

На правах рукописи

Головня Александр Александрович

О РОЛИ СИЛОВОГО ОПЕРАТОРА В ТЕОРИИ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
СВЕРХПРОВОДНИКОВ С СИЛЬНЫМИ КОРРЕЛЯЦИЯМИ

01.04.07 – физика конденсированного состояния

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Красноярск-2006

Работа выполнена в Институте физики им. Л.В. Киренского СО РАН

Научный руководитель: профессор, доктор физико-математических наук Вальков В.В.

Официальные оппоненты: профессор, доктор физико-математических наук Захаров Ю.В.,
доцент, кандидат физико-математических наук Батыев Э.Г.

Ведущая организация: Новосибирский государственный университет

Защита состоится «_____» декабря 2006 г. в _____ час. на заседании диссертационного совета Д 003.055.02 при Институте физики им. Л.В. Киренского СО РАН по адресу: 660036, г. Красноярск, Академгородок, Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Института физики им. Л.В. Киренского СО РАН.

Автореферат разослан «_____» ноября 2006 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор физико-математических наук

Аплеснин С.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Открытие высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) стимулировало интенсивное развитие теоретических представлений, направленных на понимание механизма куперовского спаривания в ВТСП - материалах. Наличие сильных электронных корреляций, определяющих особенности их электронного строения, потребовало развития адекватного математического аппарата. Одним из наиболее перспективных методов теоретического исследования сильно коррелированных систем является метод, основанный на использовании графической формы теории возмущений в атомном представлении. Такой подход - диаграммная техника для операторов Хаббарда (ДТХ) содержит ряд отличительных нюансов [1], которые, с одной стороны, приводят к усложнению самой техники по сравнению с обычной фейнмановской, а с другой - приводят к необходимости дальнейшего развития общего формализма. В частности, до недавнего времени при развитии теории сверхпроводящей фазы сильно коррелированных электронов методом ДТХ не принимались во внимание аномальные компоненты силового оператора. В этой связи представлялось актуальным проанализировать влияние аномальных компонент силового оператора как на общую модификацию уравнений для сверхпроводящей фазы, так и на конкретные свойства, рассчитанные в однопетлевом приближении.

Цель работы: развитие теории сверхпроводящей фазы сильно коррелированных электронов (хаббардовских фермионов) при учете

аномальных компонент силового оператора и исследование влияния спин-флуктуационных процессов рассеяния на критическую температуру.

Задачи:

1. При учете аномальных компонент силового оператора вывести уравнения, определяющие связь нормальных и аномальных функций Грина с компонентами силового и массового операторов (модифицированные уравнения Горькова). Из решения этих уравнений получить аналитические представления функций Грина через нормальные и аномальные компоненты массового и силового операторов.
2. Используя графическую теорию возмущений в атомном представлении, в однопетлевом приближении вычислить аномальные компоненты силового и массового операторов для $t-J$ - модели и получить замкнутую систему уравнений самосогласования для сверхпроводящей фазы. Разработать метод решения этой системы интегральных уравнений и рассчитать концентрационные зависимости критической температуры перехода в сверхпроводящую фазу как для s-, так и для d- типа симметрии параметра порядка.
3. В рамках $t-t'-t''-J^*$ - модели, включающей дальние перескоки и трехцентровые взаимодействия, вычислить аномальные компоненты массового и силового операторов. Построить концентрационную зависимость критической температуры для d- типа симметрии сверхпроводящего

параметра порядка.

4. Провести анализ нормальной и сверхпроводящей фаз сильно коррелированных хаббардовских фермионов, при учете как аномальных, так и нормальных компонент силового оператора. Рассмотреть влияние спин-флуктуационных процессов рассеяния на функцию распределения хаббардовских фермионов в состоянии нормального металла.

