

## ОТЗЫВ

Научного руководителя диссертационной работы А.А. Копасова «Состояния квазичастиц и электронный транспорт в сверхпроводящих гибридных структурах со спин-орбитальным взаимодействием»

Диссертационная работа Копасова А. А. посвящена теоретическому исследованию сверхпроводящих гибридных структур со спин-орбитальным взаимодействием. Две главы работы посвящены теоретическому изучению полупроводниковых нанопроводов с сильным спин-орбитальным взаимодействием и наведенной сверхпроводимостью. Данные системы являются перспективной платформой для реализации топологической сверхпроводимости и майорановских мод. Третья глава посвящена изучению гибридных структур сверхпроводник-ферромагнетик со спин-орбитальным взаимодействием Рашбы.

В ходе работы Копасовым А. А. в рамках микроскопической теории Боголюбова – де Жена были исследованы эффекты конкуренции нормального и андreeвского отражения в полупроводниковых нанопроводах, полностью покрытых сверхпроводящей оболочкой, во внешнем магнитном поле, направленном вдоль оси нанопровода. Продемонстрировано возникновение мод волноводного типа в таких структурах, проанализированы эффекты, связанные с изгибом дна зоны проводимости в полупроводниковой сердцевине. Показано, что наличие аккумуляционного слоя для электронов вблизи интерфейса полупроводник-сверхпроводник может привести к возвратному поведению щели в спектре энергии возбуждений при изменении внешнего магнитного поля в пределах состояния с фиксированной завихренностью сверхпроводящего параметра порядка в оболочке. Данные результаты интересны в контексте недавних экспериментов и могут быть полезны для интерпретации экспериментальных данных по транспортным свойствам таких систем. Изучены эффекты текстурированного спин-орбитального взаимодействия Рашбы с радиальным вектором нормали: установлен критерий появления майорановских мод, определен их пространственный масштаб. Полученные результаты могут быть полезны для оптимизации параметров гибридных структур, используемых для поиска майорановских состояний. Во второй главе исследован электронный транспорт в джозефсоновских контактах с искривленным нанопроводом в области слабой связи. С использованием численных и аналитических расчетов в рамках формализма Боголюбова – де Жена показано, что такие контакты могут иметь отличную от нуля или пи спонтанную разность фаз сверхпроводящего параметра порядка в берегах в основном состоянии. Продемонстрировано, что спонтанная разность фаз перестраивается спин-расщепляющим полем, таким образом, данные контакты представляют собой перестраиваемые фазовые батарейки. Показана возможность невзаимного сверхпроводящего транспорта, а именно зависимости критического тока от направления пропускаемого тока. В третьей главе исследован обратный эффект близости в гибридных структурах сверхпроводник – ферромагнетик со спин-орбитальным взаимодействием Рашбы. В рамках микроскопической теории получено уравнение на температуру сверхпроводящего перехода системы. Показано, что спин-орбитальное взаимодействие частично компенсирует распаривающий эффект обменного поля и стабилизирует неоднородное сверхпроводящее состояние с конечным импульсом куперовских пар в системе центра масс. Исследованы зависимости импульса пары от зонных параметров ферромагнетика. Проведенные исследования обратного эффекта близости позволяют обосновать стандартный феноменологический подход для описания таких систем в рамках теории Гинзбурга-Ландау с инвариантом Лифшица, а также установить диапазон параметров гибридных структур, для которых такого рода описание справедливо. По результатам работы были опубликованы статьи в журналах «Physical Review B», «Письма в ЖЭТФ» и «Физика твердого тела». Результаты работы были успешно представлены Копасовым А. А. на нескольких международных симпозиумах «Нанофизика и наноэлектроника», школах-конференциях молодых ученых «Идеи и методы физики конденсированного состояния»,



Уральских международных зимних школах по физике полупроводников, международной зимней школе физиков-теоретиков «Коуровка», международной конференции «Физика конденсированных состояний».

Профессиональная подготовка Копасова А. А. последовательно совершенствовалась и к настоящему времени он полностью сформировался как самостоятельный физик-теоретик. Доказательством этого утверждения является прекрасное владение литературой, современными методами исследования, а также высокий уровень решения конкретных физических задач, представленных в диссертационной работе. Он овладел методами микроскопической теории сверхпроводимости, такими как теория Боголюбова-де Жена, уравнения Горькова. Его вклад в получение всех результатов, входящих в совместные публикации, весьма значителен. В целом, Копасов А. А. полностью отвечает всем требованиям, которые можно предъявить к высококвалифицированному научному сотруднику – кандидату физико-математических наук.

Научный руководитель диссертации,  
Д.ф.-м.н., Заведующий отделом физики  
сверхпроводников ИФМ РАН

А.С. Мельников

Подпись А.С. Мельникова заверяю.  
Учёный секретарь ИФМ РАН, к.ф.-м.н.

Д.М. Гапонова

10.01.2024

