

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 720.001.01
НА БАЗЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 26.06.2019 № 126

О присуждении Иванцову Илье Дмитриевичу ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Сильные электронные корреляции в нормальной фазе слабодопированных ВТСП купратов» по специальности 01.04.02 – теоретическая физика принята к защите 17.04.2019 (протокол № 122) диссертационным советом Д 720.001.01 на базе международной межправительственной организации «Объединенный институт ядерных исследований», 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6, приказ Рособрнадзора о создании совета № 1484-1047 от 11.07.2008; полномочия совета подтверждены приказом Минобрнауки РФ № 105/НК от 11.04.2012.

Соискатель **Иванцов Илья Дмитриевич** 1992 года рождения, гражданин Российской Федерации.

В 2015 году соискатель окончил специалитет в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет» по специальности «Физика». С 01.10.2015 по настоящее время является аспирантом в институте физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук.

В настоящее время работает в Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова международной межправительственной организации

«Объединенного института ядерных исследований», в должности младшего научного сотрудника. Диссертация выполнена в Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова международной межправительственной организации «Объединенного института ядерных исследований».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, **Кочетов Евгений Андреевич**, Лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова Объединенного института ядерных исследований, начальник сектора.

Официальные оппоненты:

Михеенков Андрей Витальевич, доктор физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение науки Институт физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина Российской академии наук, руководитель отдела;

Рахманов Александр Львович, доктор физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук, заведующий лабораторией;

дали положительный отзыв на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, в своем положительном заключении, составленным **Москвиным Александром Сергеевичем** (доктор физико-математических наук, профессор), и утвержденным **Мушниковым Николаем Варфоломеевичем** (доктор физико-математических наук, академик РАН, профессор, директор) указала, что *«Диссертационная работа посвящена исследованию свойств нормального состояния слабодопированных ВТСП купратах. Данный класс соединений получил широкое применение благодаря эффекту высокотемпературной сверхпроводимости, возникающей при температуре выше точки кипения жидкого азота, однако полного теоретического описания данного эффекта до сих пор не существует. Таким*

образом, исследования свойств нормального состояния, являющегося основой для возникновения высокотемпературной сверхпроводимости, является актуальной задачей современной квантовой теории конденсированного состояния. В данной диссертации свойства ВТСП купратов в нормальной фазе рассматриваются в рамках двумерных моделей сильно коррелированных электронов, описывающих CuO_2 плоскости, которые вносят основной вклад в свойства допированных купратов. Такой подход позволяет, в принципе, как воспроизвести ранее известные особенности купратов, так и получить новые теоретические результаты, описывающие экспериментальные данные. <...> К недостаткам работы можно отнести следующее: 1) Автор претендует на учет влияния кулоновского взаимодействия электронов/дырок на свойства нормальной фазы слабодопированных ВТСП купратов, хотя используемая им модель Кондо-Гейзенберга формально учитывает только спиновые корреляции. 2) В работе большое внимание уделяется пределу бесконечно сильных корреляций (фаза «Нагаока»), однако не совсем понятно, какое отношение эта фаза имеет к купратам. 3) Автор не рассматривает и даже не комментирует многие важные аномальные свойства «нормальной» фазы слабодопированных купратов, такие как обнаружение эффектов нарушения симметрии относительно обращения времени (*circular currents*), нарушения тетрагональной симметрии (*nematic order*), «локальной сверхпроводимости». 4) В тексте диссертации и автореферата присутствует ряд опечаток, орфографических и пунктуационных ошибок, неудачных выражений типа «констрейнт отсутствия двойного заполнения», а также «англорусских» выражений типа «*d-wave* упорядочение», «*hard-core* бозон».

Приведенные замечания не умаляют научной ценности диссертации, которая по критериям актуальности, объему выполненных исследований и оригинальности удовлетворяет требованиям Положения ВАК РФ «О порядке присуждения ученых степеней».

Таким образом, считаем, что диссертационная работа «Сильные

электронные корреляции в нормальной фазе слабодопированных ВТСП купратов» представляет цельный научный труд, соответствует требованиям п.9- 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемых ВАК к работам, представленным на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Иванцов Илья Дмитриевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 - «Теоретическая физика».

Соискатель имеет 4 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации 4 работы в научных изданиях рекомендованных ВАК, включенных в системы цитирования Scopus и/или Web of Science, из которых 4 опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Результаты диссертационной работы были представлены на многочисленных международных совещаниях и конференциях.

Основные работы:

1) I. Ivantsov, A. Ferraz, E. Kochetov, Quantum Monte Carlo study of the itinerant-localized model of strongly correlated electrons: Spin-spin correlation functions // Phys. Rev. B - 2016. - Vol. 94. - pp. 235118 (7 стр.)

2) I. Ivantsov, A. Ferraz, E. Kochetov, Breakdown of the Nagaoka phase at finite doping // Phys. Rev. B - 2017. - Vol. 95. - pp. 155115 (8 стр.)

3) I. Ivantsov, A. Ferraz, E. Kochetov, Itinerant-localized model of strongly correlated electrons: Fermi surface reconstruction // Phys. Rev. B - 2017. - Vol. 96. - pp. 195161 (6 стр.)

4) I. Ivantsov, A. Ferraz, E. Kochetov, Fermi surface reconstruction in underdoped cuprates: Origin of electron pockets // Phys. Rev. B - 2018. - Vol. 98. - pp. 214511 (6 стр.)

Общий объем опубликованных работ по материалам диссертации составляет 27 печатных страниц.

