

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки Института
электрофизики Уральского отделения
Российской академии наук

С.А. Чайковский



Отзыв

ведущей организации на диссертационную работу

Сидорова Кирилла Александровича

«Термодинамические особенности низкоразмерных систем с сильными электронными корреляциями», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности – 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Несмотря на то, что с появлением работ Либа и Ву анзац Бете признается специалистами как самый систематический подход к изучению свойств одномерной модели Хаббарда, предлагаемые точные решения этой модели и сегодня вызывают значительный интерес у физиков, специализирующихся в области сильных электронных корреляций. Это связано в первую очередь с тем, что при $T \neq 0$ решение Либа-Ву не дает точных выражений для многих термодинамических величин. Исследованию термодинамики модели Хаббарда на основе анзаца Бете посвящено немало работ в мировой литературе. К сожалению, подход настолько сложный, что даже численное решение полученных уравнений далеко не всегда позволяет представить физические результаты в виде привычных температурных или концентрационных зависимостей основных термодинамических параметров. Первая часть диссертационной работы Сидорова К. А. как раз и устраняет этот пробел в литературе по точному решению одномерной модели Хаббарда. С помощью простых методов в пределе бесконечного

отталкивания он выводит точную статистическую сумму и воспроизводит все известные до него результаты по термодинамике. Кроме того, представляется значительным достижением обобщение результатов, полученных автором, на случай наличия ненулевого внешнего магнитного поля. Вторая часть диссертационной работы связана с исследованием влияния давлений различной симметрии на некоторые нормальные и сверхпроводящие свойства ВТСП купратов на примере соединения $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$. Диссертанту удалось выявить два основных эффекта от влияния внешнего давления. Во-первых, оказалось возможным предсказать гигантские скачкообразные изменения площади экстремальных сечений поверхности Ферми, которые могут быть измерены в современных экспериментах по осцилляциям намагниченности в магнитном поле (эффект де Гааза – ван Альфена). Во-вторых, автору удалось качественно объяснить экспериментально наблюдаемое изменение температуры сверхпроводящего перехода (разное по знаку для различных типов симметрии давления) для всех рассматриваемых им типов симметрии давления.

Актуальность темы первой части диссертации в которой представлено достаточно простое точное решение одномерной модели Хаббарда в присутствии магнитного поля в пределе бесконечно сильных корреляций не вызывает сомнений. Хорошо известно, что точные решения выявляют множество конкретных особенностей физических моделей, которые не всегда видны при любом их приближенном решении. Актуальность второй части диссертационной работы, посвященной исследованию влияния давления на концентрационную эволюцию поверхности Ферми и критическую температуру в $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$, также не вызывает сомнений. Природа высокотемпературной сверхпроводимости в таких квазидвумерных сильнокоррелированных системах как купраты и новые ВТСП на основе железа до сих пор остается не до конца выясненной и эти системы продолжают привлекать внимание огромного числа исследователей.

Научная новизна диссертации состоит в первую очередь в том, что Сидорову К. А. удалось предложить новый непертурбативный метод расчета термодинамических параметров одномерной модели Хаббарда в пределе бесконечных корреляций и находящейся во внешнем магнитном поле. Автор, далее, предсказывает возможность экспериментального наблюдения скачкообразного изменения частоты квантовых осцилляций во внешнем магнитном поле в окрестности критических точек по концентрации дырок при приложении к системе давления того или иного типа симметрии. Кроме того, автору удалось объяснить экспериментально наблюдаемое явление изменения T_c для всех изучаемых им типов симметрии давления: гидростатического, в плоскости a -

b, вдоль оси *c*. Работа Сидорова К. А., помимо этого, содержит следующую научную новизну:

1) впервые непертурбативными методами при учете перескоков только между ближайшими соседями доказано точное соотношение между статистическими суммами одномерных холонной *t*-модели и электронной *t*-модели в магнитном поле;

2) впервые получены точные концентрационные и температурные зависимости термодинамических параметров одномерной *t*-модели во внешнем магнитном поле и выявлены их наиболее общие особенности;

