

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Сидорова Кирилла Александровича
«Термодинамические особенности низкоразмерных систем
с сильными электронными корреляциями»,
представленную к защите на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
01.04.07. Физика конденсированного состояния.

Сильно коррелированные электронные системы (СКЭС) вот уже более полувека находятся в центре внимания физики конденсированного состояния. За эти годы предложено много методик для описания электронной структуры и физических свойств СКЭС. Чрезвычайно интересна физика СКЭС в пространствах одного и бесконечно большого числа измерений, поскольку в этих пределах существует точное решение основной задачи статистической физики. Наиболее же важный случай двумерной CuO_2 -плоскости, природа высокотемпературной сверхпроводимости в которой до конца все еще не выяснена, исследуется многочисленными предложенными за последние десятилетия лишь приближенными методами.

Исследование Сидорова К. А. посвящено точному решению самой первой и самой известной моделей СКЭС – модели Хаббарда в пространстве одного измерения (в которой положено $U \rightarrow \infty$ и учтено наличие магнитного поля) и некоторым вопросам сверхпроводимости в двумерной CuO_2 -плоскости. Как известно, существуют различные подходы к точному решению одномерной модели Хаббарда, но все они используют достаточно сложный математический аппарат. Причем главные результаты относятся к основному состоянию, а термодинамические свойства при конечных температурах исследованы существенно меньше. Поэтому полученные Сидоровым К. А. достаточно простые выражения для статистической суммы и основных термодинамических характеристик представляются весьма полезными. Результаты второй части работы, где исследуется влияние внешнего давления на электронную структуру и температуру сверхпроводящего перехода в рамках двумерной t - J^* -модели, также представляются значительным достижением автора. Эти результаты находятся в хорошем согласии с экспериментом для всех исследуемых типов симметрий давления и, что важно, подтверждают вывод о существенной роли магнитного механизма спаривания в купратах.

В первом параграфе обзорной главы автор приводит анализ литературы и уже достигнутых результатов по одномерной модели Хаббарда при любом (в том числе бесконечном) значении кулоновского отталкивания на одном узле. Основное внимание здесь уделено анзацу Бете. Именно идеи Бете впервые позволили точно вычислить свойства основного состояния и спектр элементарных возбуждений – для одномерной

изотропной гейзенберговской модели. Далее говорится об уравнениях Либа и Ву, которые по существу являются уравнениями Бете для одномерной модели Хаббарда. Наконец, излагаются результаты Такахашии, которому, как известно, удалось заменить систему алгебраических уравнений Либа-Ву системой интегральных уравнений. В конце параграфа диссертант формулирует основную идею предлагаемого им точного решения в пределе $U \rightarrow \infty$ при наличии внешнего магнитного поля.

Во втором параграфе обзорной главы приведены основные сведения по электронной структуре ВТСП купратов в режиме сильных корреляций и представлены основные теоретические подходы к описанию ВТСП систем. В третьем параграфе излагается концепция трехзонной p - d -модели Эмери и многозонной p - d -модели и вопрос об их сводимости к основным в теории СКЭС моделям – Хаббарда и t - J^* -модели. Здесь же рассматривается эволюция топологии поверхности Ферми с ростом дырочного допирования в отсутствие внешнего давления. В четвертом параграфе обсуждается сверхпроводимость в модели Хаббарда и t - J^* -модели. Наконец, в пятом параграфе формулируются цели и задачи диссертационной работы.

Глава 2 посвящена обоснованию точного соотношения между статистическими суммами холонов и электронов и вычислению статсуммы и основных термодинамических характеристик одномерной модели Хаббарда в пределе $U \rightarrow \infty$. Очевидным достоинством предложенного Сидоровым К. А. метода является его простота. Другая не вызывающая сомнений заслуга автора – обобщение точного выражения для статистической суммы на случай наличия внешнего магнитного поля.

В главе 3 обсуждаются полученные точные концентрационные, температурные и полевые зависимости основных термодинамических параметров: свободной энергии, энтропии, внутренней энергии, теплоемкости, химического потенциала и магнитной восприимчивости. Стоит отметить, что Сидорову К. А. удалось получить для магнитной восприимчивости выражение, не зависящее от величины интеграла перескока между ближайшими соседями. Другое интересное заключение автора – два пика в температурной зависимости теплоемкости в магнитном поле. Один из них связывается со спиновыми, а другой – с зарядовыми возбуждениями. Полученные результаты находятся в хорошем согласии с результатами, полученными альтернативными методами в пределе большого внутриузельного отталкивания. Представляется также интересным вывод автора о скачкообразном уменьшении энтропии при $T=0$ при включении сколь угодно малого магнитного поля.

Глава 4 посвящена исследованию влияния внешних давлений различной симметрии на электронную структуру, эволюцию топологии поверхности Ферми с ростом дырочного

допирования и температуру сверхпроводящего перехода в купратах в рамках реалистичной модели низкоэнергетической физики – t - J^* -модели. Сидоров К.А. предсказал возможность больших изменений площадей экстремальных сечений поверхности Ферми при приложении внешнего давления в окрестности критических концентраций дырочного допирования, в которых происходят переходы Лифшица с изменением топологии поверхности Ферми. Рассчитаны также зависимости критической температуры от давления. Сами величины критической температуры получились завышенными, видимо, вследствие использования среднеполевого приближения. Однако зависимости логарифмических производных $d \ln T_c / dp$ от дырочного допирования находятся в хорошем согласии с экспериментом.

