

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ МОНОКРИСТАЛЛОВ

На правах рукописи

ДЕМИН АЛЕКСАНДР ВАДИМОВИЧ

**НЕЛИНЕЙНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ И МАГНИТНЫЕ
СВОЙСТВА СВЕРХПРОВОДЯЩИХ
ГЕТЕРОКОНТАКТОВ И ДЖОЗЕФСОНОВСКИХ
СИСТЕМ**

Специальность 01.04.07

Физика твердого тела

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Харьков — 1992

ЖВ 26.359

Работа выполнена в Институте монокристаллов АН Украины,
г. Харьков

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук
В.А. Хлус

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
А.Н. Омелянчук
доктор физико-математических наук
В.А. Шкловский

Ведущая организация: Физико-технический институт
г. Донецк

Защита состоится " 27 " января 1993 года в 15⁰⁰
часов на заседании Специализированного совета К 138.01.01 в Инсти-
туте монокристаллов.

Адрес: 310001, г. Харьков-001, пр. Ленина 60.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Института монокристаллов АН Украины.

Автореферат разослан " 26 " декабря 1992 года.

Ученый секретарь
Специализированного совета
К 138.01.01
кандидат технических наук



ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00825930 (R)

Хлус

Л.В. Атрощенко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

В настоящее время проявляется неослабевающий интерес к исследованию физических свойств новых классов сверхпроводящих материалов, в частности высокотемпературных сверхпроводящих оксидных соединений (ВТСП). Этим материалам присуща структурная неоднородность, обусловленная как сильной анизотропией кристаллической решетки и наличием различного типа дефектов, так и макроскопическими неоднородностями — границами зерен или кристаллитов, порами, трещинами, а также включениями несверхпроводящих фаз, которые возникают в процессе получения керамики или поликристаллического материала из расплава. Малая длина когерентности в ВТСП приводит к сильному локальному подавлению параметра порядка на внутригранульных дефектах.

Указанные особенности новых классов сверхпроводящих соединений стимулировали развитие туннельных и микроконтактных методов исследования квазичастичных возбуждений в этих материалах. В экспериментах с образцами малых размеров или сильной структурной неоднородностью не всегда удается создать качественный туннельный контакт, что повышает интерес к исследованию проводимости микроконтактов (точечных контактов) между исследуемым сверхпроводником и нормальным металлическим электродом. Если теория микроконтактной спектроскопии нормальных металлов к настоящему времени достаточно подробно исследована теоретически и хорошо согласуется с экспериментальными данными, то в случае микроконтактов, один или оба контактирующих материала которых являются сверхпроводниками, теоретический расчет нелинейностей ВАХ и количественное сопоставление с экспериментами при напряжениях смещения, соответствующих характерным энергиям генерируемых при неупругих столкновениях фононов, все еще представляет сложную задачу.

Уже на раннем этапе исследования высокотемпературных сверхпроводников было сделано заключение [1] о существовании джозефсоновского взаимодействия между сверхпроводящими областями, слабые контакты между которыми обусловлены отмеченными выше дефектами ВТСП. В реальных неоднородных сверхпроводниках, в особенности в ВТСП материалах, может реализоваться многоконтактная слабосвязанная структура, существование которой определяет транспортные и магнитные характеристики. В настоящее время теоретически недостаточно изучены нелинейные магнитные свойства гранулярных сверхпроводников в области слабых магнитных полей. К таким свойствам относятся: необратимая полевая зависимость намагниченности, зависимость магнитной восприимчивости в переменном внешнем поле от его амплитуды, сильное изменение микроволнового поглощения при вариации постоянного магнитного поля, низкочастотный шум магнитного потока и ряд других явлений.

Целью диссертации является

- исследование нелинейной проводимости микроконтактов сверхпроводник - нормальный металл в диффузионном режиме;
- изучение нелинейной магнитной восприимчивости в переменном магнитном поле в модели гранулярной джозефсоновской среды;
- изучение флуктуационных переходов между токовыми состояниями N -контактной замкнутой цепочки сверхпроводящих гранул и вычисление мнимой части магнитной восприимчивости как функции температуры, амплитуды и частоты внешнего магнитного поля;
- исследование шума магнитного потока в гранулярных сверхпроводниках в модели ансамбля N -контактных слабосвязанных петель со статистическим распределением параметров.

