

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Комарова Константина Константиновича «Лондоновская глубина проникновения в ансамбле спин-поляронных квазичастиц в купратных высокотемпературных сверхпроводниках», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Актуальность темы диссертационного исследования не вызывает сомнений. Она объясняется по-прежнему сохраняющейся необходимостью и важностью теоретических исследований ВТСП купратов. Эти соединения находят все более широкое практическое применение, а полного понимания природы их свойств до сих пор нет. В частности, одним из все еще нерешенных однозначно вопросов является ключевой вопрос о механизме куперовской неустойчивости в них. В диссертационной работе показано, что известные особенности температурной зависимости лондоновской глубины проникновения в купратах при оптимальном легировании могут быть объяснены в рамках концепции спинового поларона. Общепринятого толкования эти особенности температурного поведения пока не имеют, в этой связи работа Комарова К.К. приобретает важный своевременный характер.

Диссертационная работа Комарова К.К. состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы из 198 наименований.

Во **введении** приводится обоснование актуальности темы, формулируются основные положения, выносимые на защиту, обосновывается научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, аргументируется их достоверность. Обозначен личный вклад автора. Приведены сведения об апробации результатов исследований и список опубликованных автором работ по теме диссертации.

В **первой, обзорной** главе дана краткая характеристика высокотемпературных купратных сверхпроводников, описано их электронное строение, представлены наиболее распространенные теоретические модели, которые используются для микроскопического описания купратных ВТСП. Описаны как относительно простые однозонные модели, так и трехзонная $p-d$ -модель, учитывающая реальное кристаллографическое строение CuO_2 -плоскости, а также выводимая из этой модели в режиме сильных электронных корреляций эффективная спин-фермионная модель. Затем приводится обзор спин-поляронной концепции, обсуждаются успехи этой концепции при описании свойств купратов как в нормальной, так и в сверхпроводящей фазе. Резюмируется глава постановкой конкретных задач диссертационного исследования.

Во второй главе разрабатывается оригинальный подход для расчета отклика спин-поляронных квазичастиц на слабое магнитное поле. Оригинальность предложенного подхода состоит в том, чтобы не пытаться сразу выделять линейные по векторному потенциалу поправки, а сохранить их в экспоненциальном виде и таким образом получить общее выражение для сверхпроводящей плотности тока спин-поляронных квазичастиц. Окончательное выражение для функции отклика – обратного квадрата лондоновской глубины – предлагается вычислять посредством линеаризации уже этого общего выражения для плотности тока.

В третьей главе в рамках спин-поляронной концепции и с помощью предложенного во второй главе метода рассчитывается и анализируется температурная зависимость лондоновской глубины проникновения в купратных сверхпроводниках. Глава начинается с обзора экспериментальных данных. В частности, обсуждается экспериментально наблюдаемая в некоторых купратных высокотемпературных сверхпроводниках точка перегиба в температурной зависимости обратного квадрата лондоновской глубины, а также несколько сценариев ее возникновения, ни один из которых, однако, не применим для чистого d -спаривания, характерного для купратов. Далее в рамках проекционной техники выводится необходимое выражение для расчета температурной зависимости лондоновской глубины проникновения. Важным результатом последующих численных расчетов является то, что на температурной зависимости обратного квадрата лондоновской глубины, как и в отмеченных выше экспериментах, наблюдается точка перегиба. Ее возникновение, как показано в работе, объясняется с особенностями спин-поляронного спектра.

В четвертой главе для улучшения численного согласия полученных теоретических кривых с экспериментальными расчеты лондоновской глубины в ансамбле спиновых поляронов проводятся с учетом кулоновского взаимодействия в подсистеме кислородных дырок. Результатом этой главы является то, что учет кулоновского взаимодействия позволяет добиться хорошего количественного согласия теоретических и экспериментальных данных, причем точка перегиба на температурной зависимости лондоновской глубины проникновения сохраняется.

В заключении представлены основные результаты исследований. Объем полученных результатов и их качество вполне адекватны для кандидатской диссертации.

Обоснованность и достоверность результатов подтверждается применением современных методов теории конденсированного состояния, апробированными теоретическими техниками, а также согласием с экспериментальными данными. Таким образом, положения, выносимые на защиту, полностью доказаны результатами работы. Содержание автореферата диссертации полностью и правильно отражает ее содержание.

Тема диссертации соответствует специальности 01.04.07 — «Физика конденсированного состояния». Основные результаты диссертационной работы изложены в 11 печатных изданиях, из которых 3 — статьи в журналах, рекомендованных ВАК, и 8 публикаций в сборниках трудов и тезисах докладов на конференциях, 5 из которых международного уровня.

Переходя к оценке диссертации в целом, следует отметить высокий уровень теоретических исследований, нацеленность на объяснение экспериментальных фактов. Важно отметить законченность проведенных исследований, ясный язык, логичность и четкость в представлении материала.

