

РОССИЙСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
"КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ"

На правах рукописи
УДК : 538.945

КИСЕЛЕВ МИХАИЛ НИКОЛАЕВИЧ

СИЛЬНОКОРРЕЛИРОВАННЫЕ
СПИНОВЫЕ И ЗАРЯДОВЫЕ СИСТЕМЫ
В УСЛОВИЯХ БЛИЗОСТИ К ФАЗОВОМУ
ПЕРЕХОДУ

01.04.02 - теоретическая физика

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

МОСКВА - 1995

Работа выполнена в Российском Научном Центре
”Курчатовский Институт”

Научные руководители

кандидат физико-математических наук

Бабиченко В.С.

доктор физико-математических наук

Кикоин К.А.

Официальные оппоненты

доктор физико-математических наук

Барabanов А.Ф.

кандидат физико-математических наук

Лозовик Ю.Е.

Ведущая организация: Московский Инженерно-Физический Институт
(Технический Университет),
Москва, Каширское шоссе 31.

Защита состоится ” ____ ” _____ 1995г. в _____ часов
на заседании диссертационного совета по ядерной физике и физике
твёрдого тела (Д.034.04.02) в Российском Научном Центре ”Курчатов-
ский Институт”, 123182 Москва, пл. Курчатова, 1; т. 196 92 51.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РНЦ ”Курчатов-
ский Институт”

Автореферат разослан ” ____ ” _____ 1995г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Скорохватов М.Д.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Объектом исследования диссертации являются системы с сильными спиновыми и зарядовыми флуктуациями, к которым можно отнести как Высокотемпературные Сверхпроводники (ВТСП), так и тяжелофермионные (ТФ) соединения. И тем и другим соединениям присущ ряд особенностей, позволяющих объединить эти соединения в один класс. Исключительная чувствительность этих соединений к изменению внутренних и внешних по отношению к системе параметров (отклонение от стехиометрического состава, температура, направление и величина внешнего магнитного поля и т.д.) свидетельствует о существенном влиянии близости к различного рода неустойчивостям (зарядовой, магнитной, сверхпроводящей) на свойства нормального и сверхпроводящего состояний.

Диссертация посвящена исследованию конкретных особенностей поведения сильнокоррелированных систем вблизи перехода металл - диэлектрик (экситонная неустойчивость) и перехода в магнитоупорядоченное состояние (антиферромагнетик) или состояние спиновой жидкости типа Резонирующих Валентных Связей (RVB).

В диссертации предложено описание неустойчивостей зарядового типа в рамках двухзонной модели узкощелевого полупроводника при ненулевом допировании. Эта теория обобщает концепцию экситонного диэлектрика на случай отличной от нуля концентрации электронов проводимости и позволяет проанализировать возможности нефононной сверхпроводимости в этой модели. Использование методов квантовой теории поля позволяет построить самосогласованную микроскопическую теорию экситонного перехода, исследовать неустойчивость в различных каналах взаимодействия.

В диссертации также предлагается микроскопический механизм формирования нейтральной спиновой жидкости в Кондо - решетках. Показано, что одноузельное Кондо - рассеяние электронов проводимости при температурах больше температуры Кондо не только подавляет магнитный порядок, но и способствует возникновению состояний RVB типа. Предложенный в диссертации механизм качественно объясняет целый ряд экспериментов в тяжелофермионных соединениях на основе Ce и U , а развитый подход может быть использован для количественного описания необычных свойств этих и других ТФ соединений.

Основной целью настоящей работы является развитие теории сильнокоррелированных спиновых и зарядовых систем в условиях близости к переходу в диэлектрическое, сверхпроводящее или магнитное состояние и ее применение к анализу конкретных физических систем.