3) в рамках LDA+GTB-метода изучено влияние внешнего давления на эволюцию топологии поверхности Ферми с ростом величины концентрации дырочного допирования. Выявлено, что существенные отличия в топологии по сравнению со случаем недеформированной системы имеют место только в узких окрестностях точек квантовых фазовых переходов Лифшица;

4) полученные результаты для барической производной $\frac{d \ln T_c}{dp}$ в случае гидростатического давления находятся в хорошем согласии с экспериментальными данными в окрестности оптимального допирования. Для давления в плоскости *a-b* есть качественное согласие с результатами экспериментов по химическому сжатию в монослойных пленках $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$. В случае давления вдоль оси *c* результаты проведенных расчетов согласуются с экспериментально наблюдаемым сильным убыванием температуры сверхпроводящего перехода при росте величины внешнего давления.

Достоверность результатов, представленных в первой части диссертационной работе, не вызывает сомнения, поскольку речь идет о точном решении, которое может быть проверено и воспроизведено любым специалистом-физиком, кроме того в диссертации достаточно подробно рассматривались результаты в предельных случаях и проведено сравнение с результатами работ других авторов в отсутствие магнитного поля. Достоверность результатов второй части работы достигнута применением апробированного LDA+GTB –метода и реалистичной модели низкоэнергетической физики купратов – *t*-*J**- модели.

Основные замечания к содержанию работы таковы:

1) Точное решение одномерной модели Хаббарда изложено слишком математическим языком без должного внимания к физическому смыслу полученных результатов и их сопоставлению с результатами других авторов. В частности, было

бы полезно исследовать, есть ли предельные случаи применимости известных из литературы подходов, в частности Ферми-жидкости и жидкости Латтинжера.

2) По второй части диссертации основное замечание связано с использованием приближения слабой связи для анализа температуры сверхпроводящего перехода. Как выход за это приближение может качественно изменить результаты? Кроме того для анализа зависимости от допирования поверхностей Ферми $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ использовался LDA+GTB подход, который, по-видимому, эффективно учитывает влияние антиферромагнитных флуктуаций на поверхность Ферми в отличие от LDA+DMFT, который не может учесть пространственных корреляций. Однако, сильные антиферромагнитные флуктуации могут приводить к существенным флуктуациям сверхпроводящего параметра порядка. Поэтому возникает вопрос об использованном приближении среднего поля для описания сверхпроводящего состояния в купратах. Какова роль флуктуаций, лежащих за пределами теории среднего поля?

3) Несмотря на вполне добротную сделанную диссертационную работу, в тексте диссертации встречаются отдельные неточности. В частности, на стр. 21 утверждается что «сверхпроводящее состояние в ВТСП материалах описывается однокомпонентным нетривиальным параметром порядка». Сверхпроводящий параметр порядка безусловно является двухкомпонентным.

Сделанные замечания в основном носят характер пожелания для будущей работы, они ни в коей мере не снижают общее положительное впечатление от проведенных исследований. Диссертационная работа Сидорова К. А. является законченным научным исследованием и выполнена на высоком научном уровне, что говорит о том, что ее автор в ходе ее выполнения сложился как исследователь и достиг квалификационного уровня кандидата физико-математических наук. Результаты работы опубликованы в ведущих российских и одном зарубежном физических журналах, доложены на различных российских и международных конференциях. Полученные в диссертации результаты могут быть использованы в научных учреждениях России, в которых проводятся исследования систем с сильными корреляциями, в том числе: в Институте теоретической физики им. Л. Д. Ландау РАН, Физическом институте им. П. Н. Лебедева РАН, в Институте физики металлов им. М. Н. Михеева УрО РАН, Институте электрофизики УрО РАН, Институте физики им. Л. В. Киренского СО РАН и в Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова. Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.

Диссертационная работа Сидорова Кирилла Александровича удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Работа заслушана на семинаре ИЭФ УрО РАН, протокол № 10 от 16.12.2015 г.

ведущий научный сотрудник
лаборатории теоретической физики,
ИЭФ УрО РАН,
доктор физико-математических наук



Кучинский Э.З.