Научная новизна работы определяется следующими полученными в ней впервые результатами:

- вычислена нелинейная ВАХ S - c - N микроконтакта в диффузном режиме, обусловленная процессами генерации фононов неравновесными возбуждениями и влиянием зависящей от энергии вещественной части собственно - энергетического оператора ЭФВ;
- вычислена мнимая часть магнитной восприимчивости в переменном поле для многоконтактной джозефсоновской системы, связанная с термоактивационными переходами между локально устойчивыми токовыми состояниями;
- получена зависимость спектральной плотности шума магнитного потока от частоты и температуры для системы, состоящей из замкнутых гранулярных кластеров со слабыми связями, показана существенная роли двухуровневых конфигураций потенциала в возникновении шума типа $1/f$.

Достоверность полученных в диссертации результатов определяется использованием строгих микроскопических уравнений сверхпроводимости (гл. 1) и феноменологических моделей, успешно использованных в работах других авторов (гл. 2,3); согласием полученных результатов с имеющимися экспериментальными данными.

Практическая ценность. Полученные в работе результаты имеют непосредственную связь с экспериментом. Зависимость ВАХ S - c - N контактов от функции ЭФВ позволяет на основании микроконтактных измерений судить об особенностях энергетической зависимости фононной плотности состояний в исследуемых сверхпроводниках. Результаты исследования магнитной восприимчивости могут быть использованы при интерпретации магнитных измерений ВТСП материалов и других неоднородных сверхпроводников, а также искусственно созданных многоконтактных структур. Изучение шумов магнитного потока имеет практическое значение для оценки предельной чувстви-

тельности различных устройств микроэлектроники, использующих гранулярные, в частности ВТСП материалы. Особенно важное значение эти результаты могут иметь при анализе шумовых характеристик ВТСП квантовых интерферометров (сквидов).

Публикации. Материалы диссертации опубликованы в 10 работах.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях: XXXVI Всесоюзное совещание по физике низких температур – Донецк – 1990; 4-th Annual Conference on Superconductivity and its Applications – Buffalo (USA) – 1990; Международная конференция по ВТСП и локализационным явлениям – Москва – 1991; Materials and Mechanisms of Superconductivity — High Temperature Superconductors III – Kanazawa (Japan) – 1991; 1-ая Международная конференция по микроконтактной спектроскопии – Харьков – 1991; 6-ая научная конференция "Флуктуационные явления в физических системах" – Паланга – 1991; Международный симпозиум по ВТСП и туннельным явлениям – Донецк – 1992;

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 100 наименований. Полный объем работы, включая 20 рисунков, составляет 124 страницы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность изучаемых вопросов, сформулирована цель работы, научная новизна и практическая ценность работы. Дан краткий обзор содержания по главам.

Первая глава посвящена изучению проводимости микроконтакта сверхпроводник - нормальный металл в диффузионном режиме. Для описания контакта выбирается модель, в которой два массивных электрода, нормальный и сверхпроводящий, соединены тонкой перемычкой (мостиком) длины d с поперечным размером a . В грязном пределе перемычка и прилегающие к ней области берегов содержат большое

количество примесей. Считаем выполненным неравенство

$$l_i \ll a \ll d. \quad (1)$$

где l_i —примесная длина свободного пробега электронов.

При рассмотрении сверхпроводящих структур с сильной пространственной неоднородностью наиболее результативным является метод квазиклассических функций Грина. Квазиклассическая функция Грина $\check{G}_p(\varepsilon, \mathbf{R})$, проинтегрированная по электронной энергии ξ_p , удовлетворяет уравнению [2, 3].

$$v_F \frac{\partial \check{G}}{\partial \mathbf{R}} + \left[\frac{1}{2\tau} \langle \check{G} \rangle + i\check{\Sigma} - i\varepsilon\tau_3, \check{G} \right] = 0. \quad (2)$$

К нормальному металлу приложено напряжение V , потенциал сверхпроводника выбираем равным нулю. Скалярный потенциал в мостике, не зависящий от времени, в уравнение (2) не входит, векторным потенциалом магнитного поля, создаваемого при протекании тока, можно пренебречь.

