

ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.м.н. профессора Корнева В.К. на диссертацию И. Р. Рахмонова "Особенности фазовой динамики и резонансные свойства системы связанных джозефсоновских переходов", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика.

Диссертационная работа Рахмонова И. Р. посвящена обоснованию макроскопической сосредоточенно-распределенной модели слоистого сверхпроводника, позволяющей наиболее адекватно описывать свойства и внутреннюю динамику монокристаллических высокотемпературных сверхпроводников, в первую очередь, монокристаллов $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ (сокращенно BSCCO), которые в последнее время приковывают к себе внимание генерацией узкополосного терагерцового излучения. Использование такой модели позволяет существенно облегчить анализ подобных сильно анизотропных сверхпроводников по сравнению с их рассмотрением в рамках теории, например Гинзбурга-Ландау, сверхпроводниковых сред. Монокристалл BSCCO состоит из "сверхпроводящих" вдвоенных CuO_2 слоев, разделенных Bi-Sr-O слоями, через которые устанавливается джозефсоновская связь между ними, поэтому наиболее естественной моделью такой структуры представляется цепочка последовательно включенных туннельных джозефсоновских переходов (стек джозефсоновских переходов, *от англ. stack*), Однако, в силу крайне малой толщины "сверхпроводящих" слоев, последние оказываются в определенной степени "прозрачными" для электрического и магнитного полей. Для учета этих свойств в стеке джозефсоновских переходов как модели рассматриваемого монокристалла вводят дополнительные компоненты тока. Описание такой модели, рассмотрение в рамках этой модели динамики процессов в монокристаллах BSCCO, определяющих вид результирующих вольт-амперных характеристик, и сравнение с экспериментально полученными характеристиками являются основным содержанием диссертации Рахмонова И. Р.

Диссертация Рахмонова И. Р. состоит из Введения, четырех глав, Заключения и списка цитированной литературы. В первой главе дается обзор научных работ в рассматриваемой области исследований. Вторая глава посвящена сопоставлению двух моделей слоистого сверхпроводника для выбора модели, дающей наиболее точное описание наблюдаемых экспериментально вольт-амперных характеристик (ВАХ) монокристаллов BSCCO. Первая модель, сокращенно обозначаемая как ССJJ – модель емкостно-связанных джозефсоновских переходов (Capacity-Coupled Josephson Junctions) учитывает тонкость сверхпроводящих слоев посредством введения дополнительной емкостной связи каждого джозефсоновского перехода с двумя соседними переходами. Во второй модели, обозначаемой как ССJJ+DC - модель емкостно-связанных джозефсоновских переходов с диффузионным током (Capacity-Coupled Josephson Junctions with Diffusion Current), учет тонкости слоев дополняется введением дополнительной токовой компоненты, так называемого диффузионного тока. Расчеты в рамках этой модели дают наиболее точное

соответствие экспериментально наблюдаемым вольт-амперным характеристикам монокристаллических образцов BSCCO в виде мезаструктур (от *англ.* mesa – холм с плоской вершиной).

Третья глава посвящена рассмотрению свойств монокристаллических образцов BSCCO, шунтированного LC-цепью, в том числе, под воздействием приложенного к образцу высокочастотного сигнала, в рамках сосредоточенной модели слоистого сверхпроводника. При наличии у джозефсоновских переходов слоистого сверхпроводника большой собственной емкости последовательный резонанс в такой системе не оказывает заметного влияния на вольт-амперную характеристику (ВАХ), а при параллельном резонансе на ВАХ появляются острые резонансные пики. При совпадении частоты джозефсоновской генерации с частотой плазменного резонанса в джозефсоновских переходах в них возникают так называемые плазменные колебания. В силу сильной полевой связи через тонкие слои, колебания зарядов на этих слоях происходят в противофазе. В принципе, в такой стопке джозефсоновских переходов может устанавливаться стоячая волна, при которой разность фаз колебаний зарядов на слоях отличается от противофазного режима. При приближении частоты джозефсоновской генерации к частоте приложенного высокочастотного сигнала, происходит захват частоты джозефсоновской генерации внешним сигналом, что выражается в появлении на ВАХ такой системы ступеней Шапиро, параллельных оси токов. Действие внешнего сигнала значительно усиливается в области наблюдаемого параллельного резонанса. Эти свойства могут быть использованы для создания генераторов монохроматического излучения гигагерцового диапазона частот.

В четвертой главе рассматривается длинная (распределенная) мезаструктура BSCCO в рамках модели ССJJ+DC для распределенного слоистого сверхпроводника. В силу существования одновременно и магнитной и электрической связи между слоями такого сверхпроводника, возникающий при определенных частотах флюксонный резонанс, приводящий к образованию на ВАХ так называемых “ступеней” нулевого магнитного поля, имеет ярко выраженные особенности. В случае такого резонанса устанавливается стоячая флюксонная волна с одной, двумя, тремя и т.д. пучностями магнитного потока в слое, когда соответственно один, два, три и т.д. флюксона находятся в слое и, двигаясь примерно со скоростью Свайхарта и отражаясь на границе в антифлюксоны, проходит путь туда и обратно за период джозефсоновской генерации. В четных и нечетных слоях флюксонные волны устанавливаются в противофазе в силу существования как магнитной связи между тонкими слоями, так и электро-полевой связи, за счет которой усиливается взаимодействие при приближении, совпадении частоты джозефсоновской генерации с плазменной частотой.