Вместе с тем, диссертация не лишена некоторых недостатков:

1. В обзорной первой главе диссертант уделяет внимание обзору спин-поляронной концепции, и опускает сведения об экспериментах по лондоновской глубине. Такие данные приводятся, но позднее, в главе 3.
2. В отсылках на проекционную технику опущено имя одного из ее создателей, правильное все-таки было бы «техника Цванцига-Мори-Церковникова».
3. Ключевой для работы вопрос о выборе достаточного набора базисных операторов при проектировании было бы уместно обсудить подробнее. Если базис будет беднее, богаче, к чему это приведет.

Указанные замечания не снижают общий уровень научной работы и не затрагивают основных положений диссертации.

Таким образом, диссертационная работа Комарова Константина Константиновича «Лондоновская глубина проникновения в ансамбле спин-поляронных квазичастиц в купратных высокотемпературных сверхпроводниках» отвечает требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 — физика конденсированного состояния.

Руководитель Теоретического отдела
ФГБУИ Институт физики высоких давлений
им. Л.Ф. Верещагина РАН,
доктор физико-математических наук

Подпись А.В. Михеенкова заверяю
Ученый секретарь ФГБУИ Институт физики
высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина
РАН,
кандидат физико-математических наук

«29» октября 2020 г.



Михеенков
Андрей Витальевич

Валянская
Татьяна Валентиновна

Сведения об оппоненте

Фамилия, имя, отчество оппонента	Михеенков Андрей Витальевич
Ученая степень	Доктор физико-математических наук
Ученое звание	Доцент
Шифр и наименование специальности, по которой защищена диссертация	01.04.07 – физика конденсированного состояния
Полное наименование организации места работы	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина Российской академии наук
Структурное подразделение и должность	Руководитель теоретического отдела
Индекс, почтовый адрес организации и места работы	108840, г. Москва, г. Троицк, Калужское шоссе, стр. 14
Телефон	+7 (495) 851-05-82
Адрес электронной почты	mikheen@bk.ru
Список основных публикаций за последние пять лет по теме диссертации (не более 15 публикаций)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Quantum entanglement, local indicators, and the effect of external fields in the Kugel-Khomskii model / V. E. Valiulin, A. V. Mikheyenkov, N. M. Chtchelkatchev, and K. I. Kugel // Physical Review B. — 2020. — Vol. 102. — P. 155125. 2. Magnetic spiral order in the square-lattice spin system (CuBr) Sr₂Nb₃O₁₀ / A. V. Mikheyenkov, V. E. Valiulin, A. F. Barabanov // Physica B: Condensed Matter. — 2020. — Vol. 599. — P. 412533. 3. Thermodynamics of symmetric spin-orbital model: one- and two-dimensional cases / V. E. Valiulin, A. V. Mikheyenkov, K. I. Kugel, A. F. Barabanov // Journal of Experimental and Theoretical Physics Letters. — 2019. — Vol. 109, no. 8. — P. 546–551. 4. Continuous transformation between ferro and antiferro circular structures in frustrated Heisenberg model / V. E.

	<p>Valiulin, A. V. Mikheyenkov, N. M. Chtchelkatchev, A. F. Barabanov // <i>Journal of Physics: Condensed Matter</i>. — 2019. — Vol. 31, no. 45. — P. 455801.</p> <p>5. Quantum phase transitions and the degree of nonidentity in the system with two different species of vector bosons / A. M. Belemuk, N. M. Chtchelkatchev, A. V. Mikheyenkov, K. I. Kugel // <i>New Journal of Physics</i>. — 2018. — Vol. 20, no. 6. — P. 063039.</p> <p>6. Helical Quantum States in a Strongly Frustrated Two-Dimensional Magnet / A.V. Mikheenkov, V. E. Valiulin, A. V. Shvartsberg, A. F. Barabanov // <i>Journal of Experimental and Theoretical Physics</i>. — 2018. — Vol. 126, no. 3. — P. 404–416.</p> <p>7. Magnetic phase diagram and quantum phase transitions in a two-species boson model / A. M. Belemuk, N. M. Chtchelkatchev, A. V. Mikheyenkov, K. I. Kugel // <i>Physical Review B</i>. — 2017. — Vol. 96, no. 9. — P. 094435.</p> <p>8. Nondiagonal cross-transport phenomena in a magnetic field / L. A. Maksimov, A. V. Mikheyenkov, T. V. Khabarova // <i>Physics-Uspkbi</i>. — 2017. — Vol. 60, no. 6. — P. 623.</p>
--	--

Руководитель теоретического отдела
ФГБУН Институт физики высоких давлений
им. Л.Ф. Верещагина РАН,
доктор физико-математических наук



Михеевков
Андрей Витальевич

Подпись А.В. Михеевкова заверяю
Ученый секретарь
ФГБУН Институт физики высоких давлений
им. Л.Ф. Верещагина РАН,
кандидат физико-математических наук



Валянская
Татьяна Валентиновна

«29» октября 2020 г.