Научная новизна. Впервые получены уравнения для сверхпроводящей фазы, учитывающие вклады от аномальных компонент силового оператора. Показано, что их учет принципиально меняет структуру выражения для аномальных средних. В рамках диаграммной техники для операторов Хаббарда получен графический и аналитический вид нормальных и аномальных компонент силового оператора как для обычной $t-J$ -модели, так и для расширенной $t-t'-t''-J^*$ - модели, учитывающей дальние перескоки и трехцентровые взаимодействия. Показано, что компоненты силового оператора в однопетлевом приближении описывают спин-флуктуационные процессы рассеяния, а их зависимость от мацубаровских частот приводит к бесконечной системе интегральных уравнений самосогласования для сверхпроводящей фазы. Отличие перенормировок для константы обменного взаимодействия в выражениях для силового и массового операторов, при учете трехцентровых взаимодействий, свидетельствует о невозможности сведения описания $t-J^*$ к $t-J$ модели. При выводе уравнения, определяющего критическую температуру перехода в

сверхпроводящую фазу, бесконечная система уравнений самосогласования решена точно. Показано, что процессы рассеяния на спиновых флуктуациях, учитываемые в теории через компоненты силового оператора, существенно влияют на область реализации сверхпроводящей фазы, а в нормальной фазе приводят к не ферми-жидкостному поведению системы.

Научная и практическая ценность представленных в диссертации результатов определяется тем, что впервые в теорию сверхпроводящей фазы сильно коррелированных электронов введена новая величина – аномальная компонента силового оператора. При ее учете записаны модифицированные уравнения Горькова и получены представления для нормальных и аномальных функций Грина. Существенно, что описание сверхпроводящей фазы в рамках нового подхода осуществляется на основе системы бесконечного числа интегральных уравнений, завязывающих между собой аномальные компоненты массового и силового операторов. Практическая значимость результатов определяется в частности тем, что в применении к конкретным ВТСП материалам учет компонент силового оператора приводит к критическим температурам перехода в сверхпроводящее состояние с d- типом симметрии более реальным по сравнению с температурами, полученными без такого учета. Необходимо отметить также, что для правильного вычисления аномальных средних существенное значение имеет вклад от аномальной компоненты силового оператора.

Достоверность результатов. Достоверность полученных результатов определяется корректностью использования математического аппарата, контролируемостью применяемых приближений, а также правильностью предельных переходов к известным результатам [2]. Кроме этих факторов следует отметить, что полученное при учете аномальных компонент массового и силового операторов уравнение для критической температуры перехода в сверхпроводящую фазу в случае s-типа симметрии параметра порядка полностью совпадает с уравнением, вычисленным ранее [1] из анализа полюса амплитуды рассеяния в куперовском канале.

Положения, выносимые на защиту.

1. Развитие теории сверхпроводящей фазы сильно коррелированных электронов (хаббардовских фермионов) при учете аномальных компонент силового оператора. Представления для нормальных и аномальных функций Грина через нормальные и аномальные компоненты силового и массового операторов.
2. Исследование влияния спин-флуктуационных процессов рассеяния на область реализации сверхпроводящей фазы посредством учета в теории аномальных и нормальных компонент силового оператора.
3. Исследование взаимного влияния дальних перескоков, трехцентровых взаимодействий и спин-релаксационных процессов рассеяния на концентрационную зависимость

температуры перехода в сверхпроводящую фазу с d- типом симметрии параметра порядка.

4. Обнаружение в нормальной металлической фазе t-J – модели при $0 < T \ll \mu$, (T - температура, μ - химпотенциал) не фермижидкостного поведения системы хаббардовских фермионов, проявившегося посредством сильного размытия функции распределения и возникающего при учете нормальной компоненты силового оператора.

Апробация работы. Основные результаты данной работы были доложены и обсуждались на международных конференциях: «Международная конференция по сильно коррелированным электронным системам» SCES'05 (Австрия, Вена – 2005), «Международная конференция по магнетизму» ICM-2006 (Япония, Киото - 2006), XXXI Международная зимняя школа физиков-теоретиков «Коуровка-2006» (Россия, Кыштым - 2006), Международная конференция «Физика конденсированного состояния вещества при низких температурах» (Украина, Харьков - 2006). «9-ый международный симпозиум. Порядок, беспорядок и свойства оксидов» ODPO-9 (Сочи, п.Лоо - 2006), «Фундаментальные проблемы сверхпроводимости» ФПС'06 (Россия, Звенигород - 2006); на всероссийских конференциях: «34-е Всероссийское Совещание по Физике Низких Температур» ФНТ-34 (Сочи, п.Лоо - 2006); на заседании секции «Магнетизм» Научного совета Российской Академии Наук (Москва, ИФП - 2005); на Сибирских семинарах по высокотемпературной сверхпроводимости ОКНО (Омск - 2005,

Новосибирск - 2006); на конференциях молодых ученых КНЦ СО РАН (Красноярск 2005, 2006), а также докладывались на научных семинарах Института физики им. Л.В. Киренского СО РАН.

