

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу  
Самохвалова Алексея Владимировича  
«Неоднородные состояния и интерференционные явления в гибридных  
сверхпроводящих системах»,  
представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук  
по специальности – 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Изучаемые в диссертационной работе А.В.Самохвалова гибридные сверхпроводящие системы интересны тем, что их свойства формируются интерференционными явлениями, появляющимися из-за эффекта близости между сверхпроводником и нормальным металлом или ферромагнетиком. Конкуренция между сверхпроводящим и обменным взаимодействием приводит к целому ряду необычных физических явлений, одним из которых является, например, формирование  $\pi$ -состояния в джозефсоновском контакте, когда фаза сверхпроводящего параметра порядка в соседних слоях сверхпроводника отличается на  $\pi$ . Экспериментальное подтверждение возможности формирования  $\pi$ -контактов на основе джозефсоновских систем с ферромагнитным барьером привлекло внимание многих исследователей к гибридным системам сверхпроводник-ферромагнетик различного типа. Адекватное описание физики подобных гибридных систем потребовало дальнейшего развития теории. Кроме несомненного научного интереса, исследования в этой области важны и для разработки физических принципов новых устройств с уникальными магнитными и транспортными свойствами. Применение гибридных сверхпроводящих систем может оказаться перспективным для создания нового поколения метаматериалов и энергоэкономичных устройств, в которых связано управление спином и проводимостью. Диссертация А.В.Самохвалова представляет значительный шаг в осуществлении этой программы, и, несомненно, является актуальной и практически значимой.

В работе впервые предсказан и описан теоретически целый ряд новых эффектов в гибридных сверхпроводящих структурах, ранее не изученных. Из наиболее интересных результатов можно назвать следующие:

Показано, что из-за отталкивания на больших расстояниях вихри в пленке слоистого сверхпроводника образуют не бесконечные цепочки (решетки), а кластеры из небольшого числа вихрей.

Предложена новая микроскопическая модель депиннинга вихрей с дефекта в виде диэлектрической полости. Основная черта этой модели в том, что в ней учитывается

изменение спектра квазичастиц в вихре под действием внешнего поля, что позволило описать новый механизм депиннинга.

Интересное исследование проведено для джозефсоновских систем с магнитными прослойками. Автор показал, что в таких системах изменение температуры может вызывать переход между 0- и  $\pi$ -состояниями контакта. Для трехслойной SFS структуры с тонкими сверхпроводящими слоями найдено, что переход контакта из 0 в  $\pi$ -состояние при изменении температуры сопровождается скачком сверхпроводящего параметра порядка. Такая возможность управления состоянием контакта с помощью изменения температуры является новым результатом.

Интересен также описанный в диссертации ряд эффектов, связанных с влиянием ферромагнитных частиц на свойства джозефсоновских переходов. Такие частицы индуцируют в пленке сверхпроводника пары вихрь-антивихрь, что сильно влияет на распределение фазы в контакте. Разработанная в диссертации теория позволяет сделать вывод, что даже одиночная магнитная частица может перевести контакт в  $\pi$ -состояние. Если магнитные частицы образуют регулярную решетку, то на зависимости критического тока контакта от внешнего магнитного поля возникают резонансные пики сильно меняющие обычную «фраунгоферову» зависимость  $I_c(H)$ .

Наконец, важным достижением является новый механизм дальнего действия в синглетном канале для джозефсоновских контактов с ферромагнитной прослойкой. Показано, что в баллистическом контакте при наличии спин-орбитального взаимодействия отражение квазичастиц от поверхности приводит к подавлению деструктивной интерференции между электронной и дырочной частями волновой функции квазичастиц. Из-за этого эффект близости возникает на гораздо больших расстояниях, чем это ожидалось бы для ферромагнитного канала. Родственный эффект возникает при создании в центральной части однородного ферромагнитного канала неоднородности обменного поля с размерами порядка длины когерентности. Показано, что в этом случае также можно добиться существенного увеличения критического тока. Результаты этого раздела имеют важное практическое значение.