Научная новизна

1. Предсказана возможность возникновения экситонной фазы при ненулевом легировании за счет взаимодействия экситонов с электронами. Найдены условия существования экситонного конденсата в двух- и в трехмерных системах.
2. Развита теория взаимодействия сильно-неидеальной ферми - жидкости электронов с экситонной подсистемой. Вычислены амплитуды рассеяния электронов на экситонах в размерности системы $d = 2$ и $d = 3$.
3. Построена теория взаимодействия электронов проводимости с решеткой спинов редкоземельных металлов в условиях близости температуры Нееля магнитного упорядочения спинов и температуры Кондо.
4. Предложен механизм стабилизации спиновой жидкости в Кондо - решетках.

Практическая ценность работы. Во многих задачах физики конденсированного состояния близость системы к неустойчивости того или иного типа оказывает существенное влияние на свойства этой системы. Развиваемая в работе теория сильнокоррелированных спиновых и зарядовых систем в условиях близости к фазовому переходу представляет собой попытку построения теор-физического аппарата, применимого для описания систем в области достаточно сильных зарядовых и спиновых флуктуаций.

Применение теории для объяснения сверхпроводимости полупроводниковых соединений позволяет с единых позиций объяснить ряд эффектов, в интерпретации которых существовали до сих пор определенные трудности. Предсказание новых эффектов стимулирует дальнейшее развитие экспериментов в полупроводниках группы $A^{III}B^V$.

Предложенный в работе механизм стабилизации спиновой жидкости в Кондо - решетках помогает понять природу аномальных магнитных свойств соединений с тяжелыми фермионами на основе Ce и U .

Развитый подход в задаче об экситонной неустойчивости носит общеметодологический характер и может быть использован при анализе других задач.

На защиту выносятся

1. Теория экситонного перехода в узкощелевом легированном полупроводнике, в том числе:
 - а) вывод гидродинамического действия для двухзонной модели полупроводника при наличии легирования.
 - б) вывод выражений для амплитуды рассеяния экситонов на экситонах и экситонов на электронах в двумерном и трехмерном случае.
 - в) электронные механизмы сверхпроводимости в условиях близости к экситонной неустойчивости.
2. Доказательство возможности существования экситонного конденсата в присутствии электронной подсистемы.
3. Теория взаимодействия электронов проводимости с решеткой спинов редкоземельных металлов в условиях близости температуры магнитного упорядочения спинов (температуры Нееля) и температуры Кондо.
4. Доказательство возможности стабилизации спиновой жидкости в Кондо-решетках, в том числе вычисление температуры перехода в однородное RVB - состояние при наличии одноузельных процессов рассеяния с переворотом спина.

Апробация работы: результаты работы докладывались на Международной конференции по Высокотемпературной Сверхпроводимости (Израиль, 1993), Международной конференции по Высокотемпературной Сверхпроводимости (Гренобль, Франция, 1994) Международной конференции по Сильнокоррелированным Электронным Системам (Амстердам, Нидерланды, 1994), Зимней школе ПИЯФ по физике твердого тела (Гатчина, 1994), Летней школе ИТФ им. Ландау (Черноголовка, 1994), совместном Российско-Германском семинаре по сильнокоррелированным системам (Дубна 1994) на научных семинарах ФИАН, МИФИ, а также на конференциях и семинарах РНЦ Курчатовский Институт. По теме диссертации опубликовано 7 печатных работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и двух приложений. Общий объем - страниц, включая рисунков и библиографического списка из наименований.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель исследования, постановка задачи и основные положения, выносимые на защиту. Первая и вторая главы диссертации посвящены исследова-

нию систем с сильными зарядовыми флуктуациями вблизи перехода металл-диэлектрик. Исследованы сверхпроводящие свойства таких систем.