Публикации: Основные результаты диссертации изложены в 12 печатных работах, список которых приведен в конце автореферата.

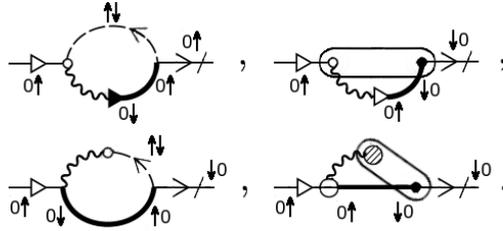
Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, изложена на 96 страницах, включая 14 рисунков. Список цитируемой литературы содержит 86 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

В **первой главе** диссертации представлен обзор наиболее популярных моделей сильно коррелированных электронных систем и диаграммный метод их теоретического исследования. Обсуждено современное состояние вопроса о роли спин-флуктуационного механизма в формировании сверхпроводящей фазы с d- типом симметрии параметра порядка, а также влияние трехцентровых взаимодействий на область реализации сверхпроводящей фазы. В последнем параграфе первой главы приводится постановка задачи.

Во **второй главе** диссертации описывается построение теории сверхпроводящей фазы с учетом аномальных компонент силового оператора. Получена модифицированная система уравнений Горькова и записаны представления для нормальных и аномальных мацубаровских функций Грина через нормальные и аномальные компоненты силового и массового операторов. Показывается, что эти аномальные компоненты

принципиально меняют структуру выражения для аномальных средних. В этой же главе, развитая теория применяется к исследованию сверхпроводящей фазы для $t-J$ - модели. На основе диаграммной техники для операторов Хаббарда в однопетлевом приближении получен графический



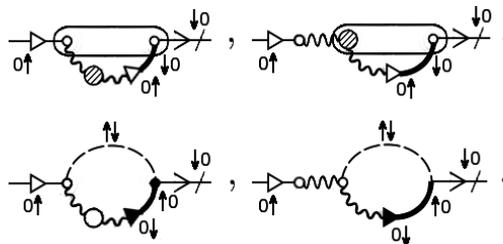
и аналитический

$$P_{12}(\vec{k}, i\omega_m) = \frac{\alpha}{N} \sum_{\vec{q}} (t_{\vec{q}} + J_{\vec{k}-\vec{q}}) \left[G_{0\downarrow, \uparrow 0}(\vec{q}, i\omega_m) - G_{0\uparrow, \downarrow 0}(\vec{q}, i\omega_m) \right], \alpha = 3\chi T - \frac{C_n}{4}, \quad (1)$$

вид аномальной компоненты $P_{12}(i\omega_m)$ силового оператора. В (1) χ - магнитная восприимчивость системы, рассчитываемая по методу работы [3], C_n -одноузельный коррелятор плотность–плотность, а $G_{0\downarrow, \uparrow 0}(\vec{q}, i\omega_m)$ и $G_{0\uparrow, \downarrow 0}(\vec{q}, i\omega_m)$ - аномальные функции Грина. Из графического представления видно, что $P_{12}(i\omega_m)$ описывают процессы рассеяния на спиновых и зарядовых флуктуациях. Зависимость $P_{12}(i\omega_m)$ от мацубаровской частоты $\omega_m = (2m + 1)\pi T, m = 0, 1, 2, \dots$ приводит к бесконечной системе уравнений самосогласования. В этой же главе развита процедура решения бесконечного числа полученных уравнений самосогласования. Решение системы уравнений самосогласования проведено для d- и s- типов симметрии параметра порядка и

осуществлен численный анализ уравнения для критической температуры перехода в сверхпроводящее состояние T_c . Показано, что для s- типа симметрии параметра порядка учет $P_{12}(i\omega_m)$ оказался более существенным (максимальное значения T_c уменьшилось более чем в шесть раз), чем для сверхпроводящей d-фазы. Следует отметить, что найденное в диссертации уравнение для T_c (вывод осуществлен из уравнений самосогласования для сверхпроводящей фазы с s-типом симметрии) совпало с соответствующим уравнением, полученным Зайцевым Р.О. [1] из анализа амплитуды рассеяния для нормальной фазы в куперовском канале.

