

УТВЕРЖДАЮ
Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Институт физики высоких давлений
имени Л.Ф. Верещагина РАН,
академик РАН



В.В. Бражкин

М. П.

29 октября 2020 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Кузьмина Валерия Ипполитовича «Влияние ближнего порядка на электронные и магнитные свойства сильно коррелированных систем», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Представленная диссертационная работа посвящена исследованию электронных и магнитных свойств сильно коррелированных электронов в ВТСП купратах и системах со спиновыми кроссоверами.

Актуальность темы диссертации обуславливается высоким научным интересом, который вызывают физика сильных электронных корреляций, в частности, электронные и магнитные свойства ВТСП купратов и систем со спиновыми кроссоверами, а также перспективностью данных соединений для приложений электроники.

Диссертация состоит из введения, обзорной главы, трех оригинальных глав, заключения, перечня сокращений и списка литературы.

Во введении приведены сведения об актуальности исследования, о научной новизне и достоверности результатов, изложены цель и задачи

работы, представлены положения, выносимые на защиту, описан личный вклад автора, перечислены публикации по результатам работы.

Первая глава – обзорной. В ней приведены сведения о псевдощелевом состоянии ВТСП купратов, микроскопических моделях CuO_2 плоскости, а также о явлении спинового кроссовера под давлением. Здесь же дан краткий обзор теоретических методов исследования сильно коррелированных электронных систем. Упор в обзоре сделан – что важно для данной работы – на корректном учете ближнего порядка. Логическим заключением главы является постановка цели и задач диссертации.

Во второй главе исследуется методическая, но чрезвычайно важная проблема о соответствии электронной структуры t - J модели и электронной структуры модели Хаббарда. Модель Хаббарда является базовой фундаментальной моделью в физике сильно коррелированных систем. t - J модель может быть выведена из модели Хаббарда путем пренебрежения межзонными перескоками в пределе сильного взаимодействия, а также отбрасывания трехцентровых перескоков (которые содержатся в t - J^* модели). В результате сравнения электронной структуры в нижней хаббардовской зоне, проведенного для всех трех моделей в рамках кластерной теории возмущений и с учетом корреляций между первыми и вторыми соседями, сделаны два вывода:

1. Электронная структура всех трех моделей вблизи половинного заполнения находится в адекватном согласии на низкоэнергетическом масштабе порядка обменного интеграла. Для воспроизведения электронной дисперсии модели Хаббарда на высокоэнергетическом масштабе порядка интеграла перескока требуется учет трехцентровых перескоков;
2. При увеличении допирования возрастают различия в электронной структуре между t - J моделью и моделью Хаббарда, в том числе и на низкоэнергетическом масштабе.

В третьей главе в рамках кластерной теории возмущений в двумерной модели Хаббарда исследована зависимость электронной структуры и ближнего магнитного порядка от допирования при нулевой температуре, а также от температуры при фиксированном допировании. Показано, что эволюция с допированием происходит в три этапа: сильная псевдощель, слабая псевдощель и нормальная ферми-жидкость. Как и можно было ожидать, изменения электронной структуры сильно связаны на ближний магнитный порядок в системе. Этот вывод согласуется с результатами других

работ, где проводился анализ ближнего магнитного порядка при нулевой температуре. Аналогичный вывод сделан и для температурной эволюции электронной структуры и ближнего магнитного порядка. Последнее и является наиболее оригинальным результатом этой главы.

В четвертой главе исследованы локальные и ближние корреляционные функции, характеризующие поведение системы со спиновым кроссовером под давлением. Расчеты проведены в рамках эффективного спинового гамильтониана (полученного для двухзонной модели Канамори с двумя электронами на узел), который включает высокоспиновое гейзенберговское слагаемое со спином 1 и низкоспиновое со спином 0. Расчетным методом является кластерное обобщение теории среднего поля. В результате получены нетривиальные температурные зависимости эффективного магнитного момента и ближних спиновых корреляционных функций вблизи критического давления. Произведена также оценка магнитной фазовой диаграммы ферропериклаза $(\text{Mg},\text{Fe})\text{O}$ с использованием параметров из экспериментов по мессбауэровской спектроскопии в алмазных наковальнях – для демонстрации возможности наблюдения полученных зависимостей в эксперименте.

В заключении приведено описание основных результаты и выводов диссертационных исследований.

Результаты диссертационного исследования являются **новыми** и содержат новую информацию об электронной структуре и магнитных свойствах сильно коррелированных систем. О **достоверности** результатов свидетельствует адекватный для сильно коррелированных систем непертурбативный метод учета ближних корреляций, а также согласие с литературными данными, полученными в частных случаях другими авторами. Результаты проведенных исследований представляют интерес для ряда научных коллективов, занимающихся проблемами физики конденсированного состояния в таких организациях, как: Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Институт электрофизики УрО РАН, Институт физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина РАН, Объединенный институт ядерных исследований, Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН, Институт физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН, Московский государственный университет, Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Московский физико-технический институт, Уральский федеральный университет, Сибирский федеральный университет.

Замечания. Из замечаний по работе можно отметить следующие.