В первой главе рассматривается общий подход к задаче об экситонном диэлектрике, основанный на применении метода континуального интегрирования [1*, 2*]. В качестве исходной модели рассмотрена модель узкощелевого легированного полупроводника с квадратичным законом дисперсии, определяющим широкую зону проводимости с эффективной массой m_e и узкую валентную зону с эффективной массой m_h [1, 2].

$$\varepsilon_h(\mathbf{p}) = -\frac{E_g}{2} - \frac{\mathbf{p}^2}{2m_h}, \quad \varepsilon_e(\mathbf{p}) = \frac{E_g}{2} + \frac{\mathbf{p}^2}{2m_e} \quad (1)$$

Эффективное взаимодействие имеет вид плотность-плотность:

$$H_{int} = \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \int d\mathbf{x} d\mathbf{y} \Psi_i^\dagger(\mathbf{x}) \Psi_i(\mathbf{x}) V_{\mathbf{x}-\mathbf{y}} \Psi_j^\dagger(\mathbf{y}) \Psi_j(\mathbf{y}) \quad (2)$$

Ψ^\dagger, Ψ – операторы рождения и уничтожения электронов из соответствующей зоны $i, j = e, h$, $V(\mathbf{r}) = e^2/(\epsilon_0 r)$ – потенциал кулоновского взаимодействия, ϵ_0 – статическая диэлектрическая проницаемость полупроводника. Предполагается легирование в зону проводимости ”легкими” носителями.

Двухзонная модель полуметалла [1, 2] и узкощелевого полупроводника при отсутствии легирования [2, 3] была исследована в ряде работ [1-8]. Позднее, в работе [9], предпринималась попытка использования модели для объяснения нормальных свойств ВТСП.

В работах [1-3] было показано, что основное состояние полуметалла (полупроводника) при определенных условиях становится неустойчивым относительно электрон-дырочного (экситонного) спаривания. При этом неустойчивость в модели полупроводника является следствием неустойчивости относительно бозеконденсации слабо - неидеального газа экситонов [1, 5]. Переход в состояние экситонного диэлектрика возникает при выполнении условия $E_g < E_c$, где E_g - ширина запрещенной зоны полупроводника, E_c - энергия связи экситона с учетом диэлектрической проницаемости среды.

Как показано в §1 – §6, используя метод локального и биллокального расщепления, предложенный в работе [2*], оказывается возможным проинтегрировать по электронным полям, меняющимся на масштабах,

меньших по сравнению со средним расстоянием между электронами легирования. Вводя коллективные переменные, описывающие движение экситона как целого и медленно меняющиеся на экситонных масштабах, можно построить функционал эффективного действия, описывающий электронную подсистему, взаимодействующую с экситонной подсистемой. Как было показано в работах [5, 6], учет межэкситонного взаимодействия должен производиться с учетом отклонения статистики экситонов от бозевской, при этом вклад в амплитуду рассеяния экситонов, связанный с наличием принципа Паули для электронов и дырок, обеспечивает устойчивость бозе-газа даже при наличии слабого ван-дер-ваальсова притяжения экситонов на больших расстояниях. В параграфах 4, 5 и 6 главы 1 получены выражения для эффективных амплитуд рассеяния экситонов на экситонах при ненулевом легировании, а также амплитуда рассеяния экситонов на электронах легирования. Показано, что взаимодействие экситонов и электронов имеет характер притяжения как на больших расстояниях (ван-дер-ваальсово притяжение, связанное с взаимодействием типа диполь-заряд), так и на малых расстояниях. Проанализирован случай двумерной и трехмерной системы.

Знание эффективного гидродинамического действия, полученного в работе [2*], позволяет проанализировать возможность возникновения экситонной фазы в полупроводнике, устойчивом относительно образования экситонов в отсутствие легирования. Эта ситуация для двумерной системы рассмотрена во второй главе диссертации [3* – 5*].

Качественно возможность рождения экситонов при условии $E_g > E_c$ может быть объяснена неустойчивостью системы относительно образования трехчастичных связанных состояний или, другими словами, связанных состояний электрона и экситона при выполнении условия $E_g < E_c + J$ (где J – энергия связи экситона с электроном). В этом случае наличие в системе хотя бы одного свободного электрона делает энергетически выгодным рождение экситона из вакуума. Процесс рождения экситонов будет стабилизироваться их отталкиванием. Качественные соображения, приведенные выше, справедливы при условии малости размера экситона по сравнению с радиусом связанного состояния электрона с экситоном, что имеет место при $J \ll E_c$, выполнение этого условия предполагается при выводе основных соотношений второй главы .