Отзывы официальных оппонентов и ведущей организации положительные, но содержат следующие основные замечания, не снижающие общей высокой оценки научного уровня диссертации. В отзыве А.В. Михеенкова говорится: «К

недостаткам работы можно отнести следующее: 1) В диссертации фактически нет литературного обзора. Здесь остается посочувствовать автору - литература по ВТСП бесконечна. Но можно было попытаться хотя бы отобразить самое важное для конкретных задач диссертации. 2) Модели, рассматриваемые в работе, вводятся, можно сказать, «слишком резко». Это касается гамильтонианов (1.3) и (1.10) в первой главе, а также некоторых других. В теории ВТСП используется десяток различных моделей, некоторые далеки друг от друга некоторые тесно связаны, у них разные области применения. Было бы полезно более детально очертить место эксплуатируемых в работе моделей в общей картине допированного 2D антиферромагнетика. 3) Претензии к языку. При всем почтении по отношению к Уильяму Гамильтону и Вернеру Гейзенбергу - «гамильтониан» и «гейзенберговский» пишутся со строчной буквы. Многочисленные ошибки такого рода режут глаз. 4) Использующийся во второй главе метод точной диагонализации позволяет оценить возможность существования ФМ основного состояния для больших, но конечных решеток. Выводы о «мешке Нагаоки» в термодинамическом пределе поэтому должны быть более осторожными.». В отзыве А.Л. Рахманова говорится: «В качестве замечаний к работе я бы высказал следующее. 1) В диссертации нет отдельного раздела с обзором литературы. Литературный обзор разнесен по главам. Это затрудняет оценку новизны результатов диссертации при чтении. 2) Автор никак не упоминает железосодержащие сверхпроводники. Было бы интересно хотя бы кратко обсудить, различия между ВТСП купратами и железосодержащими ВТСП в свете подходов и результатов диссертации. 3) Выводы о смене знака коэффициентов Холла и Зеебека делаются на основании изменения знака носителей заряда, однако сами значения коэффициентов в диссертации не рассчитываются. Было бы интересно сравнить численные значения таких коэффициентов с полученными в эксперименте. 4) Диссертация написана достаточно хорошим языком. Однако, в тексте имеется некоторое количество

опечаток, стилистических погрешностей, и жаргонизмов (например, таких как «констрейнт»).»

Соискатель ответил на все замечания.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации основан на том, что оба оппонента являются видными специалистами в области теоретической физики конденсированного состояния, а ведущая организация – одним из лидирующих научных центров в данной области. Это подтверждается многочисленными публикациями в журналах из списка ВАК, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus, а также высоким индексом цитируемости их работ.

Диссертационный совет отмечает, что в рамках проведённых соискателем исследований:

В рамках модели Кондо-Гейзенберга показано, что сильные электронные корреляции в купратах приводят к разрушению антиферромагнитного упорядочения уже при очень малом допировании и возникновению псевдощели в данной фазе, что полностью согласуется с экспериментом.

Показано, что в пределе бесконечно сильных корреляций (фаза Нагаока) непрерывный фазовый переход в полностью поляризованную ферромагнитную фазу не может быть реализован ни при каком конечном допировании. Показано, что магнитный порядок основного состояния напрямую зависит от типа граничных условий и характера решетки, что указывает на нетривиальность термодинамического предела.

Разработан подход, позволяющий качественно описать реконструкцию поверхности Ферми в слабодопированных купратах. Данный метод позволяет воспроизвести как поверхность Ферми в фазе псевдощели, так и изменение ее топологии в фазе волны зарядовой плотности, что объясняет экспериментально наблюдаемое изменение знака коэффициентов Холла и Зеебека при низких температурах в сильном магнитном поле.

Предложен механизм, объясняющий возникновение экспериментально наблюдаемых низкочастотных квантовых осцилляций плотности электронных состояний в купратах в фазе волны зарядовой плотности с помощью эффективного замыкания квазичастичных орбит вследствие Брэгговского отражения на границах редуцированной зоны Бриллюэна. Этот механизм объясняет ряд наблюдаемых в эксперименте особенностей электронной/дырочной проводимости в слабодопированных купратах.

Практическая значимость. Впервые реконструкция поверхности Ферми воспроизведена в рамках микроскопической модели, явным образом учитывающей сильные электронные корреляции и существование волны зарядовой плотности, не требующей введения дополнительных феноменологических параметров. Данное поведение поверхности Ферми позволяет объяснить эксперименты, демонстрирующие изменение знака коэффициентов Холла и Зеебека в диапазоне допирования $0.08 < \delta < 0.16$, возникновение полностью электронной проводимости при допировании $\delta \sim 0.10$, а также экспериментальные данные по измерению теплоемкости слабодопированных купратов. Предложен механизм, объясняющий возникновение квантовых осцилляций плотности электронных состояний в присутствии сильного магнитного поля в фазе волны зарядовой плотности.

Достоверность полученных результатов подтверждена удовлетворительным описанием экспериментальных данных по измерению частоты квантовых осцилляций плотности электронных состояний в сильном магнитном поле в фазе волны зарядовой плотности сверхпроводящих купратов, коэффициентов Холла и Зеебека, теплоемкости и спектральных функций, полученных в экспериментах по фотоэлектронной спектроскопии с угловым разрешением.

Личный вклад соискателя заключается в постановке задач, разработке численных алгоритмов и компьютерных программ, проведение расчетов, анализе полученных результатов и публикации статей. Личный вклад автора в

результаты и основные положения, выносимые на защиту, является определяющим.

На заседании № 126 от 26 июня 2019 года диссертационный совет принял решение присудить Иванцову И.Д. ученую степень кандидата физико-математических наук. При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 10 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 18, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель
диссертационного совета

Воронов Виктор Васильевич

Ученый секретарь
диссертационного совета

Быстрицкий Юрий Михайлович

26.06.2019