В третьей главе диссертации развитая теория применена для анализа совместного влияния трехцентровых взаимодействий, перескоков электронов между узлами, относящихся к дальним координационным сферам и аномальных компонент силового оператора. В однопетлевом приближении аномальные компоненты силового оператора, обусловленные трехцентровыми взаимодействиями, определяются диаграммами:



Сопоставляя графикам аналитические выражения и вычисляя вклады в массовый оператор $\Sigma_{12}(\vec{k})$, связанные с наличием трехцентровых

взаимодействий, после ряда преобразований была получена замкнутая система уравнений самосогласования для сверхпроводящей фазы

$$\begin{aligned} \Sigma_{12}(\vec{k}) &= -\frac{T}{N} \sum_{\vec{q}, \omega_l} A_{\vec{k}}(\vec{q}) \frac{2\Sigma_{12}(\vec{q}) - t_{\vec{q}} P_{12}(\vec{q}, i\omega_l)}{\det(\vec{q}, i\omega_l)}, \\ P_{12}(\vec{k}, i\omega_m) &= -\frac{\alpha}{N} \sum_{\vec{q}} B_{\vec{k}}(\vec{q}) \frac{2\Sigma_{12}(\vec{q}) - t_{\vec{q}} P_{12}(\vec{q}, i\omega_m)}{\det(\vec{q}, i\omega_m)} \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} B_{\vec{k}}(\vec{q}) &= t_{\vec{q}} + \frac{1}{2} \left(1 + \frac{n}{2}\right) J_{\vec{k}-\vec{q}} + \left(1 - \frac{n}{2}\right) \frac{t_{\vec{k}} t_{\vec{q}}}{U} - \frac{n}{2} \left(\frac{t_{\vec{q}}^2}{U} - \frac{J_0}{2}\right), \\ A_{\vec{k}}(\vec{q}) &= t_{\vec{q}} + \frac{n}{2} J_{\vec{k}-\vec{q}} + 2 \left(1 - \frac{n}{2}\right) \frac{t_{\vec{k}} t_{\vec{q}}}{U} - n \left(\frac{t_{\vec{q}}^2}{U} - \frac{J_0}{2}\right). \end{aligned} \quad (3)$$

Подчеркнем, что разные перенормировки при $J_{\vec{k}-\vec{q}}$ в выражениях для

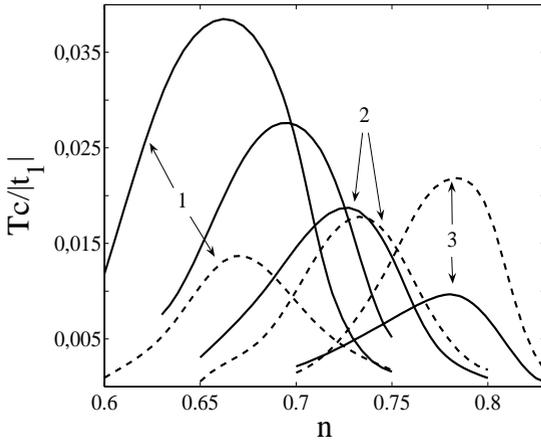


Рис.1. Концентрационные зависимости критической температуры T_c для d -типа симметрии параметра порядка (сплошными линиям указаны кривые с учетом аномальных компонент силового оператора, пунктиром – без учета)

массового и силового операторов указывают на невозможность сведения описания $t-J^*$ - к $t-J$ - модели. Бесконечная система уравнений (2) для d - симметрии параметра порядка была решена точно на основе выведенных в диссертации правил сумм. На рис. 1 показаны графики, отражающие результаты