Равновесная плотность экситонов n_0 определяется как отличное от

нуля статическое и однородное решение уравнения Гинзбурга-Питаевского, определяющего перевальную траекторию для медленных экситонных полей B [3*].

$$(i\partial_t - \lambda_0 + \frac{\nabla^2}{2M} - \Sigma)B(\mathbf{r}, t) - F|B(\mathbf{r}, t)|^2B(\mathbf{r}, t) = 0 \quad (3)$$

M - масса экситона, Σ - собственно-энергетическая часть, определяемая последовательностью диаграмм лестничного типа в канале электрон-экситонного рассеяния, $\lambda_0 = E_g - E_c[1 - A(p_F a_B)^d]$, при этом в выражении для λ_0 учтено, что при плотностях легирования $p_F a_B \ll 1$ энергия связи экситона линейно убывает с ростом электронной плотности $n_{el} \sim p_F^d$, константа $A \sim 1$, d - размерность системы, p_F - импульс Ферми.

Как известно, в двумерии суммирование лестничных диаграмм приводит к логарифмической особенности в амплитуде рассеяния бозонов F :

$$F = \frac{f}{1 + f \frac{M}{4\pi} \ln[E_c/\mu_{ex}]} \approx \frac{4\pi}{M \ln[E_c/\mu_{ex}]},$$

где μ_{ex} -химический потенциал экситонов при условии существования конденсата, $\mu_{ex} = n_0 F$. Аналогичная особенность имеет место и в канале электрон-экситонного рассеяния. Анализ самосогласованных уравнений [3*, 4*, 5*] показывает, что равновесная плотность экситонов n_0 существует при $\epsilon_F < \epsilon_F^{max} \sim J$ только для $\lambda_0 < J$, при этом максимальное значение плотности экситонов n_0 оказывается порядка $n_0 \sim m^* J \ln\{E_c/J\}$ (m^* приведенная масса электрона и экситона). В этом случае $\mu_{ex} \sim m^* J/M$. Показано также, что при $\epsilon_F \ll J$ система является неустойчивой относительно образования связанных состояний электронов и экситонов и не может быть рассмотрена в виде двух однородных взаимодействующих подсистем.

В параграфах 2 и 3 второй главы проанализировано влияние на характер фазового превращения слагаемых в гамильтониане (2), выходящих за рамки взаимодействия плотность - плотность [7, 8]. Показано, что учет этих слагаемых приводит к возникновению сильной дисперсии диэлектрической проницаемости $\epsilon(\mathbf{k}, \omega)$ на низких частотах как выше, так и ниже точки неустойчивости [1*, 2*]. Механизм сверхпроводимости, связанный с подавлением эффективного Кулоновского взаимодействия на низких частотах, рассмотрен в §4. Эффективная температура сверхпроводящего перехода имеет порядок характерного

$$T_c \sim \omega_0 \sim |E_g - E_c|$$

Отметим, что механизм сверхпроводимости не связан с фононами и имеет чисто электронную природу. Рассмотрен также механизм сверхпроводимости за счет обмена зарядовыми возбуждениями (экситонами) в трехзонной модели аналогичный предложенному в работах [9, 10]. Глава завершается краткими выводами.

В третьей и четвертой главах рассматриваются системы с сильными спиновыми флуктуациями на примере модели Кондо-решетки. Исследуется возможность стабилизации спиновой жидкости нейтральных фермионов как относительно антиферромагнитного упорядочения, так и относительно образования когерентного ”кондо-синглетного” состояния при помощи методов, основанных на применении температурной теории возмущений для описания свойств тяжелофермионных соединений с целочисленной валентностью.

