводятся литературные экспериментальные данные, свидетельствующие о разрыве температурной зависимости объема элементарной ячейки ВТСП, в том числе в $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, вблизи критической температуры.

Во второй главе описаны особенности структуры $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, обсуждается влияние изменения кислородной стехиометрии на формирование электронной и кристаллической структуры, в частности, возможные процессы повышения уровня допирования $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ при увеличении содержания кислорода, основанные на факте смещения ионов в элементарной ячейке.

В третьей главе описаны технология получения исследованных образцов YBCO и методики исследования их структуры и электросопротивления. Для установления корреляций изменений параметров решетки с особенностями электросопротивления в области сверхпроводящего перехода при синтезе материалов был сделан целенаправленный упор на получение образцов с различным содержанием кислорода и большой шириной перехода. Получены образцы, содержащие сверхпроводящие фазы с различными значениями критической температуры от $T_c \sim 82\text{K}$ до $T_c \sim 90.5\text{K}$. В результате вариации технологических параметров удалось реализовать новый способ получения $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ керамики с текстурой роста микрокристаллитов, преимущественно, в направлении параметра c . На данную технологию получено свидетельство на ноу-хау.

В четвертой главе представлены результаты исследований температурных зависимостей электросопротивления и теплового расширения многофазных образцов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ в интервале от комнатных температур до окончания перехода в сверхпроводящее состояние. Для разных сверхпроводящих фаз определены срединные критические температуры перехода в сверхпроводящее состояние. Установлено, что до перехода в сверхпроводящее состояние, объем элементарной ячейки кристаллической структуры уменьшается. Далее для каждой из сверхпроводящих фаз, характеризующихся определенным значением критической температуры, начало сверхпроводящего перехода, определяемое по температурной зависимости электросопротивления, сопровождается сжатием решетки, после чего объем ее ячейки резко увеличивается в области срединных значений T_c , а после перехода фазы в сверхпроводящее состояние изменение объема стремится к нулю. Показано, что изменениям решетки в направлениях a и b свойственна корреляция, при которой площадь элементарной ячейки, перпендикулярной направлению c , оказывается постоянной на интервале сверхпроводящего перехода.

В пятой главе анализируется корреляция температурных зависимостей температурных коэффициентов электросопротивления α_p и теплового расширения α_v в нормальном состоянии и на интервале перехода в сверхпроводящее состояние. Установлено, что в микрокристаллическом образце в интер-

вале температур от ~ 290 К до ~ 140 К, до достижения псевдощелевого состояния, наблюдается линейная связь между этими параметрами с коэффициентом корреляции $K \sim 0.992$, при которой рост α_V сопровождается ростом α_p . В псевдощелевом состоянии, на интервале от 120 К до 95 К, связь также линейна ($K \sim 0.977$), но рост α_V сопровождается уменьшением α_p . Для высокотекстурированного образца установлена линейная корреляция между электросопротивлением и объемом образца с коэффициентом корреляции, близким к 0.99.

В заключительном разделе диссертации сформулированы ее основные результаты и выводы.

Диссертационная работа А.Э. Рабадановой обладает **научной новизной**. На основе экспериментальных данных, полученных на одних и тех же образцах $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, содержащих несколько сверхпроводящих фаз, установлено наличие линейной корреляции между температурными коэффициентами электросопротивления и теплового расширения в нормальном состоянии и показано, что при переходе в сверхпроводящее состояние каждой сверхпроводящей фазы наблюдается положительный скачок объема.

Экспериментальные данные, полученные в работе, могут служить основой для создания расширенной базы данных по температурным коэффициентам электросопротивления и теплового расширения ВТСП материалов, что определяет **практическую значимость** проведенных исследований. Модернизированная технология синтеза материалов, защищенная правом ноу-хау (свидетельство регистрации №82 «Получение текстурированного микрокристаллического порошка соединения $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ » от 29.09.2022) позволяет получать текстурированные керамики.

