

ОТЗЫВ

официального оппонента

о диссертации Джантемирова Ауеса Хасамбиевича
«Двухжидкостная система носителей заряда в сильно
связанных электронном и фононном полях и свойства
сверхпроводящих купратов», представленной на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности

1.3.8. Физика конденсированного состояния

Диссертационная работа Джантемирова Ауеса Хасамбиевича посвящена развитию концепции описания систем с сильным электрон-фононным взаимодействием фрелиховского типа на основе двухжидкостной модели автолокализованных биполяронов и делокализованных носителей. В рамках подхода, сформулированного в предделе высокой плотности носителей заряда, автор исследует свойства систем и демонстрирует качественное согласие полученной фазовой диаграммы с универсальной диаграммой высокотемпературных сверхпроводников на основе оксидов меди.

Актуальность работы связана со сложностью описания электрон-коррелированных систем с сильным электрон-решеточным взаимодействием и, как следствие, отсутствием общепризнанных подходов, объясняющих богатую совокупность их свойств. Результаты интересны с точки зрения анализа механизмов, формирующих нормальное и сверхпроводящее состояние высокотемпературных сверхпроводников. Кроме того, они могут послужить основой для развития представлений о свойствах других систем с выраженными поляронными эффектами, например, таких, где происходит образование легких биполяронов.

Научная новизна работы состоит в том, что в рамках предложенной модели получена связь волнового вектора фононной

моды, смягчающейся при зарядовом упорядочении, и среднего расстояния между биполяронами в биполяронной жидкости; а также впервые продемонстрирована возможная причина увеличения температуры сверхпроводящего перехода, обусловленного конденсацией жидкости биполяронов большого радиуса, с ростом числа проводящих слоев в элементарной ячейке.

Полученные в диссертационной работе результаты имеют несомненную теоретическую и практическую значимость, поскольку создают теоретическую основу для формирования подходов к описанию эффектов сильного электрон-фононного взаимодействия фрелиховского типа в системах с высокой плотностью носителей заряда, в том числе таких, как высокотемпературные сверхпроводники.

Публикации. Основные результаты диссертации достаточно полно изложены в трёх статьях в международных научных журналах, индексируемых в базе данных Scopus, и в десяти тезисах докладов в сборниках трудов конференций. Содержание автореферата полностью отражает содержание диссертации.

Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения и списка литературы из 106 наименований, материал изложен на 105 страницах, включая 20 рисунков.

Во введении аргументирована актуальность темы диссертационной работы, последовательно сформулированы цель и задачи исследования. Отмечена научная новизна полученных результатов, обоснована их теоретическая и практическая значимость. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен краткий литературный обзор экспериментальных и теоретических исследований высокотемпературных сверхпроводников, связанных с темой диссертации. Отмечается необходимость учета электрон-фононного

взаимодействия при построении теоретической модели высокотемпературной сверхпроводимости в купратах. Обсуждаются различные подходы и приближения, применяемые для учета электрон-фононного взаимодействия.

Вторая глава посвящена определению основного состояния системы с высокой плотностью носителей заряда и сильным электрон-фононным взаимодействием фрелиховского типа. Для исследования зависимости энергии связи биполярона от его размера автор использует вариационный метод и на первом этапе проводит варьирование по параметру деформации фононного вакуума и параметрам пробной волновой функции носителей заряда в биполяроне при фиксированном радиусе биполярона. На втором этапе варьируется плотность энергии двухжидкостной системы носителей заряда по размеру биполярона.

Показано, что рассчитанные в предложенном подходе спектры резонансной дифракции рентгеновских лучей качественно согласуются с наблюдаемыми в купратах.

В третьей главе получены слабо возбужденные состояния высокодопированных систем с сильным фрелиховским электрон-фононным взаимодействием. Для этого с помощью функции распределения носителей заряда в системах, где возможно сосуществование автолокализованных и делокализованных состояний носителей, строится и минимизируется свободная энергия такой системы и сравнивается со свободной энергией системы без автолокализованных состояний.

