

Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Ильнура Илхамовича Гимазова «Исследование короткоживущих возбуждений в купратных и железосодержащих сверхпроводниках», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12 – физика магнитных явлений

Актуальность диссертационной работы

Механизмы сверхпроводимости новых сверхпроводников, к которым принадлежат исследованные в диссертационной работе купратные и железосодержащие сверхпроводники, до сих пор являются предметом активных теоретических и экспериментальных исследований. Ряд теорий связывает возникновение сверхпроводящих пар с магнитными (спиновыми) и зарядовыми флуктуациями и корреляциями. В диссертации с помощью различных экспериментальных методов изучены особенности транспортных и магнитных характеристик купратных и железосодержащих сверхпроводников, исследованы области существования флуктуаций на их фазовой диаграмме.

Таким образом тема диссертации и ее конкретные результаты несомненно **актуальны**, как с фундаментальной точки зрения, так и для приложений, связанных с повышением критических параметров, а также для поиска новых высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП).

Общая характеристика диссертации

Диссертационная работа И.И. Гимазова посвящена экспериментальным исследованиям нескольких классов новых сверхпроводников: лантановых и висмутовых купратов с различным легированием, железосодержащих сверхпроводников (пниктидов и халькогенидов железа) с помощью СВЧ измерений, изучения электронного спинового резонанса, температурной зависимости сопротивления и магнитной восприимчивости. Основной целью

было определение границ области существования зарядовых и магнитных возбуждений на фазовой диаграмме указанных сверхпроводников.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Она основана на восьми публикациях в ведущих физических журналах, рекомендованных ВАК, патенте и нескольких докладах на российских и международных конференциях. Во Введении обсуждается актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи, перечислены методы исследований, обосновываются научная новизна и практическая значимость, а также перечислены положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации обсуждаются физические основы экспериментальных методов, использованных для изучения короткоживущих возбуждений в исследованных соединениях: низкотемпературные СВЧ измерения нерезонансного микроволнового поглощения и электронного спинового резонанса, резистивные измерения на постоянном токе и измерения высокочастотной магнитной восприимчивости. Представленный в диссертации патент посвящен разработке установки для регистрации магнитных свойств высокотемпературных сверхпроводников в широких диапазонах температур и магнитных полей в непрерывном режиме. Для автоматизации эксперимента и одновременной регистрации большого количества физических величин создана универсальная программа, отображающая измеряемые данные в режиме реального времени.

В Главе 2 представлены исследования флуктуаций сверхпроводящего параметра порядка в купратных сверхпроводниках $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Y}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$, в которых изменение концентрации иттрия x позволяет получать образцы с разной плотностью носителей тока: передопированные, оптимально допированные и недодопированные образцы. В основе представленных выводов лежат измерения температурной зависимости микроволнового поглощения (МВП) выше критической температуры сверхпроводящего перехода и их сравнение с поведением магнитной восприимчивости и dc сопротивления. Для передопированного образца эти три метода показывают одинаковую температуру перехода T_c в сверхпроводящее состояние, что свидетельствует об однородности этого соединения, тогда как для оптимально

допированного образца величина T_c , определяемая с помощью измерения МВП и dc сопротивления смещена в область более высоких температур по сравнению с T_c , полученной при измерениях восприимчивости. Кроме того, на температурной зависимости МВП для оптимально допированного образца обнаружен максимум (пик потерь) вблизи критической температуры, который, как было показано, связан со сверхпроводящими флуктуациями вблизи T_c . Пик потерь исчезал в геометрии эксперимента, при которой микроволновые токи возбуждались только в высокопроводящих плоскостях (ab), в которых, фактически, флуктуации отсутствовали. Для недодопированных образцов (с наибольшей областью флуктуаций) пик потерь наблюдался в более широком интервале температур по сравнению с оптимально допированным случаем. Таким образом, основным результатом этой главы является определение границы области существования флуктуаций сверхпроводящего параметра порядка на фазовой диаграмме «температура–концентрация носителей заряда» в исследованных кристаллах висмутовых ВТСП. Показана корреляция между псевдощелевым состоянием и сверхпроводящими флуктуациями в этих соединениях: область сверхпроводящих флуктуаций уменьшается с увеличением концентрации носителей и должна соответствовать верхней границе псевдощелевого состояния.