Условие (1) позволяет рассматривать одномерную задачу, в которой все величины зависят только от координаты x вдоль мостика, $0 \leq x \leq d$. При диффузионном движении электронов можно представить \check{G} в виде суммы изотропной \check{G}_0 и анизотропной \check{G}_a частей

$$\check{G}_p(\varepsilon, x) = \check{G}_0(\varepsilon, x) + \cos \vartheta_p \check{G}_a(\varepsilon, x), \quad (3)$$

ограничиваясь первыми двумя членами разложения по полиномам Лежандра от $\cos \vartheta_p$ (ϑ_p — угол между направлением импульса электрона и осью контакта). В операторе $\check{\Sigma}$ также выделим изотропную и анизотропную составляющие, $\check{\Sigma}_0$ и $\check{\Sigma}_a$, последняя нечетна при замене $\mathbf{p} \rightarrow -\mathbf{p}$.

В рассматриваемом грязном пределе анизотропные слагаемые содержат малый параметр l_i/d , что позволяет выделить в уравнении (2) изотропную и анизотропную части и свести его к системе уравнений:

$$\partial \check{G}_0 / \partial x + \frac{1}{l_i} \check{G}_0(x) \check{G}_a(x) = 0, \quad (4)$$

$$\partial \check{G}_a / \partial x = \frac{3i}{v_F} [\varepsilon \tau_3 - \check{\Sigma}_0, \check{G}_0]. \quad (5)$$

Граничные условия на \check{G} в выбранной модели совпадают с условиями, введенными ранее при рассмотрении эффекта Джозефсона [4]. Вследствие растекания тока в массивных берегах, на расстояниях, значительно превышающих размер мостика a , величина \check{G}_a быстро убывает. При выполнении неравенств (1) и

$$d \ll (l_i \xi)^{1/2} \quad (6)$$

изотропную часть функции Грина на концах мостика можно положить равной предельным значениям в глубине нормального металла или сверхпроводника, где плотность тока равна нулю. В результате для \check{G}_0 возникают следующие граничные условия

$$\check{G}_0(\varepsilon, 0) = \check{G}_N(\varepsilon), \quad \check{G}_0(\varepsilon, d) = \check{g}(\varepsilon). \quad (7)$$

Здесь \check{G}_N — квазиклассическая гриновская функция нормального металла с учетом приложенного потенциала V , $\check{g}(\varepsilon)$ — функция Грина сверхпроводника.

В нашей одномерной модели из (4) следует выражение $\check{G}_0(x)$ через $\check{G}_a(x)$ следующего вида:

$$\check{G}_0(x) = T_x \exp \left(\frac{1}{l_i} \int_0^x \check{G}_a(x) dx \right) \check{G}_N \quad (8)$$

Операторное упорядочение по переменной x необходимо, поскольку матрицы $\check{G}_a(x)$ при различных аргументах в общем случае не коммутируют. Кроме того, учтено граничное условие при $x = 0$.

Ранее [5] на основании неравенства (6) в уравнении (5) сохранялся только градиентный член. При этом \check{G}_a сводится к константе, которую

обозначим \check{G}_1 . Тогда T_x -экспонента в (8) превращается в обычную и из граничного условия при $x = d$ \check{G}_1 определяется однозначно. Решение системы уравнений (4), (5) в нулевом приближении имеет вид

$$\check{G}_0(x) = \exp\left(\frac{x}{l_i} \check{G}_1\right) \check{G}_N, \quad (9)$$

$$\check{G}_a(x) = \check{G}_1 = \frac{l_i}{d} \ln(\check{g} \check{G}_N). \quad (10)$$

Для обобщения этого приближения представим $\check{G}_a(x)$ в виде

$$\check{G}_a(x) = \check{G}_1 + \check{g}_a(x). \quad (11)$$

Из условия непрерывности $dj/dx = 0$, которое согласуется с (5), следует, что добавка к току определяется только постоянной составляющей $\check{g}_a(x)$. Из системы (4), (5), используя граничные условия (7), находим, что усредненная по длине мостика величина

$$\check{g}_a = \frac{1}{d} \int_0^d \check{g}_a(x) dx \quad (12)$$

удовлетворяет уравнению

$$\int_0^x dx \check{G}_0(x) [\check{g}_a + \check{K}(x) - \overline{\check{K}(x)}] \check{G}_0(x) = 0, \quad (13)$$

в котором

$$\check{K}(x) = \frac{3i}{v_F} \int_0^x dx [\varepsilon \tau_3 - \check{\Sigma}_0, \check{G}_0], \quad (14)$$

а черта означает пространственное усреднение по длине мостика. Здесь оператор $\check{G}_0(x)$ — изотропная часть гриновской функции нулевого приближения (9). Можно полагать, что (13) справедливо и для отличающейся от выбранной нами геометрии контакта, если интегрирование по x заменить пространственным усреднением по области контакта.