Рассчитанные плотности носителей заряда в биполяронном и ферми-жидкостном состояниях, как функции температуры и уровня допирования, применены для расчета наблюдаемых свойств системы. Полученные результаты сопоставлены со свойствами

сверхпроводников на основе оксидов меди. В частности, показано, что температурное и концентрационное поведение постоянной Холла качественно согласуется с наблюдаемым нетривиальным поведением в купратах.

В заключении диссертации сформулированы выводы, отражающие основные полученные в ней результаты.

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов и обоснованность сделанных в ней выводов обусловлены использованием для анализа предложенной модели стандартных методов статистической физики, квантовой теории и физики конденсированного состояния. Тема, задачи и основные результаты диссертации соответствуют формуле и пунктам 1 и 5 направлений исследования Паспорта специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа Джантемирова А. Х. представляет собой актуальное исследование, в котором получен ряд интересных и значимых результатов, предложенная концепция имеет интересные перспективы развития. Однако следует обратить внимание автора на ряд приведенных ниже вопросов и замечаний.

1. При формулировке новых подходов к исследованию задач, не имеющих точных решений, необходимо обсуждать, какие ограничения возникают при реализации метода, в том числе в рамках интерпретации полученных результатов.

Какова роль кулоновского взаимодействия при формировании картины двухкомпонентной жидкости?

Автор указывает, что «импульсы, которые могут быть у делокализованных носителей, ограничены снизу максимально

возможным импульсом автолокализованных состояний, как следствие принципа запрета Паули». Каким образом вклад неучтенного здесь обменного взаимодействия может изменить полученные результаты?

Автор обращает внимание на тот факт, что полученная фазовая диаграмма качественно не зависит от используемых параметров системы (стр. 86). Насколько это универсальное свойство рассмотренных систем с учетом ограничений метода?

2. Автор недостаточно сравнивает свои результаты с работами в рамках других подходов. Например, полученный минимальный радиус биполярона (11-12 Å) по порядку величины соответствует нескольким характерным размерам элементарной ячейки в купратах. Как результаты, полученные в этом пределе, коррелируют с моделями, где рассматривается расширенный механизм Хольштейна, учитывающий электрон-фононное взаимодействие на ближайших узлах?

3. В предложенном виде метод не учитывает конкуренцию эффектов кулоновского и электрон-фононного взаимодействия. Насколько оправдано его применение в области низких концентраций допированных носителей, где для рассматриваемых высокотемпературных сверхпроводников реализуется ближний антиферромагнитный порядок?

Перечисленные вопросы и замечания, часть из которых носит характер пожеланий, не снижают общей положительной оценки. Диссертация «Двухжидкостная система носителей заряда в сильно связанных электронном и фононном полях и свойства сверхпроводящих купратов» является завершённой научно-квалификационной работой, которая выполнена на высоком научном

уровне и соответствует требованиям, предусмотренным пунктами 2.1 - 2.4, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук действующего «Положения о присуждении учёных степеней в ФГАОУ ВО "Южный федеральный университет", утверждённого Приказом № 66-ОД от 29.03.2025, а её автор, – Джантемиров Ауес Хасамбиевич, – заслуживает присуждения ему искомой учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

20.08.2025

Согласна на обработку моих персональных данных:

Шнейдер Елена Игоревна,
кандидат физико-математических наук по специальности
01.04.07 Физика конденсированного состояния, доцент,
Институт физики им. Л.В. Киренского
Сибирского отделения Российской академии наук –
обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН,
официальный оппонент.

(Адрес: 660036, Красноярский край, г. Красноярск, Академгородок 50, стр. 38, тел. +7(913) 507-66-23, e-mail: shneyder@iph.krasn.ru)

Подпись Шнейдер Е.И. удостоверяю:

ФИО

зам. директора по научной работе ИФ СО РАН

должность

д. ф. - м. н.

учёная степень, ученое звание

20.08.2025.

дата