К достоинствам работы следует отнести также то, что автор не только разработал теоретическое описание ряда новых систем, но и непосредственно участвовал в проведении экспериментов, подтвердивших некоторые из теоретических предсказаний.

Достоверность полученных в диссертации результатов обеспечивается применением достаточно апробированных методов исследования, а также тем, что полученные результаты сравнивались с результатами других теоретических работ и экспериментальными данными. Основные результаты диссертационной работы

А.В.Самохвалова опубликованы в 22 статьях в ведущих российских и зарубежных журналах, рекомендованных ВАК России и индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus. В опубликованных статьях полностью изложены положения диссертации, выносимые на защиту.

Наиболее существенные замечания по тексту диссертации состоят в следующем:

Спектр возбуждений в коре вихря должен удовлетворять соотношению  $\varepsilon(b) = -\varepsilon(-b)$ . Однако, показанный на рисунке 2.5а рассчитанный спектр явно не удовлетворяет этому соотношению. Возможно, на рисунке показана только часть спектра, но это не отражено в тексте.

В разделе 2.3 при описании срыва вихря Абрикосова с дефекта показано, что вначале на дефекте образуется пара вихрь-антивихрь. Эта начальная стадия такого процесса хорошо видна на рисунке 2.11. Однако, объяснения происходящего дальше представляются не совсем ясными – произойдет ли «аннигиляция» антивихря, когда вихрь начнет свободно двигаться или может остаться связанный с дефектом антивихрь. То есть, не может ли произойти не просто срыв вихря с дефекта, а рождение свободного вихря с образованием связанной пары вихрь-антивихрь на дефекте.

В разделе 4.4.1 не высказано никаких предположений, почему на рис.4.16 в области отрицательных магнитных полей период осцилляций зависимости  $I_c(H)$  сильно отличается для экспериментальной и теоретической кривых. С чем такое поведение может быть связано?

В разделе 5.3. предложен интересный механизм, обеспечивающий эффект дальнего действия в джозефсоновской SFS структурах в синглетном канале. Однако, обсуждаемый эффект очень чувствителен к неидеальности системы. Этот факт отмечается в тексте диссертации, но автор не приводит никаких оценок, при какой степени неидеальности поверхности пленки или рассеяния на примесях эффект пропадает. На мой взгляд, такие оценки следовало бы сделать.

Высказанные замечания не ставят под сомнение значимость полученных в диссертации результатов. В целом, диссертация представляет собой законченную научную работу, выполненную на высоком уровне. Представленные в ней новые результаты были получены автором самостоятельно. Совокупность этих результатов позволяет говорить о решении автором важной задачи об описании неоднородного сверхпроводящего состояния в гибридных структурах, имеющей большое значение для физики гибридных систем и спинтроники.

Результаты, вошедшие в диссертацию, достоверны, были своевременно опубликованы в ведущих зарубежных и российских физических журналах,

докладывались на большом количестве семинаров, российских и международных конференций. Выводы и заключения, сделанные автором, обоснованы. В автореферате правильно и полностью изложено содержание диссертационной работы.

Таким образом, диссертация Самохвалова Алексея Владимировича «Неоднородные состояния и интерференционные явления в гибридных сверхпроводящих системах», полностью удовлетворяет всем требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

29 мая 2015 г.

Официальный оппонент



Арсеев Петр Иварович

Заведующий сектором теории твердого тела  
Отделения теоретической физики им. И.Е. Тамма  
Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
д.ф.-м.н., член-корреспондент РАН  
Почтовый адрес: 119991 Москва,  
Ленинский проспект 53  
Тел. 499-1326271  
ars@lpi.ru

Подпись П.И.Арсеева заверяю

Ученый секретарь ФИАН, д.ф.-м.н.



Н.Г.Полухина