Необычное поведение систем с тяжелыми фермионами связано с трансформацией свойств спинов редкоземельных ионов, входящих в их состав, при переходе от ”высокотемпературной” области $T > T^*$, где они ведут себя, как обычные локализованные моменты, к области низких температур $T < T_{coh} \ll T^*$, где вся термодинамика определяется фермиевскими ветвями возбуждений. Поскольку число спиновых степеней свободы (~ 2 на элементарную ячейку) значительно превышает число зарядовых степеней свободы, вовлеченных в формирование тяжелых фермионов ($2T^*/\varepsilon_F$ на элементарную ячейку), естественно считать, что источником аномально высокой плотности фермионных возбуждений при $T < T^*$ являются именно спиновые степени свободы.

В отличие от традиционной точки зрения, (см., напр., [11]) предполагающей связывание электронов проводимости с f-спинами в состоянии ”кондо-синглетов” , в работах [12, 13] был рассмотрен сценарий двухкомпонентной ферми-жидкости, с нейтральной спиновой и заряженной электронной составляющими. Микроскопическое обоснование этого сценария составляет содержание третьей и четвертой глав диссертации.

Тяжелофермионные соединения с целочисленной валентностью описываются эффективным sf-обменным гамильтонианом

$$H_{eff} = \sum_{\mathbf{k}\sigma} \varepsilon_{\mathbf{k}} c_{\mathbf{k}\sigma}^{\dagger} c_{\mathbf{k}\sigma} + J_{sf} \sum_{\mathbf{i}} \mathbf{s}_{\mathbf{i}} \mathbf{S}_{\mathbf{i}} . \quad (4)$$

Здесь ε_k энергетические уровни электронов проводимости в зоне, ширина которой характеризуется энергией Ферми ε_F , \mathbf{S}_i и $\mathbf{s}_i = \frac{1}{2}c_\alpha^+ \hat{\sigma}_{\alpha\beta} c_\beta$ - операторы локализованных f-спинов и спинов электронов проводимости, соответственно, $\hat{\sigma}$ - матрица Паули. Для спиновых операторов используется стандартное представление псевдофермионов Абрикосова $\mathbf{S}_i = \frac{1}{2}f_{i\alpha}^+ \hat{\sigma}_{\alpha\beta} f_{i\beta}$. Регулярная теория возмущений для решетки Кондо, описываемой гамильтонианом (4), может быть сформулирована только для высоких температур $T > T_K$. Согласно Доньяху [14], в Кондо-решетках возможна конкуренция антиферромагнитного состояния, реализующегося при малых значениях эффективной константы связи $\alpha = J_{sf}/\varepsilon_F$ и немагнитного состояния "Кондо-синглета", которое должно формироваться при больших α .

В работах [6*, 7*] было показано, что в критической области $\alpha_{c0}^2 \approx \exp(-1/2\alpha_{c0})$ или, иными словами, $T_N \approx T_K$, где $T_{N,K}$ - соответственно температуры Нееля и Кондо, реализуется третья возможность - возникает спиновая жидкость RVB - типа (см.[15, 16]) с характерной энергией $T^* > T_K$. При этом кондо-рассеяние замораживается при $T \sim T^*$, но остается возможность для заметных антиферромагнитных корреляций.

В §3 главы 3 построена диаграммная техника при конечных температурах в координатном представлении, рассмотрено уравнение на "аномальную" функцию Грина псевдофермионов, отвечающую корреляциям RVB типа [15]. Показано, что пренебрежение эффектами запаздывания в эффективном взаимодействии Рудермана-Киттеля-Касуйи-Иосиды (РККИ) локализованных f-спинов позволяет свести уравнение на собственно-энергетическую часть псевдофермионов к среднеполевому уравнению на параметр порядка RVB для гамильтониана Гайзенберга.