В заключении диссертант формулирует основные выводы диссертации.

Учитывая все вышесказанное, следует заключить, что представленная Сидоровым К.А. диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, самостоятельно выполненным на высоком теоретическом уровне. Описанные в работе научные результаты позволяют классифицировать их как заметный вклад в фундаментальные исследования термодинамики низкоразмерных СКЭС.

По диссертационной работе можно сделать следующие замечания.

1. Ключевая часть работы – прямое вычисление статистической суммы в главе 2 – изложена довольно тяжелым языком, что затрудняет понимание. Было бы желательным более дружественное к читателю изложение. Впрочем, здесь же отмечу нечастое по нынешним временам достоинство: работа написана абсолютно грамотно, с минимальным количеством пунктуационных и грамматических ошибок.

2. Очевидно, что в данном случае (появление нового точного результата, причем полученного «в лоб», без анзаца Бете, уравнений Янга-Бакстера и т.п.) важной задачей является сравнение с пределом $U \rightarrow \infty$ в альтернативных подходах. К сожалению, на этом пути автор сделал лишь первые шаги, и число таких сравнений недостаточно.

3. В главе 4 при расчете влияния давления на критическую температуру при корреляционном механизме спаривания есть, очевидно, два эффекта. Первый связан с изменением электронной структуры с ростом давления, а второй – с влиянием давления через изменение обмена непосредственно на магнитное спаривание. Желателен анализ соотношения между этими эффектами.

Все указанные замечания ни в коей мере не снижают общей положительной оценки диссертации и имеют скорее характер пожелания на будущее. Результаты исследования оригинальны, их достоверность не вызывает сомнений. Уровень научных публикаций

автора соответствует предъявляемым требованиям. Результаты Сидорова К.А. докладывались на многих важнейших в России конференциях. Работа хорошо изложена и аккуратно оформлена. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Считаю, что диссертационная работа Сидорова К. А. «Термодинамические особенности низкоразмерных систем с сильными электронными корреляциями» отвечает критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней» для защиты кандидатских диссертаций, а ее автор, Сидоров Кирилл Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Заведующий Теоретическим отделом
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Институт физики высоких давлений
им. Л.Ф. Верещагина Российской академии наук,

д.ф.-м.н., доцент

Подпись А.В. Михеенкова заверяю
Ученый секретарь ИФВД РАН
к.ф.-м.н.

Дата: 16 мая 2016 г.



[Handwritten signature in blue ink]

/А. В. Михеенков/

[Handwritten signature in blue ink]

/Т.В. Валянская/

Данные об оппоненте

Михеенков Андрей Витальевич

Почтовый адрес: 142190, г.Москва, г.Троицк, Калужское шоссе, стр. 14

Телефон: (495)-851-05-82

Факс: (495) 851-00-12

E-mail: mikheen@bk.ru

Список основных публикаций по теме диссертации за последние 5 лет

1. Михеенков А.В., Валиулин В.Э., Шварцберг А.В., Барабанов А.Ф. Спин-спиновая корреляционная длина в 2D фрустрированном магнетике и ее связь с допированием // Журнал Экспериментальной и Теоретической Физики. – 2015. – №3. – С. 514-525.
2. Барабанов А.Ф., Михеенков А.В., Козлов Н.А. Квантовый фазовый переход в двумерном фрустрированном магнетике в матричном проекционном подходе // Письма в ЖЭТФ. – 2015. – № 5. – С. 333-338.
3. Барабанов А.Ф., Каган Ю.М., Максимов Л.А., Михеенков А.В., Хабарова Т.В. Эффект Холла и его аналоги // Успехи физических наук. – 2015. – № 5. – С. 479-488.
4. Каган М.Ю., Кутель К.И., Михеенков А.В., Барабанов А.Ф. // Элементарные возбуждения в симметричной спин-орбитальной модели. – Письма в ЖЭТФ. – № 3. – С. 207-212.
5. Belemuk A. M., Chtchelkatchev N. M., Mikheyenkov A. V. Effective orbital ordering in multiwell optical lattices with fermionic atoms // Physical Review A. – 2014. – N 2. – P. 023625.
6. Михеенков А.В., Шварцберг А.В., Барабанов А.Ф. Фазовые переходы в двумерной J1-J2-модели Гейзенберга при произвольных знаках обменных взаимодействий // Письма в ЖЭТФ. – 2013. – № 3. – С. 178-182.
7. Mikheyenkov A. V., Barabanov A. F., Shvartsberg A. V. On the coexistence of different types of long-range order in the strongly frustrated two-dimensional Heisenberg model // Solid State Communications. – 2012. – N 10. – P. 831-834.
8. Михеенков А.В., Шварцберг А.В., Козлов Н.А., Барабанов А.Ф. Фазовая диаграмма фрустрированного J1-J2-J3 квантового двумерного антиферромагнетика в рамках сферически симметричных функций Грина // Письма в ЖЭТФ. – 2011. – № 7. – С. 419-425.
9. Барабанов А.Ф., Михеенков А.В., Шварцберг А.В. Фрустрированный J1-J2-J3 квантовый двумерный антиферромагнетик в сферически-симметричном самосогласованном подходе // Теоретическая и математическая физика. – 2011. – № 3. – С. 389-416.