

Отзыв официального оппонента

Глазкова Василия Николаевича

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»

Диссертационная работа Ильнура Илхамовича Гимазова «Исследование короткоживущих возбуждений в купратных и железосодержащих сверхпроводниках» посвящена комплексному экспериментальному исследованию материалов, демонстрирующих сверхпроводящие свойства.

Актуальность исследования связана с интересом к высокотемпературным сверхпроводникам, который связан и с потенциалом их практического применения, и с фундаментальными вопросами объяснения природы высокотемпературной проводимости. Характерными особенностями многих высокотемпературных сверхпроводников являются: слоистая структура с сильной анизотропией проводящих свойств в нормальном состоянии, большая чувствительность температуры сверхпроводящего перехода к стехиометрии химического состава материала, богатые фазовые диаграммы с конкуренцией (а иногда сосуществованием) магнитно-упорядоченных и сверхпроводящих фаз. Также характерной особенностью материалов со свойствами высокотемпературных сверхпроводников является наличие так называемого псевдощелевого состояния выше температуры сверхпроводящего перехода. Природа возникновения высокотемпературной сверхпроводимости часто связывается с участием спиновой (магнитной) подсистемы в спаривании электронов, что делает необходимым комплексный анализ свойств как проводящей, так и магнитной подсистем.

Целью проведенного экспериментального исследования было получить новые экспериментальные данные для нескольких активно изучающихся сверхпроводящих материалов: сверхпроводниках на основе медь-содержащих материалов $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Y}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$ и $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$, а также в железосодержащих сверхпроводниках EuFe_2As_2 и $\text{Fe}_{1+y}\text{Te}_{1-x}\text{Se}_x$. Использовались несколько дополняющих друг друга методов: статические измерения сопротивления, низкочастотное измерение магнитной восприимчивости, спектроскопия магнитного резонанса и измерение нерезонансного высокочастотного (~ 10 ГГц) поглощения. Сравнительный анализ полученных результатов позволил сделать выводы о механизмах формирования сверхпроводящего состояния в этих материалах.

Отдельно необходимо отметить, что для проведения этих экспериментальных исследований при непосредственном участии И.И.Гимазова были разработаны измерительные ячейки, работающие в интервале температур от гелиевой до комнатной, модернизированы схемы измерения. Таким образом, имеется несомненный и существенный личный вклад автора и в подготовку экспериментов, и в их непосредственное проведение, и в обработку и анализ результатов.

Полученные результаты представляют интерес для дальнейшего развития понимания свойств высокотемпературных сверхпроводников, а развитые в работе методические наработки представляют общий интерес для специалистов, занимающихся магнитно-резонансной спектроскопией и исследованиями высокочастотных свойств материалов.

Текст диссертационной работы И.И.Гимазова достаточно хорошо организован, содержит введение, четыре содержательные главы и заключение. Текст сопровождается большим количеством рисунков, иллюстрирующих основные результаты работы.

Во введении кратко описываются особенности высокотемпературных сверхпроводников по сравнению с «традиционными» сверхпроводниками, описываемыми моделью БКШ, а также формулируются задачи диссертационного исследования и анонсируются основные выводы.

В первой главе описываются физические основы используемых методик измерения (измерения сопротивления, восприимчивости, высокочастотного импеданса, магнитного резонанса) и описывается устройство используемых в работе оригинальных измерительных комплексов

Во второй главе описываются результаты экспериментального изучения медь-содержащих сверхпроводников из семейства $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Y}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$. Целью исследования было наблюдение флуктуаций сверхпроводящего параметра порядка, проявляющихся в возникновении дополнительных высокочастотных потерь в образце выше температуры сверхпроводящего перехода. Представлен убедительный набор данных, полученных различными методами, показывающий динамический характер наблюдаемого поведения при $T > T_c$, по результатам измерений на серии образцов получена фазовая диаграмма, проведено сравнение с полученными другими методами результатами.

