

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Марычева Павла Михайловича «Стационарные неоднородные состояния в токнесущих квазиодномерных сверхпроводниках», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук (специальность 01.04.07 - физика конденсированного состояния).

Актуальность. В диссертации теоретически исследуются особенности протекания тока в квазиодномерных сверхпроводниках и контактах на их основе.

Актуальность исследования квазиодномерных сверхпроводящих переходов связана с технологическим прогрессом последнего времени, в результате чего появилась возможность изготавливать такие контакты контролируемым образом с заранее заданными характеристиками. Упомянутые контакты представляют как фундаментальный интерес, так и прикладной. В таких системах возможна проверка уже имеющихся теоретических предсказаний и обнаружение новых эффектов, еще не объясненных теорией. С прикладной точки зрения квазиодномерные контакты могут быть использованы в качестве элементов микроэлектроники нового поколения, т.к. естественным направлением развития в этой области является миниатюризации.

В диссертации рассматриваются важные задачи в рамках упомянутого направления. В главе 1 представлен общий обзор особенностей неоднородных состояний в квазиодномерных сверхпроводниках. В главе 2 изучается протекание тока через сверхпроводящие мостики, которое может сопровождаться существенными флуктуациями. В главе 3 рассматриваются сверхпроводящие мостики, изготовленные из двухзонных сверхпроводников, открытых относительно недавно; интересным эффектом в этом случае является возможность образования фазовых солитонов. В главе 4 исследуются сверхпроводящие структуры при наличии ферромагнетиков, в которых возможно образование неоднородного состояния Фульде-Феррела, что приводит к особенностям при наличии тока. Изучение этих вопросов в диссертации делает ее безусловно актуальной.

Новизна и достоверность. Научная новизна диссертационной работы определяется рядом впервые полученных фундаментальных результатов. В частности, в рамках теории Гинзбурга-Ландау рассчитана зависимость энергии пороговой флуктуации, переводящей токнесущий сверхпроводящий мостик в резистивное состояние, при различных длинах мостика. Получено аналитическое выражение для энергии пороговой флуктуации в случае мостика с длиной порядка или меньше длины когерентности. Показано, что полученные при $T \sim T_c$ с результаты для энергии пороговой флуктуации

остаются применимыми и при низких температурах $T \ll T_c$. Предсказана осцилляционная зависимость критической плотности тока j_c от длины мостика в случае двухзонного сверхпроводящего мостика со слабой межзонной связью. Показано, что в случае слабой межзонной связи и достаточно длинного мостика существует область токов, при которых возможно флуктуационное образование фазовых солитонов в двухзонном сверхпроводящем мостике. Исследованы транспортные и экранирующие свойства тонкоплёночных структур сверхпроводник/ферромагнетик/нормальный металл с реалистичными параметрами, находящихся в продольном состоянии ФФЛО или вблизи него. Предсказан новый тип 0-л переходов, индуцируемых током или магнитным полем и сопровождающихся резким изменением экранирующих свойств гибридной структуры.

Достоверность результатов обеспечена адекватным выбором физических моделей, отражающих основные свойства исследуемых систем, и апробацией работы на российских и международных конференциях. Материалы диссертации опубликованы в 11 работах, из них 5 статей в отечественных и зарубежных рецензируемых научных журналах.

Научная и практическая значимость. Научная значимость диссертации состоит в ряде фундаментальных результатов, полученных впервые. Рассчитана зависимость энергии седлового состояния от тока для квазиодномерного токнесущего сверхпроводника конечной длины при произвольных температурах. Проанализировано влияние дефектов на токовую зависимость энергии седлового состояния. Исследовано влияние фазовых солитонов на транспортные свойства двухзонных сверхпроводящих мостиков конечного размера. Изучен флуктуационный механизм образования фазовых солитонов. Исследовано влияние параллельного магнитного поля и продольного тока на свойства неоднородного вдоль слоёв состояния Фульде-Феррелла в гибридных структурах сверхпроводник/ферромагнетик/нормальный металл.

Представленные результаты могут быть использованы для дальнейшего развития теории, а также для анализа экспериментов в организациях, проводящих экспериментальные исследования в области сверхпроводимости.

