

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Доронкиной Станиславы Валерьевны «**Фазовая диаграмма систем с сильным электрон-фононным взаимодействием и высокой плотностью носителей заряда**», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния

Диссертационная работа Доронкиной Станиславы Валерьевны посвящена **актуальной** проблеме – изучению механизма спаривания носителей заряда в высокотемпературных сверхпроводниках и выявлению способов повышения температуры сверхпроводящего перехода в них. Тот факт, что спустя 36 лет после открытия высокотемпературной сверхпроводимости в допированных диэлектриках эта задача все еще не решена, побудил специалистов в этой области признать необходимость учета, помимо чисто электронных корреляций в этих системах, взаимодействия носителей заряда с кристаллической решеткой. Работа Доронкиной С. В. направлена на решение этой задачи. В ней получена фазовая диаграмма допирование – температура для системы –высокодопированный диэлектрик с сильным Фрелиховским электрон-фононным взаимодействием. Анализ даже основного состояния такой модели с помощью диаграммного метода Монте-Карло, который был успешно применен к высокодопированным системам с сильным короткодействующим (Холстейновским) электрон-фононным взаимодействием, оказался невозможен из-за, так называемой, «проблемы знака». Выбранный в диссертационной работе классический вариационный подход позволил решить поставленную задачу, потребовав попутно решить ряд подзадач.

Работа состоит из введения, трех глав и заключения.

Во введении сформулированы задачи, рассматриваемые в последующих главах.

В 1 главе дан достаточно подробный обзор современного состояния экспериментальных исследований свойств высокотемпературных сверхпроводников, которые используются при построении модели и сравнении результатов ее исследования с экспериментом, а также теоретических исследований электрон-фононного взаимодействия в допированных диэлектриках. В силу огромного количества экспериментальных и теоретических работ по высокотемпературной сверхпроводимости охватить их все в обзоре, конечно, невозможно.

В главе 2 рассмотрено влияние сосуществования автолокализованных и делокализованных носителей в сильнодопированных диэлектриках с сильным далекодействующим электрон-фононным взаимодействием на состояния делокализованных носителей и их проявление в спектрах фотоэмиссионной спектроскопии с угловым разрешением (ARPES) и сканирующей туннельной спектроскопии (STS). Задача, которую успешно решает эта глава – продемонстрировать, как в результате этого влияния возникает псевдощель в спектрах ARPES и STS. Для ее решения, в частности, предложен метод траекторий в импульсном пространстве, поскольку в работе показано, что стационарные делокализованные состояния носителей в дополнительном потенциале автолокализованных можно представить как распределенные в пространстве “волновые пакеты” блоховских волн с различными импульсами в областях с различным дополнительным потенциалом.

Глава 3 посвящена построению фазовой диаграммы допирования – температура системы носителей заряда в допированных диэлектриках с сильным Фрелиховским электрон-фононным взаимодействием. Для решения этой задачи строится свободная энергия двухжидкостной системы носителей заряда, включающей биполяронную жидкость и Ферми-жидкость

делокализованных носителей. При ее построении используется функция распределения носителей заряда в системах, где автолокализованные и делокализованные их состояния могут сосуществовать. Варьированием свободной энергии при фиксированной температуре определяется равновесный радиус биполярона. Сравнением полученной в результате минимизации свободной энергии двухжидкостной системы со свободной энергией системы носителей без биполяронов определяется граница области существования двухжидкостной фазы и связанные с ней критические температуры, до достижения которых при фиксированном уровне допирования наблюдаются псевдощель и волна плотности заряда. Критическая температура, ограничивающая область существования сверхпроводимости, определяется сравнением плотности биполяронов при данной температуре и допировании с максимальной их плотностью в Бозе-паре при данной температуре. Последняя рассчитана стандартным методом теории Бозе-жидкости при использовании спектра элементарных возбуждений биполяронной жидкости.

При знакомстве с диссертацией обращает на себя внимание разнообразие методов, использованных и даже разработанных соискателем, и комплексный подход к исследованию сильно взаимодействующих электрон-фононных систем. Несмотря на общий высокий уровень работы, необходимо сделать несколько замечаний. Большая их часть связана со сложностью модели, использованной в главе 3, и немного менее подробным ее обсуждением по сравнению с главой 2.

