



«УТВЕРЖДАЮ»

и.о. директора Института радиотехники и  
электроники им. В.А. Котельникова РАН,  
член-корр. РАН С.А. Никитов

«1» сентября 2014 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Рахмонова Илхома Рауфовича «*Особенности фазовой динамики и резонансные свойства системы связанных джозефсоновских переходов*» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – *теоретическая физика*

Диссертационная работа И.Р. Рахмонова посвящена решению актуальной проблемы исследования фазовой динамики и резонансных свойств системы джозефсоновских переходов (ДП) в высокотемпературных сверхпроводниках. Автор задается, прежде всего, вопросами о влиянии диффузионного тока, на фазовую динамику системы джозефсоновских переходов, изучения резонансных свойств системы шунтированной LC элементами и параметрического резонанса в системе длинных ДП. Для решения данных задач, автор провел глубокий и подробный численный анализ.

В сильно анизотропных слоистых высокотемпературных сверхпроводниках сверхпроводящие и диэлектрические слои образуют систему внутренних джозефсоновских переходов, т.е. в этих материалах возникает внутренний эффект Джозефсона. Этот эффект имеет особое значение для определения вольт-амперной характеристики (ВАХ) туннельных структур на основе ВТСП и свойств вихревой решетки в данных материалах. Моделью для исследования физических свойств внутренних ДП в ВТСП, их нелинейных свойств и различных неравновесных явлений является система связанных ДП. Необходимо отметить, что построение модели, обеспечивающей адекватное описание внутренних джозефсоновских переходов в высокотемпературных сверхпроводниках, является одной из актуальной проблемой современной физики сверхпроводимости.

Во введении обоснована актуальность исследуемой проблемы, сформулированы цели и задачи диссертационной работы, перечислены полученные в диссертации новые результаты, выносимые на защиту, и описана структура диссертации.

В первой главе «*Литературный обзор*» описаны основные свойства внутренних джозефсоновских переходов в высокотемпературных сверхпроводниках и приведены теоретические модели, описывающие фазовую динамику системы джозефсоновских переходов.

Во второй главе «*Сравнительный анализ ССJJ И ССJJ+DC моделей и роль диффузионного тока в формировании вольт-амперной характеристики системы связанных джозефсоновских переходов*» представлены результаты исследования ВАХ системы связанных ДП в рамках ССJJ и ССJJ+DC моделей. Приведены результаты анализа ВАХ системы связанных ДП на основе исследования зависимостей сверхпроводящего, квазичастичного, диффузионного токов и тока смещения от величины базового тока. Такое рассмотрение позволяет выделить характер поведения соответствующего тока в отдельном ДП. В частности, показано, что полученная в рамках ССJJ+DC модели динамика переключения из состояния с нулевым напряжением в резистивное состояние объясняет наблюдаемое в эксперименте отсутствие ветвления при  $I=I_C$ , характерное для ССJJ модели. Демонстрируется роль диффузионного тока в формировании вольт-амперной характеристики в трех различных областях: вблизи критического тока, в области ветвления в

гистерезисной части ВАХ, в области параметрического резонанса. Автором показывается также, что исследование зависимости усредненных по временному домену токов от величины базового тока позволяет выяснить характер ветвления ВАХ системы связанных ДП.

В третьей главе «*Резонансные свойства системы джозефсоновских переходов шунтированной LC элементами*» представлены результаты исследования резонансных свойств системы джозефсоновских переходов, шунтированной LC-контуром и под воздействием внешнего излучения. Исследования проведены в рамках модели с емкостной связью и диффузионным током (ССJJ+DC модель). Автор показывает возможность реализации двойного резонанса в области гс-ветви, т. е. резонанса колебаний LC-контра, джозефсоновских осцилляций и продольной плазменной волны (ППВ), при котором сверхпроводящие слои в системе оказываются заряженными.

В четвертой главе «*Фазовая динамика системы длинных джозефсоновских переходов с индуктивной и емкостной связью*» представлены результаты исследования фазовой динамики системы длинных ДП в рамках обобщенной модели учитывающей как индуктивную, так и емкостную связь, а также диффузионный ток. Проведено подробное исследование ВАХ и пространственно-временных зависимостей электрического заряда в сверхпроводящих слоях во всех ДП. Показана возможность возникновения продольной плазменной волны и реализации параметрического резонанса в системе длинных ДП. В области параметрического резонанса, начиная с определенной длины джозефсоновского перехода, наблюдается сосуществование продольной плазменной волны и флюксоновых состояний. Это свидетельствует о возникновении нового уникального коллективного возбуждения в системе связанных джозефсоновских переходов, а именно, композитного состояния джозефсоновского тока, электрического поля и вихревого магнитного поля.

В Заключение сформулированы основные выводы диссертации и даны обоснования важности полученных результатов.

Полученные в диссертации результаты представляются значительными, имеют общий характер и соответствуют уровню результатов необходимых для получения ученой степени кандидата наук. В качестве замечаний, которые в основном носят рекомендательный характер и обозначают некоторые недостаточно сильные стороны работы, следует отметить следующие:

- 1) Обзор литературы и анализ состояния исследований представляются недостаточно полными. В результате нет ясности, что получено экспериментально в других группах и какова проблема в настоящее время. Кроме того, в обзоре сформулирована постановка задачи уже на стр.5, хотя обычно постановка задачи представляется как следствие обзора литературы.
- 2) В диссертации достаточно часто встречается использование жаргонных выражений и слов, например, “вращательное состояние”, “стек” и т.д.
- 3) Не достаточно ясна физическая природа диффузионного тока, который оказывает сильное влияние на свойства переходов
- 4) На большинстве экспериментальных данных, представленных в литературе наблюдается нелинейность в квазичастичном токе, обусловленная наличием щели. В работе эта нелинейность не рассматривается. Не понятно насколько сильно она влияет на динамику процессов в рассмотренных структурах.
- 5) В эксперименте наблюдаются две области генерации электромагнитных сигналов при малых и больших напряжениях. Было бы интересно в рамках используемых моделей попытаться объяснить появление этих областей и их физическую природу.

Результаты работы опубликованы в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и уже привлекли серьезное внимание научной общественности. Научная новизна, актуальность, и практическая ценность полученных результатов, обоснованность и достоверность научных положений и выводов этой работы не вызывают сомнений. Автореферат отражает содержание диссертации, а сама диссертация полностью соответствует специальности 010402-теоретическая физика.

Таким образом, диссертация Рахмонова Илхома Рауфовича является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи численного анализа динамики и резонансных свойств системы джозефсоновских переходов в высокотемпературных сверхпроводниках, имеющей существенное значение для современной физики сверхпроводимости,

что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика.

Отзыв составлен зав. лабораторией 233, д.ф.-м.н. Овсянниковым Г.А. и и.о. зав. лабораторией 184, д.ф.-м.н. Синченко А.А.. Диссертация и отзыв рассмотрены на заседании научно-квалификационного семинара по направлениям “Сверхпроводниковая электроника” и “Физика низкоразмерных структур, микро - и наноэлектроника” ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН.

зав. лабораторией 233,  
Института радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельникова РАН,  
125009, Москва, ул. Моховая 11/7,  
тел.: +74956297431  
факс.: +74956293678  
e-mail: gena@hitech.cplire.ru  
д.ф.-м.н.

Овсянников Геннадий Александрович

и.о. зав. лабораторией 184,  
Института радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельникова РАН,  
125009, Москва, ул. Моховая 11/7,  
тел.: +74956293656  
факс.: +74956293678  
e-mail: aasinch@mail.ru  
д.ф.-м.н.

Синченко Александр Андреевич