1. В работе исследуются две разные физические задачи – электронные свойства ВТСП купратов и спиновый кроссовер. Их общность и связь в том, что учет ближнего порядка в обоих случаях приводит к новым результатам. Это обстоятельство следовало бы специально подчеркнуть в тексте.

2. Глава 2 диссертации (формально методическая, но, по существу, весьма содержательная и важная) изложена сплошным текстом. Здесь было бы уместным внутреннее членение на подразделы.

Разумеется, сделанные замечания носят технический, рекомендательный характер и никак не умаляют достоинств работы.

Диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу. Результаты опубликованы в трех статьях в журнале Physical Review b, входящем в системы цитирования WoS и Scopus, и докладывались на различных российских и международных конференциях. Автореферат и публикации достаточно полно отражают содержание работы.

Диссертационная работа полностью отвечает критериям Постановления правительства РФ от 24.09.2013 N 842 «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор Кузьмин Валерий Ипполитович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа была доложена автором и обсуждена на семинаре Теоретического отдела ИФВД РАН 19 октября 2020 года.

Отзыв составил руководитель
Теоретического отдела ИФВД РАН,
доктор физико-математических наук



Михеенков
Андрей Витальевич

«27» октября 2020

СВЕДЕНИЯ О ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики высоких давлений имени Л.Ф. Верещагина Российской
академии наук (ИФВД РАН)

142190, РФ, г. Троицк, Москва, Калужское шоссе, д. 14

Тел. +7(495)-851-05-82

Адрес в интернете: <http://www.hppi.troitsk.ru/>

E-mail: hpp@hppi.troitsk.ru

Список основных публикаций работников структурного подразделения,
составляющего отзыв, за последние пять лет по теме диссертации

1. Barabanov A.F., Mikheyenkov A.V., Kozlov N.A. Quantum phase transition in a frustrated two-dimensional magnetic system: A matrix projection approach // JETP Letters 2015, Vol. 102, P. 301, <https://doi.org/10.1134/S0021364015170038>
2. Mikheyenkov A.V., Shvartsberg A.V., Valiulin V.E., Barabanov A.F. Thermodynamic properties of the 2D frustrated Heisenberg model for the entire J_1-J_2 circle // J. Magn. Magn. Mater. 2016, Vol. 419, P. 131, <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2016.06.014>
3. Maksimov L.A., Mikheyenkov A.V., Khabarova T.V. Nondiagonal cross-transport phenomena in a magnetic field // Phys.-Usp. 2017, Vol. 60, P. 623, <https://doi.org/10.3367/UFNe.2017.02.038057>
4. Utyuzh A. N., Mikheyenkov A.V. Hydrogen and its compounds under extreme pressure // Phys.-Usp. 2017, Vol. 60, P. 886, <https://doi.org/10.3367/UFNe.2017.02.038077>
5. Belemuk A.M., Chtchelkatchev N.M., Mikheyenkov A.V., Kugel K.I. Magnetic phase diagram and quantum phase transitions in a two-species boson model // Phys. Rev. B 2017, Vol. 96, P. 094435, <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.96.094435>
6. Belemuk A.M., Chtchelkatchev N.M., Mikheyenkov A.V., Kugel K.I. Quantum phase transitions and the degree of nonidentity in the system with two different species of vector bosons // New J. Phys. 2018, Vol. 20, P. 063039, <https://doi.org/10.1088/1367-2630/aacbba>
7. Mikheyenkov A.V., ValiulinV.E., Shvartsberg A.V., Barabanov A.F. Helical Quantum States in a Strongly Frustrated Two-Dimensional Magnet // J. Exp.

- Theor. Phys. 2018, Vol. 126, P. 404,
<https://doi.org/10.1134/S1063776118030147>
8. Valiulin V.E., Mikheyenkov A.V., Kugel K.I., Barabanov A.F. Thermodynamics of Symmetric Spin—Orbital Model: One- and Two-Dimensional Cases // JETP Letters 2019, Vol. 109, P. 546, <https://doi.org/10.1134/S0021364019080125>
9. Valiulin V.E., Mikheyenkov A.V., Chtchelkatchev N.M., Barabanov A.F. Continuous transformation between ferro and antiferro circular structures in J_1 - J_2 - J_3 frustrated Heisenberg model // J. Phys.: Condens. Matter 2019, Vol. 31, P. 455801, <https://doi.org/10.1088/1361-648X/ab35cc>
10. Mikheyenkov A.V., Valiulin V.E., Barabanov A.F. Magnetic spiral order in the square-lattice spin system $(\text{CuBr})\text{Sr}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$ // Phys. B: Condens. Matter 2020, Vol. 599, P. 412533, <https://doi.org/10.1016/j.physb.2020.412533>

Составитель, руководитель
Теоретического отдела ИФВД РАН,
доктор физико-математических наук

Подпись А.В. Михеенкова заверяю
Ученый секретарь ИФВД РАН,
кандидат физико-математических
наук

«27» октября 2020

Михеенков
Андрей Витальевич

Валянская
Екатерина Валентиновна