В третьей главе на примере соединений из семейства $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ изучаются динамические волны зарядовой плотности. Проведено сравнение температурных зависимостей низкочастотных (сопротивление и восприимчивость) и высокочастотных (нерезонансное поглощение на частоте ~ 10 ГГц) физических свойств. Обнаружено наличие дополнительного вклада в высокочастотные потери, говорящее о наличии динамических механизмов потерь при $T > T_c$. Сравнение высокочастотных потерь в различных магнитных полях позволяет выделить температурный интервал, в котором этот динамический механизм связан с подавляемыми полем сверхпроводящими флуктуациями, и температурный интервал, связанный с динамическими волнами спиновой плотности. По результатам построена фазовая диаграмма и подробно обсуждаются причины различия с результатами известных из литературы измерений с применением других методов.

В четвёртой главе представлены результаты исследования железосодержащих сверхпроводящих материалов EuFe_2As_2 и семейства $\text{Fe}_{1+y}\text{Te}_{1-x}\text{Se}_x$.

Соединение EuFe_2As_2 становится сверхпроводником при приложении давления или при легировании, при этом в этом соединении имеется несколько структурных и магнитных фазовых переходов, а магнитное упорядочение в некоторых случаях описывается в литературе как сосуществующее со сверхпроводимостью. В представленной работе проведено исследование низкотемпературной антиферромагнитной фазы в EuFe_2As_2 методом электронного спинового резонанса, по результатам измерения охарактеризована анизотропия спиновой подсистемы и получена оценка обменного поля для ионов европия. Также в результате сопоставления результатов измерения сопротивления на постоянном токе и высокочастотных потерь в образце обнаружен динамический (флуктуационный) вклад в высокочастотные потери и проведен анализ критического поведения измеряемых физических величин, позволяющий сделать вывод в пользу двумерной модели Изинга как наиболее точно соответствующей поведению спиновой подсистемы EuFe_2As_2 .

В этой главе описываются также результаты исследования сверхпроводящих материалов из семейства $\text{Fe}_{1+y}\text{Te}_{1-x}\text{Se}_x$, в которых наблюдается сосуществование сверхпроводимости и антиферромагнетизма. Высокочастотные измерения обнаруживают здесь также дополнительные потери при $T > T_C$, однако отсутствие влияния магнитного поля на эти потери указывает на их связь не с флуктуациями сверхпроводящего параметра порядка, а, скорее, с антиферромагнитными флуктуациями.

В заключительной части диссертационной работы суммируются полученные результаты: установление границы области флуктуация сверхпроводящего параметра порядка в соединениях семейства $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Y}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$; установление границ области существования сверхпроводящего параметра порядка и области существования волн зарядовой плотности в соединении $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$; установлены характеристики низкотемпературного антиферромагнитного состояния и получены магнитные критические индексы в EuFe_2As_2 ; установлено наличие областей со спиновыми флуктуациями двух типов в халькогенидах железа $\text{Fe}_{1+y}\text{Te}_{1-x}\text{Se}_x$.

К работе есть следующие замечания:

1. На мой взгляд, можно было бы подробнее описать используемые в работе оригинальные экспериментальные установки. Часть измерений выполнена нестандартными методиками, автором оформлен патент на одну из установок. Поэтому было бы интересно видеть в диссертационной работе более подробное отражение этого вклада автора. В качестве примера отмечу, что например при описании спектрометра (стр. 95) упоминается латунный резонатор — выбор материала необычен, так как кажется, что использование меди позволит повысить добротность и чувствительность, но никаких комментариев не приводится.
2. При описании результатов для $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (стр.62-65 диссертации) делается утверждение о доминирующем механизме Горькова-Тейтельбаума, приводящем к необычной зависимости сопротивления от температуры $R = R_0 + AT^2$. Этот вывод делается рядом с рис. 3.4, на котором однако нет никаких подгоночных кривых, подтверждающих такую зависимость. И только через две страницы, на рис.3.6, нужные доказательства приведены. При дальнейшем обсуждении этих результатов на

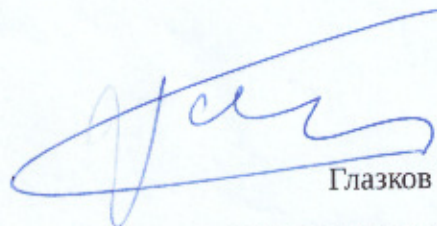
стр. 66 делается не совсем корректное в общем случае утверждение, что так как глубина скин-слоя $\delta \propto \sqrt{\rho}$, то сигнал микроволновых потерь будет линейен по температуре — что очевидно верно лишь приближённо если $AT^2 \gg R_0$.