В §1, §2 Четвертой главы доказана применимость приближения непересекающихся диаграмм, в котором кондо-рассеяние на каждом узле может рассматриваться независимо, а само рассеяние учитывается в логарифмическом приближении, для вычисления перенормировок вершины взаимодействия псевдофермионов с электронами проводимости и спиновой восприимчивости. Проанализированы модифицированные с учетом перенормировок уравнения среднего поля для антиферромагнитного $\langle S_z(T_N) \rangle$ и RVB $\Delta_{RVB}(T^*)$ параметров порядка.

$$\langle S_z(T_N) \rangle = \frac{1}{2}K(T_N) \tanh \frac{B_N(T_N)}{2T_N}. \quad (5)$$

Самосогласованное уравнение для температуры перехода в антиферромагнитное состояние отличается от обычного уравнения для параметра порядка наличием экранирующей поправки $K(T)$.

$$\Delta_{RVB}(T^*) = (zN)^{-1} \sum_{\mathbf{k}} u^{(1)}(\mathbf{k}) \tanh \frac{B_{RVB}(T^*)}{2T^*} \quad (6)$$

Здесь $B_N \sim \lambda_1 \langle S_z \rangle$, $B_{RVB} \sim \lambda_2 \Delta_{RVB}$ - молекулярные поля для антиферромагнитного и RVB параметров порядка с учетом факторов (λ_1 , λ_2), определяемых геометрией решетки, $u^{(1)}(\mathbf{k})$ - структурный фактор, отвечающий взаимодействию только ближайших соседей (z). Температуры перехода в соответствующую фазу определяются как температуры, при которых появляется нетривиальное решение соответствующего уравнения.

В результате анализа уравнений (5,6) было показано, что логарифмическое усиление обмена вследствие кондо-рассеяния благоприятствует возникновению обеих фаз, но экранирование спина за счет кондо-рассеяния влияет только на T_N , ослабляя тенденцию к антиферромагнитному спариванию.

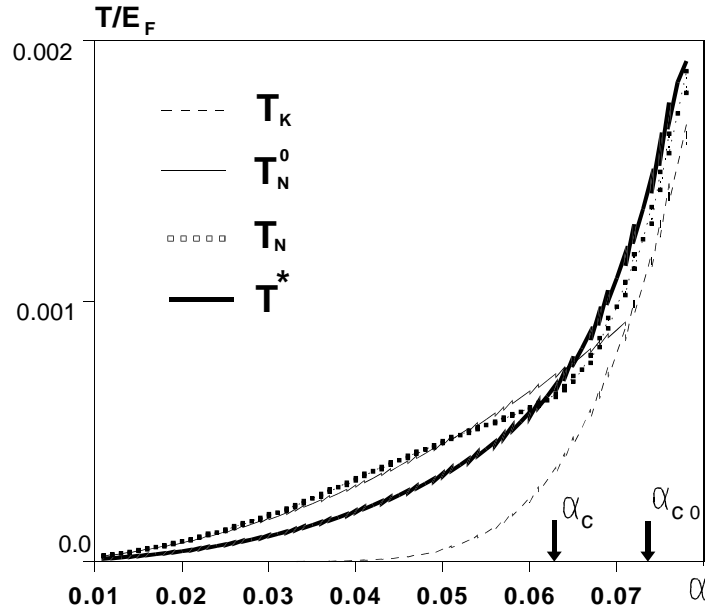


Рис.1. Модифицированная диаграмма Доньяха для конкурирующих фаз Нееля и RVB при значениях параметров $z = 6$, $\lambda_1/\lambda_2 = 2.1$, $p_F R = 2.88$. Точкам α_{c0} и α_c отвечают критические точки, в которых на традиционной и модифицированной диаграмме Доньяха исчезает антиферромагнитное решение.