численного расчета зависимости температуры перехода T_c в сверхпроводящее состояние с d- типом симметрии параметра порядка от концентрации n электронов. Графики приведены при различных значениях параметра перескока. Во всех случаях $t' = 0.2|t|$, а $t'' = 0.1|t|, 0.2|t|, 0.3|t|$ для графиков, помеченных цифрами 1, 2 и 3 соответственно; сплошная линия без номера - $t'' = 0.15|t|$. Видно, что без $P_{12}(\vec{k}, i\omega_n)$ увеличение параметра t'' приводит к смещению максимума в зависимости $T_c(n)$ в сторону больших n и увеличению максимального значения критической температуры. Если же теория сверхпроводящей фазы строится при учете аномальной компоненты силового оператора, то возникает качественно иная ситуация. При малых значениях параметра t'' включение $P_{12}(\vec{k}, i\omega_n)$ приводит к значительному возрастанию T_c , причем данная тенденция имеет место и при дальнейшем движении в области низких концентраций. С ростом t'' максимальное значение быстро падает, т. е. имеет место качественно противоположная по сравнению с предыдущим случаем картина влияния t'' на область реализации сверхпроводящей фазы.

В **четвертой главе** показано, что вычисленные в однопетлевом приближении нормальные компоненты силового оператора $P_{11}(\vec{k}, i\omega_n)$ также существенно влияют на область реализации сверхпроводящей фазы сильно коррелированных электронных систем. На рис. 2а приведены зависимости $T_c(n)$ при тех же значениях параметра перескока, что и на рис.1. Для рис. 2б выбраны следующие значения

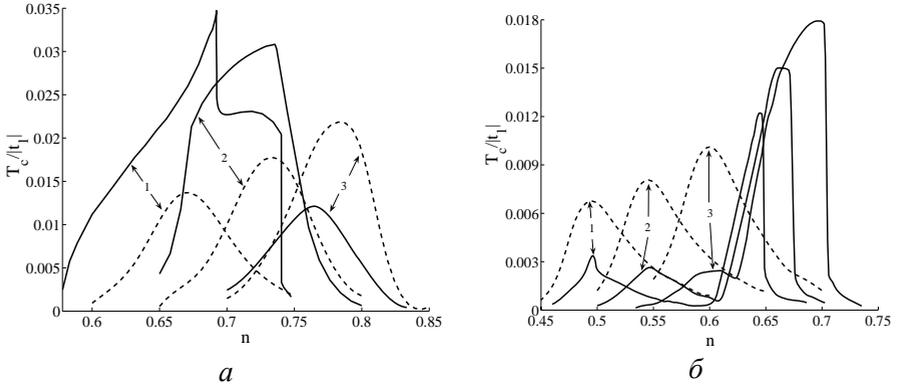
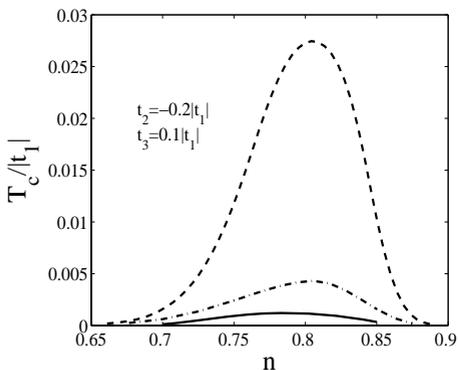
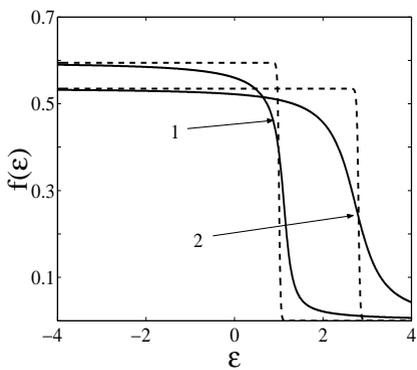


Рис.2. Зависимости T_c от концентрации электронов. (сплошными линиям указаны кривые с учетом аномальных компонент силового оператора, пунктиром – без учета).

параметров $t' = 0.2|t|$, а $t'' = -0.1|t|, -0.05|t|, 0.01|t|$ для графиков, помеченных цифрами 1, 2 и 3 соответственно. Из представленных графиков видно, что совместный учет аномальных и нормальных компонент силового оператора существенно модифицирует концентрационные зависимости $T_c(n)$. Это в наглядной форме демонстрирует важность учета спин-флуктуационных процессов рассеяния при описании сверхпроводящей фазы. Наиболее заметное влияние рассмотренных процессов на зависимость $T_c(n)$ было обнаружено в том случае, когда параметры выбирались такими, чтобы в приближении среднего поля значение концентрации в точке максимума кривой $T_c(n)$ соответствовало экспериментально наблюдаемому значению оптимального допирования. Результаты соответствующих расчетов представлены на рисунке 3а. Видно, что наиболее сильное изменение области реализации



а



б

Рис.3а. Зависимости $T_c(n)$ от концентрации электронов в различных приближениях: пунктиром показана зависимость $T_c(n)$ в приближении среднего поля; штрих пунктиром – кривая, полученная при учете только аномальных компонент силового оператора; сплошной линией – кривая, полученная при полном учете (нормальных и аномальных) компонент силового оператора.

