

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертационную работу

Радкевича Алексея Андреевича

«Флуктуационные явления в низкоразмерных сверхпроводниковых системах»,
представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика.

Диссертационная работа Радкевича Алексея Андреевича посвящена развитию теории флуктуационных явлений в мезоскопических сверхпроводящих структурах. Интерес к этой теме связан, с одной стороны, с развитием теории квазиодномерных сверхпроводящих структур, и, с другой стороны, с наличием свежих экспериментальных данных по сверхпроводящим нанопроволокам. Наиболее интересные и одновременно хорошо исследованные явления в таких системах связаны с наличием в них т.н. проскальзываний фазы. К числу таковых относится возникновение ненулевого сопротивления, окончательное проверенное экспериментально на рубеже 21 века. Тем не менее, в теории квазиодномерных сверхпроводников существуют до сих пор неразрешённые вопросы. К таковым можно отнести влияние флуктуаций на локальные наблюдаемые, такие как плотность квазичастичных состояний. При проведении туннельных измерений именно локальные характеристики образца определяют наблюдаемые явления, в связи с чем возникает необходимость их теоретического описания с учётом имеющихся в системе флуктуаций, в том числе, квантовых. На момент начала работы над диссертацией в литературе основное внимание было уделено влиянию беспорядка на локальные характеристики, в то время как флуктуационный механизм требовал дальнейшего изучения.

В работе А.А. Радкевича теоретически исследуется влияние флуктуаций фазы сверхпроводящего параметра порядка на наблюдаемые свойства мезоскопических сверхпроводниковых систем, доступные в туннельных измерениях. Также в работе дано объяснение ряду данных экспериментальной группы К. Арутюнова по сверхтонким сверхпроводящим нанопроволокам. Низкоразмерные сверхпроводники на настоящий момент вызывают не только фундаментальный интерес как системы, в которых ярко проявляются различные флуктуационные эффекты, но и имеют прикладное значение, поскольку являются значимым компонентом современных твёрдотельных кубитов. Таким образом, актуальность диссертационной работы

Радкевича Алексея Андреевича «Флуктуационные явления в низкоразмерных сверхпроводниковых системах» не вызывает сомнений.

Цели, задачи и проблематика исследования определены вполне точно и конкретно на основе современных подходов теоретической физики и физики конденсированного состояния, а также квалифицированного анализа имеющихся литературных данных. Работа представляет теоретическое исследование, выполненное с использованием современных методов теоретической физики. Таким образом, соответствие диссертационной работы специальности 01.04.02 – «Теоретическая физика» также не вызывает сомнений.

Диссертационная работа А.А. Радкевича состоит из введения, трёх глав, заключения и списка литературы, а также содержит приложение.

Во **введении** обоснован выбор темы диссертации и её актуальность, дан обзор литературы по флуктуационным явлениям в низкоразмерных сверхпроводящих системах, а также сформулированы нерешённые на момент начала работы над диссертацией проблемы, касающиеся квазиодномерных систем. Сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость диссертационной работы, обоснована достоверность результатов, указан личный вклад автора и сформулированы выносимые на защиту положения.

В **первой главе** автор излагает подход к описанию влияния низкоэнергетических флуктуаций фазы параметра порядка на одночастичные свойства сверхпроводников и применяет его для получения флуктуационной поправки к плотности состояний в квазиодно- и двумерном случаях. Полученная поправка непертурбативна по взаимодействию и укладывается в рамки модели диссипативного электромагнитного окружения, которое в исследуемом случае формируется плазменными модами системы. В результате были обнаружены существенные изменения в поведении плотности состояний вблизи края щели в одномерном случае, а также выявлено наличие при конечных температурах «хвоста» состояний в области щели.

Вторая глава посвящена вопросу о пропускании сверхпроводниковой нанопроволокой бездиссипативного тока по конечному участку в туннельных экспериментах. В ходе анализа влияния бани плазменных мод автор продемонстрировал наличие в системе квантового фазового перехода по толщине проволоки, в ходе которого система теряет способность проводить сверхток. Дальнейший учёт проскальзываний фазы показал, что при нулевой температуре

фазовая диаграмма системы состоит из трёх фаз, характеризующихся различным поведением сверхпроводящих корреляций.

В **третьей главе** автор излагает результаты теоретико-экспериментального исследования титановых сверхпроводящих нанопроволок, совместного с экспериментальной группой К.Арутюнова. Параметры образцов таковы, что образцы находятся в состоянии «изолятора» с точки зрения квантовых проскальзываний фазы. Выполненный автором анализ эксперимента подтвердил результаты, изложенные автором в первой главе. Также была выявлена роль соотношения между длиной образца и длиной локализации куперовской пары вследствие квантовых проскальзываний фазы на зависимость сопротивления образца от температуры, что позволило объяснить различие между этими кривыми у некоторых образцов с близкими параметрами.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

- 1) Впервые получена непертурбативная флуктуационная поправка к плотности состояний сверхтонких сверхпроводящих проволок и плёнок;
- 2) Впервые продемонстрировано, что при нулевой температуре фазовая диаграмма длинной сверхпроводящей нанопроволоки состоит из трёх фаз, отвечающих различным характерам подавления сверхпроводимости.
- 3) Впервые показано, что соотношение между длиной образца и длиной локализации куперовских пар определяет поведение кривой сопротивления сверхпроводниковых нанопроволок.

Следует отметить ряд замечаний и вопросов:

- Автор пользовался уравнением Узалея, значит, предполагалось наличие беспорядка в квазиодномерной системе. В этом случае немедленно возникает вопрос о электронной локализации.
- Измерения сопротивления в эксперименте, по-видимому, проводились не совсем в равновесных условиях, а приведённый автором расчет сугубо равновесный. Стоило бы подумать о том, как обобщить изложенную теорию на неравновесный случай. Это не столь тривиально, т.к. вдали от равновесия сведение сигма-модели к одним фазовым флуктуациям становится неправильным.
- В тексте имеется незначительное количество опечаток: «сверхпровоящих» на стр. 13, «равноесия» на стр. 26, «соответствующего» на стр. 34 и др.

Отмеченные выше замечания не снижают ценности полученных результатов. В целом диссертация выполнена на высоком научном уровне. Полученные в работе

результаты, основные положения и выводы являются обоснованными. Достоверность результатов подтверждается согласием между теоретическими результатами и экспериментальными наблюдениями. Результаты работы апробированы публикациями в рецензируемых научных изданиях и докладами на международных конференциях, а также на семинарах. Основные результаты диссертации опубликованы в журналах Web of Science (6 работ) и рецензируемом русскоязычном журнале Физика твёрдого тела (2 работы).

Автореферат диссертации полно и объективно отражает её содержание.

Диссертационная работа А.А. Радкевича «Флуктуационные явления в низкоразмерных сверхпроводниковых системах» является законченной научно-квалификационной работой. Она полностью соответствует требованиям Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание степени кандидата физико-математических наук, а автор работы, Радкевич Алексей Андреевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика.

Официальный оппонент:
доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник
теоретического отдела Института
физики высоких давлений им.
Л. Ф. Верещагина РАН

108840, г. Москва, г. Троицк,
Калужское шоссе, стр. 14
Тел. +7-(495)-851-05-82
Эл. почта: nms_ch@mail.ru

Щелкачёв Николай Михайлович

«31» 01 2022 г.

Подпись Щелкачёва Н. М. заверяю
Учёный секретарь