3. При анализе данных магнитного резонанса в соединении EuFe_2As_2 (стр.90-92) используются формулы для антиферромагнитного резонанса в так называемом «слабом ферромагнетике», которые обычно применяются для соединений, в которых есть скос подрешёток уже в нулевом поле, обычно связанный с взаимодействием Дзялошинского. Эта модель более сложна, чем просто антиферромагнетик с коллинеарными подрешетками, а наличие взаимодействия Дзялошинского связано с некоторыми симметричными ограничениями. Было бы правильно продемонстрировать необходимость применения более сложной модели либо какими-то теоретическими аргументами, либо эмпирически (как невозможность добиться хорошего соответствия в более простой модели).
4. При анализе критических индексов в соединении EuFe_2As_2 при обсуждении теоретических ожиданий есть, на мой взгляд некоторая непоследовательность и поспешность. Например, автор делает такое утверждение: *«Соответствие классу 2D-Изинг хорошо коррелировало бы с магнитной структурой этого соединения, которая относится к легкоплоскостному антиферромагнетику.»* Здесь очевидно путается двумерность слоёв магнитных ионов с легкоплоскостной анизотропией спиновой системы. Более того, для легкоплоскостного антиферромагнетика был бы совсем другой класс универсальности, соответствующий одной из XY-моделей. Но (экспериментально показанное автором!) наличие легкой оси анизотропии, действительно, делает изинговское поведение ожидаемым.
5. Наконец, можно отметить наличие некоторого количества опечаток и стилистических шершавостей, что, впрочем, свидетельствует о том, что автор писал весь текст самостоятельно. Автор злоупотребляет аббревиатурами, некоторые из которых не очень распространены (пример: *«Такое поведение температурной зависимости МВП может быть связано как с ФСПП, так и с ВЗП»*). На некоторых рисунках неудачно выбран масштаб, так что описываемые особенности видны не чётко (например, рисунок 3.9 — в масштабе рисунка не видно насколько совпадают кривые выше 24 К). Иногда есть смущающие читателя недоговоренности в стандартных, но не общеизвестных обозначениях (например, при обсуждении критических индексов было бы удобно читателю видеть перечисление к каким физическим величинам относятся α , γ , β и остальные буквы греческого алфавита).

Перечисленные замечания не снижают ценности проведенного исследования. Новизна полученных данных обеспечивается применением целого набора методов изучения физических свойств исследуемых материалов, в том числе с использованием созданных для этого исследования экспериментальных установок, получением экспериментальных данных в широком диапазоне температур, в том числе в присутствии магнитного поля. Достоверность полученных результатов подтверждается применением нескольких методик измерения, грамотным сравнительным анализом полученных результатов, дополнительной характеристикой образцов и сравнением с известными в литературе результатами. Основные

результаты опубликованы в реферируемых научных журналах и представлены на конференциях. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертация Гимазова Ильнура Илхамовича представляет собой законченное научное исследование и по объему результатов, достоверности, научной и практической значимости выводов удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям согласно п.9. «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ № 842 от 24.09.2013, а ее автор, Гимазов Ильнур Илхамович, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12 – «Физика магнитных явлений»



Глазков Василий Николаевич

доктор физико-математических наук
специальность 1.3.10 «Физика низких температур»
ведущий научный сотрудник
Института физических проблем им. П.Л.Капицы РАН
Москва, ул. Косыгина д.2
e-mail: glazkov@kapitza.ras.ru
тел: +7(499)1370659 доб.396

«12» февраля 2024 года

«Подпись в.н.с. ИФП РАН Глазкова Василия Николаевича заверяю»



зам. директора ИФП РАН
д.ф.-м.н. Тихонов А.М.

«12» февраля 2024 года