

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Куликова Кирилла Вячеславовича «Особенности динамики и вольт-амперных характеристик джозефсоновских наноструктур, обусловленные резонансными, топологическими и неравновесными явлениями», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — «Теоретическая физика».

Основной целью данной диссертации является исследование фазовой динамики и вольт-амперных характеристик систем связанных джозефсоновских переходов, их топологических, неравновесных и резонансных свойств.

Диссертация состоит из Введения, 3 глав основного текста, Заключения и списка использованной литературы из 105 наименований. Результаты диссертации опубликованы в 5 статьях входящих в список ВАК и индексируемых базой данных «Сеть науки», среди которых популярные высокорейтинговые журналы, входящие на момент публикации в первую квартиль, такие как Physical Review B (импакт-фактор: 3.813) и Superconductor Science and Technology (импакт-фактор: 2.861). В рамках диссертации было также опубликовано 12 статей в российских журналах не индексируемых зарубежными базами данных и трудах конференций, и издано учебное пособие для студентов старших курсов. Результаты работы представлены на 24 международных и всероссийских конференциях, а также ряде семинаров в России и за рубежом.

Во Введении автор описывает актуальность темы исследования, научную новизну и практическую ценность работы. Представляет цели и задачи работы, и достигнутые результаты, состоящие в следующем:

- Показано сжатие амплитудной зависимости ширины ступеньки Шапиро на резонансной ветви, возникающей на вольт-амперной характеристике шунтированного LC-контуром джозефсоновского перехода. Данный эффект имеет прикладное значение. В частности, он может позволить существенно уменьшить используемую мощность внешнего электромагнитного излучения, необходимого для функционирования стандарта Вольта на базе цепочек джозефсоновских переходов.

- Показано, что в системе связанных джозефсоновских переходов временная зависимость полного напряжения стека отражает возникновение электрического заряда на сверхпроводящих слоях, что может служить основой метода его регистрации.

- Предложен фазочувствительный метод обнаружения 4π -периодичности сверхпроводящего тока в джозефсоновских наноструктурах, основанный на изменении свойств нечетных ступенек Шапиро и возникновении дополнительной последовательности субгармоник на вольт-амперной характеристике. Данный метод может быть использован при экспериментальном исследовании джозефсоновских переходов с нетривиальным барьером из материала с сильной спин-орбитальной связью. Повышенный интерес к таким системам обусловлен возможностью существования в них фермионов Майорано.

- Показано, что зарядовый разбаланс ветвей спектра элементарных возбуждений приводит к наклону ступенек Шапиро на вольт-амперной характеристике, который возрастает с увеличением параметра неравновесности. Продемонстрировано распределение величины наклона ступеньки Шапиро вдоль стека, обусловленное наличием связи между джозефсоновскими переходами. Данные результаты имеют прикладное значение в области исследований слоистых высокотемпературных сверхпроводников типа висмутовой керамики, прикладной целью которых является создание компактных твердотельных источников терагерцового излучения.

В заключении Введения представлен личный вклад автора, апробация результатов, описана структура и объем работы.

Глава 1 диссертации посвящена рассмотрению системы связанных джозефсоновских переходов (СДП), шунтированных резонансным контуром. Дано описание модели для

системы СДП, шунтированной LC-элементами, описание методов расчета вольт-амперной характеристики и фазовой динамики. Представлены результаты исследования резонансных свойств одного джозефсоновского перехода и проведен анализ их влияния на отклик на внешнее периодическое воздействие. Определена зависимость ширины ступеньки Шапиро от амплитуды внешнего излучения. Показано возникновение дополнительного параметрического резонанса в области резонансной ветви, возникающей в системе СДП с шунтированием. Обсуждается метод экспериментального обнаружения заряда на сверхпроводящих слоях, основанный на измерении амплитуды осцилляций напряжения в стеке или на шунтирующем конденсаторе. Проведен анализ модуляций на временной зависимости заряда и напряжения стека, возникающих под действием внешнего периодического воздействия.