Глава 3 посвящена исследованиям динамических волн зарядовой плотности (ВЗП) в кристаллах $La_{2-x}Sr_xCuO_4$. Целью являлось изучение эволюции ВЗП с изменением концентрации носителей, исследование области конкуренции сверхпроводимости и ВЗП, определение концентрации носителей заряда с максимально возможной температурой существования ВЗП. Показано, что область существования ВЗП в $La_{2-x}Sr_xCuO_4$, которая была измерена в диссертационной работе с помощью микроволнового поглощения, чувствительного к короткоживущим возбуждениям, значительно шире диапазона, определенного ранее с помощью структурных исследований. Для разделения вкладов от ВЗП и флуктуаций сверхпроводящего параметра порядка вблизи критической температуры было изучено влияние магнитного поля на амплитуду микроволнового поглощения в зависимости от температуры, поскольку вклад ВЗП не подвергается влиянию магнитного

поля. Обнаруженное расширение области существования ВЗП в сторону малых концентраций носителей подтвердило идею об определяющем вкладе динамических ВЗП в проводимость этих материалов.

В Главе 4 представлены результаты исследований магнитного состояния и спиновых флуктуаций в железосодержащих сверхпроводниках. В настоящее время активно обсуждается влияние магнитных корреляций на формирование сверхпроводимости в новых сверхпроводниках. В разделе 4.3 электронный спиновый резонанс (ЭСР) использовался для исследования магнитного состояния EuFe_2As_2 , поскольку из литературы известно, что магнитное упорядочение ионов европия сохраняется и в сверхпроводящей фазе подобных соединений, например, при изовалентном замещении мышьяка фосфором. Целью было оценить обменное поле и поле анизотропии в этих кристаллах, определить вид магнитной анизотропии и установить тип симметрии доменов. Было показано, что появление поля анизотропии и взаимодействия между подрешетками ниже температуры T_m перехода в магнитоупорядоченное состояние приводит к значительному увеличению резонансного поля. Кроме того, сигнал разделялся на две составляющие, что обусловлено наличием двух групп магнитных доменов перпендикулярных друг другу. Был сделан вывод, что EuFe_2As_2 проявляет себя как антиферромагнетик с плоскостью легкого намагничивания, причем внутри этой плоскости существует ось легкого намагничивания, ориентированная параллельно кристаллографической оси a . Для исследования короткоживущих возбуждений в железосодержащих сверхпроводниках и критического поведения спиновых флуктуаций вблизи фазового перехода в EuFe_2As_2 были выполнены измерения нерезонансного микроволнового поглощения. Был исследован характер взаимодействия магнитных флуктуаций вблизи критической температуры. Установленный антиферромагнитный характер магнитных корреляций указывает на возможность влияния магнитных корреляций на транспортные свойства. В частности, поскольку сверхпроводимость в этих соединениях возникает в проводящих плоскостях FeAs , то вполне вероятно наблюдать влияние этих магнитных корреляций на сверхпроводящие свойства.

Область существования спиновых флуктуаций была определена также в халькогенидах железа $Fe_{1+y}Te_{1-x}Se_x$. Сравнение данных, полученных на высоких и низких частотах, позволило выделить две области температур со спиновыми флуктуациями двух типов. Вблизи сверхпроводящего перехода определены границы изотропных флуктуаций, а в области высоких температур анизотропных магнитных флуктуаций с симметрией параметра порядка страйпового типа. Известно, что последние способствуют установлению нематического порядка при изменении структуры кристаллической решетки из тетрагональной в орторомбическую в соединении FeSe.

В Заключение сформулированы основные результаты диссертационной работы, которые свидетельствуют о том, что выполнены подробные экспериментальные исследования, связанные с изучением областей существования зарядовых и спиновых флуктуаций на фазовой диаграмме купратных и железосодержащих сверхпроводников.

Новизна и достоверность работы

В диссертации получен целый ряд новых результатов. В частности, можно отметить уточнение границ флуктуаций сверхпроводящего параметра порядка в $Bi_2Sr_2Ca_{1-x}Y_xCu_2O_{8+y}$, области существования волн зарядовой плотности в $La_{2-x}Sr_xCuO_4$, а также области существования изотропных и анизотропных спиновых флуктуаций в халькогенидах железа. Эти и другие положения, выносимые на защиту, а также сделанные выводы являются полностью обоснованными, что подтверждается адекватностью использованных современных методов, согласованностью полученных результатов и сделанных выводов между собой и с литературными данными.