Полученные в диссертационной работе результаты, несомненно, важны как для понимания физики процессов в сильно анизотропных монокристаллических высокотемпературных сверхпроводниках с джозефсоновской связью между слоями, таких как BSCCO, так и для создания новых устройств терагерцового диапазона частот на их основе, в том числе для создания уникальных узкополосных генераторов с перестраиваемой частотой.

Все основные результаты, положенные в основу диссертации, являются оригинальными и получены с использованием современных вычислительных методов, согласуются с опубликованными в научной литературе экспериментальными данными.

По содержанию и изложению материала в диссертации следует отметить следующие недостатки.

(1). Пониманию диссертационной работы, ее целей, полученных результатов и их места среди других работ в этой области мешает краткость текста, недостаточность обсуждения физической стороны наблюдаемых явлений и полученных результатов, небрежность в использовании физических терминов, в том числе устоявшихся терминов в теории колебаний, в том числе, нелинейных колебательных систем. Рисунки и обозначения на них малы по сравнению с основным текстом. Подписи к рисункам формальные и краткие, не позволяющие полностью понять содержание рисунков, так например, в подписи к рисунку 3.3 упоминаются только а и б части, хотя этот рисунок содержит 4 части: а, б, с, д; во многих других подписях неправильно указана нумерация составных частей рисунков.

(2). Объект исследования, для которого вводится и затем используется модель слоистого сверхпроводника, не описан должным образом: нет ни рисунка строения монокристаллического объекта, ни его подробного словесного описания. Это очень важно для понимания ситуации, поскольку то, что в диссертации называется сверхпроводящим слоем, это двойной слой CuO_2 (как и CuO слой в других монокристаллах), который сам по себе не является сверхпроводником, аналогично, упоминающийся “диэлектрический слой” – это не слой вещества, а всего лишь Bi-Sr-O слой монокристалла. Не обсуждается, почему в основу модели положена резистивная модель, которая, как известно, не учитывает особенностей туннелирования квазичастиц в туннельных сверхпроводниковых структурах. При моделировании вводятся флуктуации, но не объясняется с какой целью, каково их влияние, какому фактору шума, вводимому в джозефсоновских системах, соответствуют.

(3). В тексте не делается различий между резонансными *пиками* (с конечным наклоном сторон, как устойчивых, так и неустойчивых) и *ступеньками* (Шапиро), строго параллельными оси токов, которые образованы в результате захвата частоты джозефсоновской генерации внешним сигналом. Это совершенно разные явления. Резонансные явления принято характеризовать, в частности, добротностью резонанса, о которой нигде не говорится. Более того узкие резонансные пики на наклонной ВАХ, направленные параллельно оси токов и в сторону возрастания токов, прописаны при вычислениях только а одну сторону, когда ток уменьшается, в результате чего на ВАХ показаны не пики, а скачки от подножия пика на другую сторону пика чуть выше его наклонного подножия. Таким образом, пропускается крайне важная информация о наблюдаемых явлениях.

(4). Много упоминается о параметрическом резонансе, но нигде не говорится, о каком параметре идет речь. Много некорректных выражений, таких как “резонанс и его гармоники” (стр. 45 и подпись к рис. 3.3), “при резонансе джозефсоновских осцилляций с резонансным контуром и его гармониками”, “резонанс джозефсоновских осцилляций с осцилляциями электрического заряда на S-слое”, “дополнительный параметрический

резонанс, обусловленный образованным резонансным контуром” (стр. 48), “резонанс джоузефсоновских осцилляций с собственными колебаниями резонансного контура может спровоцировать возбуждение продольной плазменной волны”. Нигде не обсуждается понятие плазменной волны.

(5). Неудачным является совмещение ВАХ и временных процессов на одном рисунке, в одной плоскости. Возникает вопрос о том, какие это процессы, переходные или установившиеся и в какой точке ВАХ. Также на рисунках 2.7, 2.8, 2.12 приводятся непонятные зависимости среднего значения тока смещения, у которого не может быть постоянной составляющей. Все это приводит к вопросу о правильности и достаточности времени усреднения.

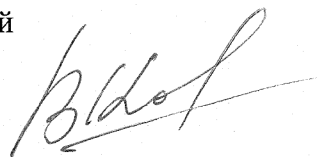
Несмотря на указанные недостатки, диссертация и изложенные в ней результаты заслуживают общую положительную оценку.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации, материалы которой опубликованы в 3 статьях в научных журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК, а также в 9 публикациях в других журналах и трудах научных конференций, докладывались на 12 отечественных и международных научных конференциях., а также на нескольких научных семинарах в Москве, Дубне и Душанбе.

Диссертация И.Р. Рахмонова удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор И. Р. Рахмонов заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика.

05.09.2014

Корнев Виктор Константинович
доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры атомной
физики, физики плазмы и микроэлектроники
Физический факультет
МГУ имени М.В. Ломоносова



В. К. Корнев

Подпись Корнева В. К. удостоверяю.

Декан физического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова
профессор



Н. Н. Сысоев

Отзыв составил: Корнев Виктор Константинович, доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры атомной физики, физики плазмы и микроэлектроники, Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова; Ленинские Горы, д. 1, стр. 2, 119991 Москва, Россия; тел.: (495)9394351; факс: (495)9328820; e-mail: kornev@phys.msu.ru