Соотношение (13) — основное уравнение, из которого мы найдем \hat{g}_a и затем вычислим добавку к току по формуле

$$I(V) = -\frac{d}{8eRD} \int d\varepsilon Sp [\hat{r}_3 (\hat{g}_a(\varepsilon) v_{Fz} \cos \vartheta_p)] \quad (15)$$

где R — нормальное сопротивление контакта, D — коэффициент диффузии электронов.

В пределе $V \gg \Delta$, получим проводимость в виде двух слагаемых:

$$\sigma_1(V) = \frac{d^2 \Delta}{RD} \int_0^\infty d\omega G(\omega) \int \frac{d\varepsilon_1}{4T} \text{ch}^{-2} \left(\frac{\varepsilon_1 - V}{2T} \right) \times \\ \times \int_0^\infty d\varepsilon f_1(\varepsilon/\Delta) \left[\frac{1}{(\varepsilon_1 - \omega)^2 - \varepsilon^2} - \frac{1}{(\varepsilon_1 + \omega)^2 - \varepsilon^2} \right], \quad (16)$$

$$\sigma_2(V) = \frac{d^2}{RD} \int_0^\infty d\omega G(\omega) \int \frac{d\varepsilon}{4T} \text{ch}^{-2} \left(\frac{\varepsilon - V + \omega}{2T} \right) \times \\ \times \theta(|\varepsilon| - \Delta) \text{th}(\varepsilon/2T) f_2(\varepsilon/\Delta). \quad (17)$$

Функции $f_{1,2}$ существенно отличны от нуля при значениях ε близких к Δ . Первое соответствует вкладу вещественной части фоновой функции Грина в операторы $\hat{\Sigma}_0^{R,A}$. В теории БКШ эти величины сводятся к независящему от энергии параметру порядка Δ . Второе слагаемое описывает реальные электрон - фононные процессы. Численные расчеты зависимости нелинейной составляющей проводимости $\sigma(V) = \sigma_1(V) + \sigma_2(V)$ от напряжения при заданной $G(\omega)$ показывают, что амплитуда этих особенностей тем больше, чем уже пик $G(\omega)$ и максимумам функции ЭФВ соответствуют минимумы проводимости.

В первой главе также исследованы нелинейности проводимости туннельного типа, связанные с энергетической зависимостью комплексной щелевой функции $\Delta(\varepsilon)$ в сверхпроводящем электроде, влияние ван-хововских особенностей фоновой плотности состояний на вторую производную ВАХ грязного S - c - N контакта, а также перенормировка проводимости такого контакта при нулевом смещении, связанная с влиянием ЭФВ в области сужения.

Во второй главе рассмотрена нелинейная намагниченность гранулярных джозефсоновских сред на примере простой модельной системы, представляющей собой многоконтактную замкнутую петлю с джозефсоновскими связями. Как известно [6], наличие набора различных стационарных токовых состояний в данной системе, существование которых вытекает из условия квантования флюксоида, приводит к возникновению метастабильности при изменении внешнего магнитного поля. В результате конечности времени жизни метастабильного состояния возникает различие между магнитными свойствами системы в постоянном и переменном магнитном поле [6]. Ниже для указанной модели вычисляется термодинамически равновесная намагниченность как функция внешнего поля, которая оказывается периодической функцией приложенного магнитного потока с периодом равным кванту потока $\Phi_0 = hc/2e$. В экспериментах по измерению намагниченности или магнитной восприимчивости полученная зависимость реализуется лишь при условии, что время измерения или период изменения внешнего поля велики по сравнению с временами термоактивных переходов через энергетические барьеры, разделяющие локально устойчивые токовые состояния. Активационные времена переходов быстро возрастают при понижении температуры, поэтому эффекты метастабильности, приводящие к гистерезисным зависимостям магнитного момента от приложенного поля, проявляются уже при достаточно низкой частоте изменения последнего. Дальнейшая часть главы 2 диссертации содержит вычисление комплексной магнитной восприимчивости в рамках рассматриваемой модели. Появление мнимой диссипативной компоненты χ'' восприимчивости связано с необратимостью изменения намагниченности. При вычислении зависимости восприимчивости от амплитуды внешнего поля феноменологически задается ширина гистерезисной петли по внешнему потоку. На самом деле эта величина определяется соотношением между скоростью рас-

пада метастабильного состояния и частотой изменения приложенного магнитного поля. Тем не менее, данный упрощенный подход позволяет определить поведение магнитной восприимчивости в широком интервале амплитуд внешнего поля.