Диссертационная работа А.Э. Рабадановой прошла надежную **апробацию**. По результатам диссертационного исследования опубликованы 8 статей, из них 4 статьи в рецензируемых журналах, входящих в Перечень ВАК, и 5 статей в журналах, входящих в международные базы Scopus и Web of Science в российских и международных журналах. Результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на шести российских и международных научных конференциях.

Обоснованность и достоверность результатов и выводов, представленных в диссертации, обеспечена проведением измерений всех физических параметров на одних и тех же образцах на высокотехнологичных измерительных установках, реализующих хорошо апробированные методы. Исследования в различных лабораториях аномалии свойств образцов наблюдались при одинаковых температурах в пределах погрешности их определения. Полученные результаты согласуются с признанными теоретическими положениями и экспериментальными данными других авторов.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации и представленным в ней основным результатам и выводам.

При общем положительном впечатлении от диссертационной работы А.Э. Рабадановой имеются, тем не менее, следующие **вопросы и замечания**:

1. 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.

2. 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.

3. Для одной из серий образцов используется неудачное наименование «монокристаллы», вводящее читателей в заблуждение и приводящее к таким казусам как, например, «у монокристаллов 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 с кристаллической структуры, поэтому в последующем тексте их следовало бы именовать высокотекстурированные или с-текстурированные образцы.

4. 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.

5. 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 их 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.

6. 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.

7. 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.

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

Указанные замечания, часть из которых носит характер пожеланий, не снижают общую высокую оценку диссертационной работы А.Э. Рабадановой. Диссертация представляет собой полноценную экспериментальную работу, рассмотренные в ней вопросы актуальны и представляют в настоящее время значительный интерес для физики конденсированного состояния, полученные данные свидетельствуют о высоком качестве выполненных исследований. Тема и содержание диссертации соответствует научным направлениям, рассматриваемым на диссертационном совете 24.2.308.01 при ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова». Научные положения, выносимые на защиту, сформулированы правильно и обоснованно. Многочисленные рисунки и графики хорошо иллюстрируют основные результаты и выводы.

Принимая во внимание отмеченную актуальность проведенных исследований, новизну, научную и практическую значимость полученных результатов, считаем, что представленная к защите диссертационная работа является оригинальным вкладом в развитие физики высокотемпературной сверхпроводимости, она удовлетворяет всем требованиям действующего Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым 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».

Диссертация А.Э. Рабадановой и отзыв ведущей организации заслушаны, обсуждены и одобрены на заседании кафедры физики твердого тела и наносистем Института лазерных и плазменных технологий Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (протокол № 8 от 5 сентября 2024 г.). Отзыв одобрен единогласно участвовавшими в заседании специалистами путем открытого голосования: «за» - 15 человек, «против» - 0 человек (нет), «воздержались» - 0 человек (нет).

Отзыв составил:

Кузнецов Алексей Владимирович, к.ф.-м.н. по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, доцент кафедры физики твердого тела и

наносистем Института лазерных и плазменных технологий Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».

« 9 » сентября 2024 г.

А.В. Кузнецов

Зам. заведующего кафедрой физики
твёрдого тела и наносистем № 70,
к.ф.-м.н.

П.Ф. Карцев

Директор Института лазерных и
плазменных технологий,
д. ф.-м.н., доцент

А. П. Кузнецов

Председатель Совета по аттестации и
подготовке научно-педагогических кадров,
д. ф.-м. н., профессор

Н. А. Кудряшов

Почтовый адрес: 115409, г. Москва, Каширское ш., д. 31

Телефон: +7(495) 788 56 99, доб. 9020

Адрес электронной почты: avkuznetsov@mephi.ru

Организация – место работы: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»; web-сайт организации: <http://www.mephi.ru>

ПОДПИСЬ
ЗАВЕРЯЮ

Начальник отдела по
работе с научно-педаго-
гическими работниками
Е. Ф. Хохло