В результате фазовая диаграмма Доньяха (T_N^0, T_K vs α) [14] сильно

модифицируется в критической области $\alpha \sim \alpha_c$ и превращается в диаграмму $(T_N, T^* \text{ vs } \alpha)$ с обширной областью существования RVB-фазы [6*] (рис.1.). Вид этой диаграммы зависит от геометрии решетки, формы ферми-поверхности и других факторов. Были рассчитаны температуры перехода для сферической и цилиндрической ферми-поверхности с функциями РККИ вида $\Phi(x) \approx \pi x^{-3} \cos 2x$ и $\Phi(x) \approx -2x^{-2} \sin 2x$ ($x = p_F R \gg 1$ - безразмерный параметр задачи), соответственно, и найдено, что область существования RVB-фазы шире в последнем случае, который близок к реальной ситуации в тяжелофермионном соединении CeRu_2Si_2 [7*].

Отметим, что механизм стабилизации спиновой жидкости, предложенный в работах [6*, 7*] существенно отличается от ранее рассматриваемых механизмов (см., например, [11]).

В Заключении сформулированы основные результаты и выводы. В Приложении I приведены результаты вычисления мацубаровских сумм и интегралов, возникающих при выводе эффективного действия в двухзонной модели легированного полупроводника. В Приложении II приведены результаты вычисления поправок к собственно-энергетической части спин-фермионов за счет эффектов запаздывания во взаимодействии. Вычисленные интегралы позволяют проанализировать модифицированные уравнения среднего поля.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

В этом разделе кратко сформулируем основные результаты, полученные в диссертации.

1. Построена теория, описывающая экситонный переход в легированном узкощелевом полупроводнике. Предсказана возможность возникновения экситонной фазы при ненулевом легировании за счет взаимодействия экситонов с электронами. Найдены условия существования экситонного конденсата в двух- и в трехмерных системах.

2. Из первых принципов вычислена амплитуда рассеяния экситонов на электронах в пределе малой плотности экситонов. Построен функционал эффективного действия, описывающий электронную жидкость, взаимодействующую с экситонной подсистемой для двухзонной и трехзонной моделей.

3. Вычислена диэлектрическая проницаемость $\varepsilon(\mathbf{k}, \omega)$ среды в условиях близости к экситонному переходу. Рассмотрен нефонный механизм сверхпроводимости, связанный с возникновением электрон - элек-

тронного притяжения при наличии сильной поляризуемости среды. Проанализированы факторы, способствующие увеличению температуры сверхпроводящего перехода. Рассмотрена возможность сверхпроводимости за счет обмена зарядовыми возбуждениями (экситонами). Исследовано поведение сильно-неидеальной ферми-жидкости электронов проводимости при наличии сильных зарядовых флуктуаций.

4. Предложен механизм стабилизации спиновой жидкости нейтральных фермионов в Кондо-решетках. Показано, что одноузельное Кондо-рассеяние электронов проводимости при температурах выше температуры Кондо не только подавляет антиферромагнитный порядок, но и способствует возникновению состояний типа Резонирующих Валентных Связей. При этом нейтральная спиновая жидкость возникает в условиях близости к антиферромагнитной неустойчивости.

5. Построена теория взаимодействия электронов проводимости со спинами редкоземельных металлов в условиях близости температуры магнитного упорядочения спинов (температуры Нееля) и температуры Кондо. Получены среднеполевые уравнения с учетом Кондо-перенормировок эффективного взаимодействия и спиновой восприимчивости.

Сравнение теории и эксперимента показало, что многочисленные экспериментальные данные для тяжелофермионных систем на основе Се могут быть объяснены единым образом в рамках теории двухкомпонентной ферми-жидкости с нейтральной и зарядовой составляющими.