В третьей главе изучена динамика флуктуационных переходов между различными токовыми состояниями гранулярных кластеров, образующих замкнутые слабосвязанные петли. Ранее для описания нелинейных магнитных свойств ВТСП-материалов в переменном поле предлагались различные модели, включающие сверхпроводящие петли со слабыми связями [8,9 и др.], однако нигде не был рассмотрен флуктуационный механизм переходов между стационарными токовыми состояниями петли. Диссипативная составляющая магнитной восприимчивости возникала в таких моделях только при условии достижения сверхпроводящим током петли критического значения, когда стационарное состояние теряет устойчивость.

Проведенный анализ показывает, что флуктуационный переход можно описать как проскальзывание фазы в одной из слабых связей замкнутой цепочки, в результате чего полный набег фазы сверхпроводящего параметра порядка по замкнутому контуру, проходящему внутри гранул и пересекающему слабые контакты, изменяется на $\pm 2\pi$, т.е. квантовое число n в условии квантования флюксоида изменяется на ± 1 . Физическая картина аналогична той, что имеет место в одиночном джозефсоновском контакте, включенном в цепь с внешним источником тока. В этом случае термически активированные скачки фазы приводят к отличной от нуля средней скорости $\dot{\phi}$ дрейфа, т.е. к появлению ненулевого среднего напряжения на контакте при токе смещения меньшем критического значения I_c . В замкнутой цепочке контактов переход между двумя локальными минимумами потенциальной энергии системы происходит через точку в конфигурационном пространстве, которая является седловой точкой потенциала. Данная

седловая конфигурация отвечает локальному увеличению разности фаз на одной из слабых связей по сравнению с остальными связями. В этом смысле ситуация схожа с солитонным решением Лангера-Амбегаокара [7], которое также является седловой точкой в функциональном пространстве решений одномерного уравнения Гинзбурга-Ландау с периодическими граничными условиями. Однако, в отличие от последнего случая, где локальное увеличение градиента сверхпроводящей фазы сопровождается подавлением модуля параметра порядка, в рассматриваемой нами задаче о цепочке контактов модуль параметра порядка внутри гранул остается постоянным. На основании анализа энергий локально устойчивых состояний и седловых точек потенциала вычисляются вероятности термоактивационных переходов. Приведены аргументы, на основании которых в области достаточно малых амплитуд внешнего поля можно упростить систему уравнений для вероятностей заполнения различных токовых состояний. В результате можно найти общее выражение для мнимой части магнитной восприимчивости χ'' , которое включает усреднение по флуктуационным переходам между данными состояниями. Фактически данное выражение есть вклад гистерезисных петель в диссипативную часть восприимчивости с учетом стохастической природы скачков внутреннего магнитного потока (или циркулирующего сверхпроводящего тока) в слабосвязанном контуре. Полученное таким образом выражение для χ'' используется для численных расчетов зависимостей этой величины от температуры, амплитуды и частоты приложенного переменного магнитного поля. Характерные графики $\chi''(T)$ показаны на рис. 1.

Помимо изучения роли термических флуктуаций в определении диссипативной компоненты магнитной восприимчивости в третьей главе диссертации исследуются флуктуации магнитного потока в модельной гранулярной джозефсоновской системе, представляющей собой ансамбль многоконтактных слабосвязанных петель.