16 мая 2016 г.

Данные о ведущей организации:

Наименование:

Полное: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук
Сокращенное: ИЭФ УрО РАН

Адрес: 620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, д.106.

Телефон: (343)267-87-96 **Факс:** (343)267-87-94

E-mail: admin@iep.uran.ru **Сайт:** <http://iep.uran.ru>

Список публикаций по теме диссертации за последние 5 лет:

1. M.V. Sadovskii, E.Z. Kuchinskii, I.A.Nekrasov. Iron based superconductors: pnictides versus chalcogenides. JMMM, v. 324, p. 3481-3486 (2012)
2. Э.З.Кучинский, И.А.Некрасов, М.В.Садовский. Обобщенная теория динамического среднего поля в физике сильно коррелированных систем. УФН, 2012, т.182, №4, С. 345-378;
3. I.A.Nekrasov, N.S.Pavlov, M.V.Sadovskii. Consistent LDA'+DMFT - an unambiguous way to avoid double counting problem: NiO test. Письма в ЖЭТФ, 2012, т. 95, №11, С. 659-663
4. I.A. Nekrasov, V. S. Pavlov, and M.V. Sadovskii. Consistent LDA' + DMFT approach to the electronic structure of transition metal oxides: charge transfer isolators and correlated metals. ЖЭТФ, 2013, т. 143, вып.4, С.713-728
5. I.A.Nekrasov,N.S.Pavlov,M.V.Sadovskii. LDA'+DMFT investigation of electronic structure of $K_{1-x}Fe_2-ySe_2$ superconductor. Письма в ЖЭТФ, 2013, т.97, вып.1, с.18-23
6. Э.З.Кучинский, И.А.Некрасов, Н.С.Павлов. Псевдощелевое поведение в модели Эмири для электронно-допированного сверхпроводника $Nd_{2-x}Ce_xCuO_4$: многозонный LDA+DMFT+Sigma-подход. ЖЭТФ, 2013, т. 144, вып.2(8), С. 379-390
7. I.A.Nekrasov,N.S.Pavlov,M.V.Sadovskii. Doping dependence of correlation effects in $K_{1-x}Fe_2-ySe_2$ superconductors: LDA'+DMFT investigation. ЖЭТФ, 2013, т. 144, вып.5(11), С. 1061-1067
8. N.A. Kuleeva, E.Z. Kuchinskii, M.V. Sadovskii. Normal phase and superconducting instability in attractive Hubbard model: the DMFT(NRG) study. ЖЭТФ, 2014, т. 146, вып. 2(8), С. 304-312
9. И.А. Некрасов, М.В. Садовский. Электронная структура новых сверхпроводников на основе железа: от пниктидов к халькогенидам и другим аналогичным системам. Письма ЖЭТФ, 2014, т. 99, вып. 10, С. 687-703
10. M.V.Sadovskii, I.A.Nekrasov. Electronic and magnetic properties of the new iron-based superconductor $[Li_{1-x}Fe_xOH]FeSe$. Письма в ЖЭТФ, 2015, т. 101, вып. 1, С. 50-53

11. I.A.Nekrasov, M.V.Sadovskii, N.S.Pavlov. Electronic Structure of NaFeAs Superconductor: LDA+DMFT calculations compared with ARPES experiments. Письма в ЖЭТФ, 2015, т. 102, С. 30-35
12. E.Z.Kuchinskii, N.A.Kuleeva, M.V.Sadovskii. Attractive Hubbard Model with Disorder and the Generalized Anderson Theorem. ЖЭТФ, 2015, т. 147, С. 1220-1229
13. E.Z.Kuchinskii, N.A.Kuleeva, M.V.Sadovskii. Attractive Hubbard model: homogeneous Ginzburg - Landau Expansion and disorder. ЖЭТФ, 2016, т. 149, вып. 2, С. 430–438
14. E.Z.Kuchinskii, M.V.Sadovskii. DMFT+ Σ approach to disordered Hubbard model. ЖЭТФ, 2016, т. 149, вып. 3, С. 589–605