Основное содержание диссертации опубликовано в 7 печатных работах [1* – 7*]

- 1.* В.С.Бабиченко, М.Н.Киселев. Экситонная неустойчивость и сверхпроводимость. Препринт ИАЭ-5490/9, 1992.
- 2.* V.S.Babichenko, M.N.Kiselev. Superconductivity in systems with excitonic instability. J.Mos.Phys.Soc.**2**, 311-332, 1992.
- 3.* В.С.Бабиченко, М.Н.Киселев., Экситонный переход, индуцированный легированием. Письма ЖЭТФ **57**, 174-178, 1993.
- 4.* V.S.Babichenko, M.N.Kiselev. On the Excitonic Mechanism of Superconductivity. Physica **C 209**, 133-136, 1993.
- 5.* M.N.Kiselev. Excitonic Instability and Origin of the Mid-Gap States. Physica **C 235-240**, 2325-2326, 1994.

- 6.* К.А.Кикоин, М.Н.Киселев, А.С.Мищенко. О механизме стабилизации спиновой жидкости в Кондо-решетках. Письма ЖЭТФ **60**, 583-588, 1994.
- 7.* К.А.Kikoin, M.N.Kiselev, A.S.Mishchenko. On the Spin Origin of Heavy Fermions in Rare-Earth Intermetallides. Physica **B 206-207**,129-131, 1995.

Цитируемая литература

1. Л.В.Келдыш, Ю.В.Копаев. Возможная неустойчивость полуметаллического состояния относительно кулоновского взаимодействия. ФТТ **6**, 2791-2798, 1964.
2. А.Н.Козлов, Л.А.Максимов. О фазовом переходе металл - диэлектрик. Двухвалентный кристалл. ЖЭТФ **48**, 1184-1193, 1965.
3. D.Jerome, T.M.Rice, W.Kohn. Excitonic Insulator. Phys.Rev.**158**, 462-475, 1967.
4. B.I.Halperin, T.M.Rice. The Excitonic State at the Semiconductor - Semimetal transition. Sol.St.Phys.**21**, 115-192, 1968.
5. Л.В.Келдыш, А.Н.Козлов. Коллективные свойства экситонов в полупроводниках. ЖЭТФ **54**, 978-993, 1968.
6. Л.В.Келдыш. Когерентные состояния экситонов. В сб. Проблемы теоретической физики., 433-444, М: Наука, 1972.
7. Р.Р.Гусейнов, Л.В.Келдыш. О характере фазового перехода в условиях "экситонной" неустойчивости электронного спектра кристалла. ЖЭТФ **63**, 2255-2263, 1972.
8. А.В.Ключник, Ю.Е.Лозовик. Влияние межзонных переходов на токовые состояния в системах со спариванием электронов и дырок. ЖЭТФ, **76**, 670-686, 1979.
9. K.V.Efetov. Electron-hole pairing and anomalous properties of layered high- T_c compounds. Phys.Rev. **B43**, 5538-5553, 1991.
10. C.M.Varma, S.Schmitt - Rink, E.Abrahams. Charge transfer excitations and superconductivity in "ionic" metals. Sol.St.Comm. **62**, 681-685, 1987.
11. P.Coleman, N.Andrei. Kondo - stabilised spin liquid and heavy fermion superconductivity. J.Phys.:Cond.Mat. **1**, 4057-4080, 1989.
12. Yu.Kagan, K.A.Kikoin and N.V.Prokof'ev. Heavy fermions in the Kondo lattice as neutral quasiparticles, Physica **B 182**, 201-208, 1992.

13. Ю.Каган, К.А.Кикоин, Н.В.Прокофьев. Перенормировка эффективной массы и эффект де Гааза-ван Альфена в системах с тяжелыми фермионами. Письма ЖЭТФ **56**, 221-226, 1992.
14. S.Doniach. The Kondo Lattice and weak antiferromagnetism. Physica **B 91**, 231-234, 1977.
15. P.W.Anderson. Resonating valence bonds: a new kind of insulator? Mat.Res.Bull. **8**, 153-160, 1973.
16. P.A.Lee and N.Nagaosa. Gauge theory of the normal state of high- T_c superconductors. Phys.Rev. **B46**, 5621-5639, 1992.