Научная и практическая значимость работы

Полученные результаты, прежде всего, являются важными для развития теоретического описания фундаментальных свойств высокотемпературных

сверхпроводников, механизмов возникновения сверхпроводимости в них. Сведения о границах зарядовых и спиновых флуктуаций на фазовых диаграммах «температура - концентрация носителей заряда», несомненно, полезны для определения взаимосвязи между сверхпроводимостью и другими упорядоченными фазами в купратных и железосодержащих сверхпроводниках. Эти данные, в частности, позволят выбрать оптимальные уровни допирования для получения максимальной критической температуры практических устройств и изделий из ВТСП.

Замечания

В качестве замечаний можно отметить следующие моменты.

1. В Главе 2, на мой взгляд, дано недостаточное обсуждение связи сверхпроводящих флуктуаций с псевдощелевым состоянием (псевдощелью в нодальном направлении). Сделан лишь общий вывод о корреляциях этих двух явлений. Из данных, приведенных на рисунках 2.3 и 2.12, можно видеть, что эти области расходятся при уменьшении концентрации носителей. В связи с очень скудным литературным обзором, состоящим, фактически, из ссылок на публикации, затруднительно понять, например, как границы этих областей определялись с помощью метода ARPES в работе [32].
2. В постановке задачи к Главе 3 (раздел 3.1) диссертант отмечает, что есть предположение, что псевдощель в антинодальном направлении имеет магнитную природу. Более того, в работе [65], на которую есть ссылка в диссертации, написано, что периодичность ВЗП сосуществует с несоизмеримым магнитным порядком. В ряде других работ также отмечается, что в ВТСП сосуществуют ВЗП и волны спиновой плотности. В Главе 3 диссертации, к сожалению, исследования ограничиваются только исследованием границ существования ВЗП. Было бы важно продолжить изучение магнитной природы псевдощелевого состояния и спиновых флуктуаций в $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$, применив магнито-резонансные и другие методы, использованные в диссертации.
3. В тексте используется много сокращений и аббревиатур, затрудняющих чтение. Например, не вполне понятна целесообразность использования в

тексте таких сокращений как «ФД» – «фазовая диаграмма», что приводит к появлению в тексте предложений типа: «Измерение МВП на ФД ВТСП».

Сделанные замечания носят характер пожеланий или относятся к форме представления материала и не снижают значимости диссертационного исследования и общей высокой оценки работы.

Заключение

В целом диссертация И.И. Гимазова выполнена и изложена на высоком научном уровне, она является цельным и законченным исследованием, направленным на решение актуальной задачи - исследование короткоживущих возбуждений в купратных и железосодержащих сверхпроводниках. Полученные диссертантом результаты имеют существенную научную и практическую значимость. Автореферат и опубликованные работы подробно и правильно отражают содержание диссертации. Представленные результаты докладывались на престижных международных семинарах и конференциях.

Диссертационная работа «Исследование короткоживущих возбуждений в купратных и железосодержащих сверхпроводниках» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям согласно пп. 9-14 Положения ВАК РФ № 842 от 24.09.2013, а ее автор Ильнур Илхамович Гимазов заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12 – физика магнитных явлений.

16.02.2024

Главный научный сотрудник ИФТТ РАН

Зав. лабораторией сверхпроводниковой

наноэлектроники МФТИ

д.ф.-м.н., проф.

Подпись В. В. Рязанов удостоверяю:

Ученый секретарь ИФТТ РАН

16.02.2024



В.В. Рязанов

А.Н. Терещенко

Официальный оппонент:

Рязанов Валерий Владимирович

Доктор физико-математических наук,
Профессор, главный научный сотрудник Лаборатории сверхпроводимости
«Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт
физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук
(ИФТТ РАН)»

Заведующий лаборатории сверхпроводниковой наноэлектроники
«Московский физико-технический институт (национальный
исследовательский университет)»

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена
диссертация: 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Рабочий почтовый адрес:

142432, Московская область, г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, д.2.
«Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт
физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук
(ИФТТ РАН)».

Тел.: 7 (496) 522-25-74; e-mail: ryazanov@issp.ac.ru