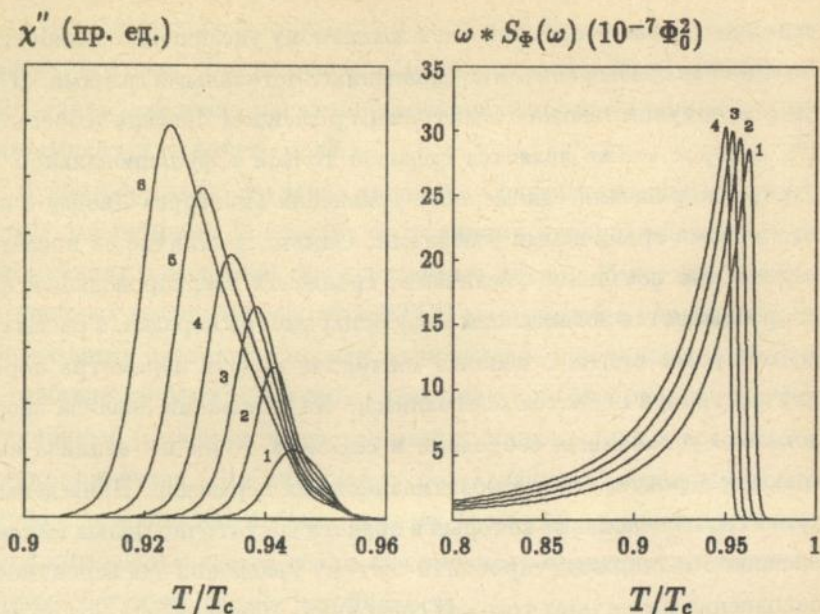


Рис. 1. Зависимость $\chi''(T)$ при различных амплитудах переменного магнитного поля: $H_1 S / \Phi_0 = 0.6 - 1; 0.7 - 2; 0.8 - 3; 0.9 - 4; 1.0 - 5; 1.1 - 6$. Температурная зависимость $l = 2\pi L I_c(T) / \Phi_0$ выбирается в виде $l(T) = l_1(1 - T/T_c)^2$, $l_1 = 100$. Значения остальных параметров равны: $E_L/T_c = 30$; $\omega/\omega_0 = 10^{-6}$, где $\omega_0 \sim R/L$, R - нормальное сопротивление контакта, L - индуктивность петли, $E_L = \Phi_0^2/4\pi^2 L$.

Рис. 2. Зависимости спектральной плотности шума магнитного потока от температуры при различных частотах: $\omega(\text{Hz}) = 10^5 - 1; 10^3 - 2; 10^1 - 3; 10^{-1} - 4$. По оси ординат отложены $\omega * S(\omega)$, так что близко расположенным кривым соответствует область $1/f$ -шума. Максимальное значение параметра $l_1 = 100$, $E_L/T_c = 30$, $\omega_0 = 10^{11}$.

Структурная неоднородность системы приводит к вариациям величины внешнего магнитного потока, приложенного к данной петле. Следует также учитывать разброс значений критических токов, т.е. энергий слабой связи контактов. Вид потенциальной энергии и количество возможных устойчивых токовых состояний для данной петли определяется величиной внешнего потока, а также критическими токами джозефсоновских связей и индуктивностью петли. При малых критических токах, когда индуцированный протекающим в петле сверхпроводящим током магнитный поток значительно меньше Φ_0 , для петель с малым числом контактов возможна ситуация, при которой система имеет лишь два стабильных состояния, причем при величине внешнего потока равном полуцелому числу квантов потока они вырождены по энергии. Разброс значений токов контактов в одной петле также приводит к уменьшению числа возможных состояний: фактически существенными остаются лишь наиболее слабые контакты петли с примерно совпадающими по величине критическими токами. Таким образом, в ансамбле джозефсоновских петель со статистическим разбросом параметров при температурах близких к критической температуре T_c гранул, когда малы критические токи джозефсоновских слабых связей, наиболее вероятными являются двухуровневые конфигурации потенциальной энергии, реализующиеся в тех петлях, поток через которые близок к полуцелому числу квантов Φ_0 . Именно такие близкие к вырождению по энергии двухуровневые системы (ДУС) дают наиболее существенный вклад в флуктуации магнитного потока. В отдельной петле эти флуктуации представляют собой телеграфный случайный процесс в бистабильной системе, при котором происходят скачки магнитного потока и сверхтока. Спектральная функция такого процесса является лоренцевской с характерным временем, определяемым вероятностью термоактивационного преодоления энергетического барьера, разделяющего два состояния. При рассмотрении ансамбля таких

ДУС с распределением значений энергии активации мы имеем дело с системой источников шума с лоренцевским спектром и экспоненциально широким распределением характерных времен, при усреднении по которым возникает спектральная плотность шума, возрастающая с уменьшением частоты обратно пропорционально ей с точностью до более слабого (логарифмического) множителя.

$$S(\omega, T) \sim \frac{\Phi_0^2}{\omega} \ln \left(\frac{2\omega_0}{\omega} \right) \frac{(T/E_L)^3}{(1 - T/T_c)^2}. \quad (18)$$

Ограничение возрастания шумовой спектральной плотности при низких частотах зависит от температуры и определяется наибольшими возможными в системе активационными временами.