Рис.3б. Функция распределения хаббардовских фермионов при конечных температурах.

сверхпроводящей фазы происходит при совместном учете нормальных и аномальных компонент силового оператора. При этом температура перехода в точку оптимального допирования уменьшилась более, чем в десять раз. В этой же главе установлено существенное влияние силового оператора (рассчитываемого самосогласованным образом за пределами приближения Хаббард-I) на свойства нормальной фазы. Показано, что в нормальной фазе учет нормальных компонент силового оператора приводит к не ферми-жидкостному поведению ансамбля хаббардовских фермионов. Это проявляется посредством существенного размытия

функции распределения для чисел заполнения фермионов и к ее существенному отличию от "фермиевской ступеньки", несмотря на то, что температура много меньше значения хипотенциала. Этот результат продемонстрирован на рисунке 3б. Представленные на нем графики отражают зависимости функции распределения хаббардовских фермионов $f(\varepsilon)$ от их энергии при температуре $T = 0.01|t|$ при двух значениях концентрации носителей тока (и соответственно хипотенциала): $n = 0.81, \mu = 0.6|t|$ (кривая 1), $n = 0.93, \mu = 1.5|t|$ (кривая 2).

В **заключении** приводятся основные результаты, полученные в диссертационной работе.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. При учете нормальных $P_{11}(\vec{k}, i\omega_n)$ и аномальных $P_{12}(\vec{k}, i\omega_n)$ компонент силового оператора развита теория сверхпроводящей фазы сильно коррелированных электронов. Показано, что $P_{12}(\vec{k}, i\omega_n)$ модифицируют уравнения Горькова, а также аналитические представления для нормальных и аномальных функций Грина. Установлена важная роль $P_{12}(\vec{k}, i\omega_n)$ при вычислении аномальных средних.
2. В однопетлевом приближении получены графическое и аналитическое представления для $P_{12}(\vec{k}, i\omega_n)$. Показано, что трехцентровые взаимодействия по разному ренормируют константы обменной связи в выражениях для массового и

силового операторов. Зависимость $P_{12}(\vec{k}, i\omega_n)$ от мацубаровской частоты приводит к бесконечной системе интегральных уравнений самосогласования для сверхпроводящей фазы. Для d-симметрии сверхпроводящего параметра порядка установлены точные правила сумм по мацубаровским частотам для амплитуд силового оператора. С помощью этих правил бесконечная система интегральных уравнений в точке перехода была решена точно, что позволило получить уравнение для критической температуры перехода в сверхпроводящую фазу.

3. На основе выведенных уравнений рассчитаны концентрационные зависимости критической температуры перехода в сверхпроводящую фазу $T_c(n)$ для $t-t'-t''-J^*$ -модели и проанализировано совместное влияние дальних перескоков, трехцентровых взаимодействий и спин-флуктуационных процессов рассеяния на эту зависимость. Показано, что учет нормальных компонент силового оператора приводит к сдвигу кривой $T_c(n)$ в сторону меньших концентраций и к существенному уменьшению области реализации сверхпроводящей фазы. Такая модификация $T_c(n)$ связана с процессами рассеяния на спиновых степенях свободы, приводящими как к затуханию квазичастиц, так и к модификации их закона дисперсии.
4. Показано, что при выходе за рамки приближения Хаббарда-I, поведение ансамбля хаббардовских фермионов в нормальной фазе становится не ферми-жидкостным. Это проявляется в виде