Замечания. По диссертации можно сформулировать ряд вопросов и замечаний:

1. В главе 2 записывается и решается задача о пространственном распределении модуля параметра порядка в сверхпроводящем мостике. В то же время, не обсуждается задача о нахождении пространственного распределения фазы параметра порядка. При этом информация о параметре порядка входит в вычисляемые величины, см. формулу (2.5). Как решалась эта задача?

2. Формула (2.15) получена в пределе короткого мостика, $L \ll \xi$. В процессе вычислений по этому параметру удерживался главный порядок. Тем не менее, в полученной формуле помимо главного порядка ξ/L имеются и гораздо меньшие вклады порядка L/ξ . Возникает вопрос, законно ли их удержание в рамках проделанного вычисления.
3. В разделе 2.3 обсуждаются различные модели дефектов в сверхпроводящем мостике. В частности, локально диффузная область с заданной длиной свободного пробега. В то же время, сформулированные в начале этой главы общие уравнения (см. (2.2)) выписаны для баллистического случая. Остается неясным, как именно описывалась модель с диффузным дефектом.
4. В главе 2 утверждается, что зависимость $\delta F(I)$ может качественно измениться даже за счет «слабых» локальных дефектов. При этом очевидно, что для бесконечно слабых дефектов это не так. Каково параметрическое условие на минимальную силу дефектов, при котором изменение хода зависимости $\delta F(I)$ будет иметь место?
5. В главе 3 обсуждается возможность возникновения солитонов в двухзонных сверхпроводниках. В разделе 3.3.1 такая возможность объяснена для случая, когда межзонная джозефсоновская связь отсутствует. В стационарном режиме исходя из уравнений (3.6)-(3.8) выводится, что при определенных значениях сверхскорости параметр порядка может быть полностью подавлен в одной из зон. В то же время, далее рассматриваются случаи с конечной межзонной связью. Сохраняется ли в этом случае утверждение о возможности полного подавления параметра порядка в одной из зон?
6. В главе 4 не вполне понятно, в чем состоят сравнительные особенности рассмотрения случаев приложенного тока и магнитного поля. Рис. 4.1 един для обоих случаев, хотя распределения токов должны различаться. В тексте на стр. 60 говорится о выборе векторного потенциала для случая приложенного магнитного поля. Как проводилось рассмотрение для случая приложенного тока?
7. В конце раздела 4.2 сравниваются состояния ФФ и ЛО. Упомянется двумерный расчет с нулевыми граничными условиями. Как этим граничным условиям может удовлетворить состояние ФФ, имеющее координатную зависимость в виде бегущей экспоненты?
8. На рис. 4.3 продемонстрировано качественное изменение поведения кривых в зависимости от соотношения между толщиной d_F и длиной когерентности ξ_c . При этом для наглядного физического понимания этих результатов наиболее естественным кажется сравнение толщины с другой длиной когерентности, которая

содержит в качестве характерной энергии обменную энергию, т.к. именно такая длина является характерной для ферромагнетика.

Перечисленные замечания не влияют на общую высокую оценку работы. Все поставленные в диссертационной работе цели достигнуты и соответствуют положениям, выносимым на защиту. Работа выполнена на научном уровне, достаточном для кандидата наук. Основные результаты диссертации опубликованы в пяти статьях в рецензируемых журналах (Письма в ЖЭТФ, Физика твердого тела, Superconductor Science and Technology, Physical Review B) и доложены на российских и международных конференциях. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая удовлетворяет требованиям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней» № 842 от 24.09.2013 г. и предъявляемым к кандидатским диссертациям. П. М. Марычев заслуживает присвоения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Фоминов Яков Викторович,
доктор физико-математических наук,
специальность 01.04.02 – теоретическая физика,
и.о. зам. директора
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау Российской академии наук.



17 марта 2020 г.

142432, Московская обл., г. Черноголовка, просп. Академика Семенова, д. 1А
тел. 8 495 7029317
e-mail: fominov@landau.ac.ru

Подпись Я.В. Фоминова заверяю
Ученый секретарь
ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН
к.х.н. С.А. Крашаков