Подобный механизм возникновения шума типа $1/f$ [10] характерен для неупорядоченных систем с экспоненциально широким распределением характерных времен, происхождение которых зависит от конкретных физических процессов, генерирующих шум. В работе рассмотрена температурная зависимость спектральной плотности шума. Шум типа $1/f$ растет при приближении температуры к T_c , однако вблизи T_c имеется зависящая от частоты область температур, в которой интенсивность шума резко падает. При этих температурах спектр типа $1/f$ превращается в белый шум, что связано с быстрым увеличением частоты переходов между состояниями ДУС при понижении высоты активационных барьеров при приближении к сверхпроводящему переходу.

Рассмотренная модель также объясняет появление лоренцевского шумового спектра, присущего телеграфному случайному процессу. Наблюдавшиеся ранее [11] случайные телеграфные шумы магнитного потока в тонких пленках и слоистых монокристаллах ВТСП интерпретировались, исходя из предположения о существовании активационных скачков отдельных вихрей между двумя фиксированными центрами пиннинга. В нашем подходе подобные телеграфные сигналы связаны

с отдельной ДУС, которая соответствует единственной оптимальной многоконтактной петле, существующей при данном распределении магнитного поля в образце малого размера.

В заключении суммируются основные результаты, полученные в работе и выносимые на защиту.

На защиту выносятся следующие результаты:

1. Рассчитаны особенности проводимости микроконтакта сверхпроводник - нормальный металл в диффузионном режиме, связанные с электрон - фононным взаимодействием в области сужения. Показано, что максимумам функции ЭФВ соответствуют минимумы проводимости.

2. Исследовано влияние ван-хововских особенностей фононной плотности состояний на вторую производную вольт - амперной характеристики, а также особенности проводимости контакта туннельного типа, связанные с энергетической зависимостью комплексного параметра порядка в сверхпроводящем берегу.

3. Изучены термодинамические свойства N -контактной замкнутой джозефсоновской цепочки и рассчитана ее намагниченность в постоянном внешнем магнитном поле. Вычислены компоненты комплексной магнитной восприимчивости ансамбля замкнутых джозефсоновских петель во внешнем переменном поле в зависимости от его амплитуды.

4. Исследовано влияние термических флуктуаций на переходы между метастабильными энергетическими состояниями замкнутой петли, содержащей N джозефсоновских контактов; рассчитаны температурные, амплитудные и частотные зависимости мнимой части магнитной восприимчивости такой системы.

5. Вычислен шум магнитного потока статистического ансамбля джозефсоновских петель. Спектральная плотность такого шума имеет вид $1/f$, с точностью до логарифмически зависящего от частоты фактора. Температурная зависимость магнитного шума имеет резкий пик вблизи T_c . Положение пика соответствует максимуму мнимой части магнитной восприимчивости.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Демин А.В., Хлус В.А. Электрон - фононное взаимодействие в микроконтактах сверхпроводник - нормальный металл при диффузионном движении электронов. - Препринт ИМК-89-17, - 1989 - 30 с.
2. Демин А.В., Хлус В.А. Исследование электрон-фононного взаимодействия в грязных сверхпроводниках с помощью микроконтактов. // ФТТ. - 1990 - Т. 32, № 12, С. 3494-3501.
3. Демин А.В., Соболев В.Л., Хлус В.А. Нелинейная магнитная восприимчивость гранулярных сверхпроводников с джозефсоновскими контактами. // XXVI Всесоюзное совещание по физике низких температур. Тезисы докладов. Донецк - 1990 - С. 169-170.
4. Khlus V.A., Dyomin A.V. Singularities of phonon spectra of superconductors observed with point contacts: a Theory for dirty $S-N$ contacts. // Journal of superconductivity - 1991 - V. 4, No 1, - P. 49-55.
5. Khlus V.A., Dyomin A.V. AC susceptibility of high- T_c superconductors in a model of a granular Josephson medium. // in "Superconductivity and its Applications" - Buffalo, New York - 1991 - eds. Kao Y.-H., Coppens Ph., & Kwok H.-S. AIP Conference Proceedings, V. 219, P. 241-248.