1. В гамильтониане (3.10) эффективная масса носителей заряда является изотропной. Как при этом учитывается квазидвумерный характер дисперсии носителей заряда при расчете энергии связи биполярона условным вариационным методом?

2. Радиус линии минимальной энергии дырочных носителей, определяемый формулой (3.13), в предлагаемой модели слабо зависит от радиуса биполярона, поскольку от него зависит угловая величина сектора выпадающих из-за псевдощели состояний. Если радиус биполярона меняется с температурой, появляется слабая зависимость дисперсии от температуры.
3. Полученная в работе форма фазовой диаграммы демонстрирует удивительную стабильность при изменении различных параметров системы, как показывает рис.3.7(a-f). Необходимо обсуждение физических причин такой стабильности.
4. На экспериментальной фазовой диаграмме (рис.3.7(g)) при некотором уровне допирования показано исчезновение псевдощели, которого нет на рассчитанных фазовых диаграммах. Было бы полезно пояснение причин этого различия.
5. Рисунки в главе 3 слишком мелкие, в результате цифры на осях местами практически неразличимы.

Высказанные вопросы и замечания не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы и не подвергают сомнению основные положения, выносимые на защиту.

Работа выполнена на высоком научном уровне, **обоснованность** научных положений, выносимых на защиту, и **достоверность** полученных в диссертации результатов определяется использованием для анализа исследуемых моделей стандартных методов квантовой механики, кантовой теории поля, статистической физики и физики конденсированного состояния. Они сочетаются с методами тщательного компьютерного моделирования и последующего количественного и качественного анализа полученных результатов. Теоретические предсказания, полученные в рамках

разработанного в диссертации подхода, согласуются с экспериментальными данными, опубликованными в ведущих международных журналах.

Новизна рассмотренной модели (ранее сильное Фрелиховское электрон-фононное взаимодействие (ЭФВ) рассматривалось лишь при низкой концентрации носителей, не приводящей к формированию двухжидкостной системы носителей заряда) и комплексный подход к ее анализу позволили получить важные новые результаты. Их **теоретическая значимость** связана с тем, что они дополняют теоретическую физику конденсированного состояния, расширяя границы рассмотренных в ней систем на системы с высокой плотностью носителей и сильным Фрелиховским ЭФВ и двухжидкостную систему носителей заряда, включающую биполяронную жидкость и Ферми-жидкость делокализованных носителей заряда. Не менее важна **практическая значимость** результатов диссертационной работы, поскольку в ней выявлены управляющие параметры фазовой диаграммы вышеупомянутых систем, в частности, параметры, влияющие на температуру сверхпроводящего перехода.

Основные результаты работы опубликованы в журналах, входящих в базу данных Scopus (2 статьи) и перечень ВАК (1 статья), и с успехом докладывались на российских и международных конференциях. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

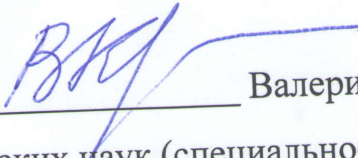
Заключение

Суммируя, могу сказать, что данная диссертация – интересное и важное исследование, выполненное на высоком научном уровне. Результаты, вошедшие в диссертацию, актуальны и перспективны, а положения, вынесенные на защиту, полно и адекватно отражают проведенные исследования. Можно заключить, что диссертационная работа «Фазовая диаграмма систем с сильным электрон-фононным взаимодействием и высокой плотностью носителей заряда» соответствует всем требованиям п. 2

действующего «Положения о присуждении ученых степеней в ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», а её автор, **Доронкина** Станислава Валерьевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности **1.3.8. Физика конденсированного состояния**.

14.09.2023 г.

Согласен на обработку персональных данных

официальный оппонент  Валерий Яковлевич Кирпиченков,
доктор физико-математических наук (специальность 01.04.07 – физика
конденсированного состояния), профессор, профессор кафедры «Физика и
фотоника», Институт фундаментального инженерного образования, Южно-
Российский государственный политехнический университет им. М. Платова,
Адрес: 346428, г. Новочеркасск, Ростовская обл. ул. Просвещения, д. 132
Телефон: (8635)255481
Эл. почта: wkirpich@rambler.ru

Подпись Кирпиченкова В.Я. заверяю

Ученый секретарь



Н.Н. Холодкова