В Главе 2 диссертации рассмотрены результаты исследования джозефсоновских переходов с топологически нетривиальными барьерами, демонстрирующие 4π периодический джозефсоновский ток. Дано описание RCSJ-модели для такого перехода, где джозефсоновский ток шунтируется сопротивлением и емкостью. Проведено сравнение результатов с полученными ранее в рамках более простой, но более распространенной модели RSJ, где отсутствует емкость. Показана возможность возникновения нечетных ступенек Шапиро, имеющих субгармоническую природу и свойства, качественно отличающиеся от ступенек в обычных переходах. Обнаружена также дополнительная последовательность субгармоник в лестничной структуре на вольт-амперной характеристике. Обсуждается возможности использования этих свойств для детектирования 4π -периодичности сверхпроводящего тока. В последней части второй главы рассмотрен джозефсоновский переход с двумя компонентами сверхпроводящего тока. Такой переход в области малых напряжений демонстрирует 4π -периодичность разности фаз даже при амплитуде 4π -периодической компоненты тока, много меньшей амплитуды джозефсоновской компоненты, что позволяет наблюдать осцилляции сверхпроводящего тока с дробным периодом при малой диссипации в области гистерезиса. Определен интервал амплитуд внешнего электромагнитного излучения, в котором наиболее существенно проявление на вольт-амперной характеристике дробного эффекта Джозефсона.

Глава 3 диссертации посвящена исследованию неравновесных эффектов, создаваемых инжекцией тока в стек внутренних джозефсоновских переходов в высокотемпературных сверхпроводниках. Дано описание модели системы СДП с учетом зарядового разбаланса ветвей спектра элементарных возбуждений. Приведены результаты исследования влияния неравновесных условий на ступеньки Шапиро, возникающие под действием внешнего электромагнитного излучения. Показано, что зарядовый разбаланс может приводить к наклону ступенек Шапиро на вольт-амперной характеристике и обсуждается сдвиг ступеньки Шапиро на вольт-амперной характеристике от своего канонического значения под воздействием неперiodических граничных условий.

В целом, работа написана на высоком теоретическом уровне и, безусловно, интересна как теоретикам, так и экспериментаторам, работающим в области исследований. В тоже время, изложение не лишено некоторых недостатков, которые состоят в следующем:

1. В тексте встречаются ошибки при обозначении графиков, опечатки, использование одних и тех же букв для обозначения разных величин. Еще одним стилистическим недостатком, на мой взгляд, можно считать представление данных расчета с точностью, например, до пятого знака после запятой без обсуждения смысловой нагрузки такой точности.

2. В главах 1 и 3 в решаемых уравнениях присутствует малая флуктуационная добавка. При этом отсутствует обсуждение величины безразмерной интенсивности шума, которая полагается равной 10^{-8} . Для сравнения, типичные значения безразмерной интенсивности шума при решении аналогичных уравнения моделирующих системы с низкотемпературными сверхпроводниками при характерной температуре 4.2 К составляет 10^{-3} . Ввиду этого в

контексте исследования высокотемпературных структур интуитивно ожидаются большие значения интенсивности шума.

3. На рисунке 1.8е показано сжатие амплитудной зависимости ширины ступеньки Шапиро на резонансной ветви, возникающей на вольт-амперной характеристике шунтированного LC-контуром джозефсоновского перехода. К сожалению, не обсуждается отклонение полученной численной зависимости в районе первого максимума от известного аналитического выражения (1.10), использованного для аппроксимации. Также было бы интересно представить более детальное обсуждение возможности практического использования исследуемого эффекта в функционировании стандарта Вольт на базе цепочек джозефсоновских переходов.

4. В системе уравнений, записанных в главе 3 для связанных джозефсоновских переходов с разбалансом ветвей спектра элементарных возбуждений квазичастиц, среди параметров нет толщины сверхпроводящих прослоек внутри стека, что никак не комментируется в тексте.

Приведённые замечания не умаляют научной ценности диссертации, которая по актуальности, объёму выполненных исследований и оригинальности удовлетворяет требованиям Положения ВАК РФ «О порядке присуждения учёных степеней». Материалы диссертации своевременно опубликованы в ведущих научных изданиях.

Хорошо написанный автореферат улучшает понимание использованных и развитых в диссертации методов и полученных теоретических и численных результатов и проясняет вопросы, которые следует изучить в возможных дальнейших исследованиях с использованием рассмотренных в диссертации моделей.

Считаю, что Кирилл Вячеславович Куликов заслуживает присвоения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — «Теоретическая физика».

Официальный оппонент:
кандидат физ.-мат. наук,
ведущий научный сотрудник
Отдела микроэлектроники
Лаборатории физики наноструктур
НИИЯФ МГУ

И. И. Соловьев

« 8 » ноября 2018 г.

Адрес: 119991, ГСП-1, Москва,
Ленинские горы, дом 1, строение 2.
Научно-исследовательский институт ядерной
физики имени Д.В. Скобельцына МГУ
Телефон: +7 495 939-2588
Электронная почта: isol@phys.msu.ru

Подпись И.И. Соловьева заверяю.
Ученый секретарь НИИЯФ МГУ



Е. А. Сигаева

ноября 2018 г.