6. Khlus V.A., Dyomin A.V. Thermal fluctuations in multicontact granular systems and AC magnetic susceptibility. // *Physica C*. - 1991 - V 185-189, P. 2441-2442.
7. Демин А.В., Хлус В.А. Магнитная восприимчивость многосвязных джозефсоновских систем в слабом переменном поле. // *ФНТ*. - 1991 - Т. 17, No 8, - С. 1014-1022.
8. Хлус В.А., Демин А.В. Тепловые флуктуации в джозефсоновских гранулярных системах и магнитная восприимчивость в переменном поле. // *Международная конференция по ВТСП и локализационным явлениям*. - Москва - 1991 - Тезисы докладов. - С. М10.
9. Khlus V.A., Dyomin A.V. Magnetic flux fluctuations and nonlinear magnetic susceptibility of granular superconductors in the superconducting glass model. // in *Fluctuation phenomena in physical systems, Proceeding of the 6th Scientific Conference - 1991 - Palanga*. ed. by V. Palenskis, Vilnius University Press. - P. 126-128.
10. Демин А.В., Хлус В.А. Флуктуационные эффекты в многоконтактных джозефсоновских системах: магнитная восприимчивость в слабом переменном поле и магнитные шумы. // *ФНТ*. - 1992 - Т. 18, No 11, - С. 1203-1211.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Müller K.A., Takashige M., Bednorz J.G. Flux trapping and superconductive glass state in $La_2CuO_4 : Ba$ // *Phys. Rev. Lett.* - 1987 - V. 58, No 11, - P. 1143-1145.
2. Ларкин А.И., Овчинников Ю.Н. Нелинейная проводимость сверхпроводников в смешанном состоянии. // *ЖЭТФ* - 1975 - Т. 68, вып. 5, - С.1915-1927.

3. Ларкин А.И., Овчинников Ю.Н. Нелинейные эффекты при движении вихрей в сверхпроводниках. // ЖЭТФ - 1977 - Т. 73, вып. 1(7), - С. 299-312.
4. Кулик И.О., Омелянчук А.Н. Эффект Джозефсона в сверхпроводящих мостиках: микроскопическая теория. // ФНТ - 1978 - Т. 4, No 4, - С. 296-311.
5. Artemenko S.N., Volkov A.F., Zaitsev A.V. On the excess current in microbridges S - c - S and S - c - N . // Solid state commun. - 1979 - V. 30, No 12, - P. 771-774.
6. Ebner C., Stroud D. Diamagnetic susceptibility of superconducting clusters: spin-glass behavior // Phys. Rev. B. - 1985 - V. 31, No 1. - P. 165-171.
7. Langer J.S., Ambegaokar V. Intrinsic resistive transition in narrow superconducting channels // Phys. Rev. - 1967 - 164, No2, - P.498-510.
8. Jeffries C.D., Lam Q.H., Kim Y. et al. Nonlinear electrodynamic in the granular superconductor $YBa_2Cu_3O_7$: experiments and interpretation // Phys. Rev. B. - 1989 - V. 39, No 16, - P. 11526-11537.
9. Vichery H., Beuneu F., Lejay P. Microwave absorption in a single crystal of $YBaCuO$ at low magnetic field // Physica C. - 1989 - V. 159, No 6, - P. 823-830.
10. Коган Ш.М. Низкочастотный токовый шум со спектром типа $1/f$ в твердых телах. // УФН. - 1985 - Т. 145 вып. 2, - С. 285-328
11. Johnson M., Ferrari M.J., Wellstood F.C. et.al. Random telegraph signals in high-temperature superconductors // Phys. Rev. - 1990 - V. B42, No 16, - P. 10792-10795.

Ответственный за выпуск — доктор физ.-мат. наук

И.М.Витебский

Подписано к печати 4.11.92 г.

Формат 60x84 1/16. Уч.-изд. л. 0, 8.

Тираж 100. Зак. 30. Бесплатно.

Ротапринт Института монокристаллов

Харьков, пр. Ленина, 60.

30-70-97.

469900

AB 26.359

AB 26.359