сильного размытия функции распределения. Физически это обусловлено процессами рассеяния на спиновых флуктуациях, а в математической форме является следствием учета вкладов от силового оператора.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. В.В. Вальков, А.А. Головня, Д.М. Дзедзисашвили. Влияние силового оператора на условия реализации сверхпроводимости в t - J - модели // Вестник КГУ.-2005.-Т.1.-С.12-20.
2. V.V. Val'kov, A.A. Golovnya, D.M. Dzebisashvili. The role of anomalous strength operator in the high- T_c superconductivity theory // Physica B.-2005.-V.378-380.-P.465-466.
3. V.V. Val'kov, A.A. Golovnya. The influence of the spin-fermion scattering on high temperature superconductors // Uzb. J. Phys.-2006.-V.8,N.4-5.-P.269-282.
4. V.V. Val'kov, A.A. Golovnya, D.M. Dzebisashvili. The role of anomalous strength operator in the high- T_c superconductivity theory // The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems. Program and Abstracts. -Austria,Vienna.-July 26th-30th.-2005.-P.134.
5. V.V. Val'kov, A.A. Golovnya. The description of the superconductivity in atomic representation for t_1 - t_2 - t_3 - J^* model // The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems. Abstracts.-Japan,Kyoto.-20th-25th August.-2006.-P.255.
6. В.В. Вальков, А.А. Головня. О роли аномальных компонент силового оператора при описании ВТСП и вычислении

аномальных средних от произведения хаббардовских операторов // XXXI Международная зимняя школа физиков-теоретиков. Тезисы докладов. -Кыштым.-19-25 февраля.-2006.-С.9.

7. В.В. Вальков, А.А. Головня, Д.М. Дзедзисашвили. Проявление магнитных корреляций через силовой оператор в моделях сильно коррелированных систем // XXXI Международная зимняя школа физиков-теоретиков. Тезисы докладов. -Кыштым.-19-25 февраля.-2006.-С.12.
8. В.В. Вальков, А.А. Головня. Теория сверхпроводящей фазы сильно коррелированных электронов с учетом вкладов от компонент силового оператора // Международная конференция ``Физика конденсированного состояния вещества при низких температурах". Тезисы докладов. -Харьков.-2006.-С.27-30.
9. В.В. Вальков, А.А. Головня. Условия реализации сверхпроводящей фазы оксидов меди при учете трехцентровых взаимодействий и спиновых флуктуаций // 9-й международный симпозиум. Порядок,беспорядок и свойства оксидов. Труды симпозиума. -Ростов-на-Дону-п.Лео.-19-23 сентября.-2006.-Ч.1,-С.55-58.
10. В.В. Вальков, А.А. Головня. Влияние спин-флуктуационного рассеяния на сверхпроводимость сильно коррелированных систем с трехцентровыми взаимодействиями // 34-е совещание по физике низких температур. Труды. -Ростов-на-Дону-п.Лео.-26-30 сентября.-2006.-Т.2.-С.219-220.
11. В.В. Вальков, А.А. Головня. Описание сверхпроводящей фазы

хаббардовских фермионов при учете аномальных компонент силового оператора // 34-е совещание по физике низких температур. Труды. -Ростов-на-Дону-п.Лоо.-26-30 сентября.-2006.-Т.2.-С.216-218.

12. В.В. Вальков, А.А. Головня. Сверхпроводимость хаббардовских фермионов при учете спин-релаксационных процессов и дальних перескоков //Вторая международная конференция «Фундаментальные проблемы высокотемпературной сверхпроводимости ФПС'06», 9-13 октября.-2006 года, г.Звенигород. Сборник трудов -Москва, ФИАН 2006.-С.42-43.

СПИСОК ЦИТИРУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Р.О. Зайцев. Диаграммные методы в теории сверхпроводимости и ферромагнетизма. -Москва: УРСС,2004.-176 с.
2. Ю.А. Изюмов. Сильно коррелированные электроны: t-J -модель // УФН.-1997.-Т.167,В.5.-С.465-497.
3. Н.М. Плакида, Л. Антон, С. Адам, Г. Адам. Обменный и спин-флуктуационный механизмы сверхпроводимости в купратах // ЖЭТФ.-2003.-Т.124,В.2(8).-С.367-378.

Подписано в печать 17.11.2006.
Формат 60x85 16.у.-и. л. 1.
Усл. печ. л. 1. Тираж 70. Заказ № 41

Отпечатано в типографии Института Физики СО РАН
6600366 Красноярск, Академгородок, ИФ СО РАН.