

Отзыв научного консультанта

о диссертационной работе Аладышкина Алексея Юрьевича

«Эффекты размерного квантования локализованной сверхпроводимости в гибридных металлических наноструктурах», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Наше научное сотрудничество с А. Ю. Аладышкиным началось в 1997 г., когда он пришел в отдел физики сверхпроводников для выполнения выпускной квалификационной работы на степень магистра физики. После окончания аспирантуры Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского (ННГУ) в 2004 г. А. Ю. Аладышкин под моим руководством защитил кандидатскую диссертацию «Особенности структуры смешанного состояния в тонких сверхпроводящих плёнках». Часть этой диссертации, а также часть работ Алексея, не вошедших в нее, относились к физике электромагнитного взаимодействия сверхпроводящего и магнитного параметров порядка в гибридных структурах сверхпроводник-ферромагнетик. Естественным продолжением этих работ стала деятельность Алексея, направленная на экспериментальное обнаружение предсказанных им с коллегами эффектов. Актуальность этих работ была связана с возможностью управления транспортными свойствами сверхпроводящих образцов посредством изменения магнитной структуры ферромагнитной подсистемы. Для проведения экспериментальных работ А. Ю. Аладышкин поехал в группу, возглавляемую проф. В. В. Моцалковым в Католическом университете Лёвена, в качестве постдока и приглашённого специалиста (*visiting scientist*). За период 2003-2020 гг. по инициативе А. Ю. Аладышкина или при его непосредственном участии была выполнена серия теоретических и экспериментальных работ по исследованию транспортных свойств гибридных структур сверхпроводник (S) – ферромагнетик (F) с магнитостатическим взаимодействием между сверхпроводящей и ферромагнитной подсистемами. Эти работы и составили основу докторской диссертации А. Ю. Аладышкина. Всё это время я продолжал следить за успехами и неудачами своего ученика, который с завидным упорством развивал направление, начатое в его студенческие и аспирантские годы.

Остановлюсь более подробно на некоторых ключевых работах. В статьях Gillijns, Aladyshkin *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* (2005) и Aladyshkin and Moshchalkov, *Phys. Rev. B* (2006) построена модель формирования локализованной сверхпроводимости в тонких плёнках и плёнках конечной толщины в поле крупномасштабной доменной структуры с учётом неоднородности магнитного поля над доменами и по толщине плёнки. Показано, что в поле крупномасштабной доменной структуры может возникать возвратная сверхпроводимость, которая характеризуется немонотонной зависимостью критической температуры T_c от модуля внешнего магнитного поля H . Был получен любопытный результат – экспериментальное обнаружение возвратной сверхпроводимости для тонкоплёночных S/F структур с «жёсткой» лабиринтной доменной структурой.

В работах Gillijns, Aladyshkin *et al.* *Phys. Rev. B* (2007), Aladyshkin *et al.*, *J. Appl. Phys.* (2010) экспериментально реализовано соображение о связи пространственных масштабов, определяющих размер сверхпроводящего зародыша в состоянии компенсированной сверхпроводимости, и критической температуры возникновения

такого локализованного решения. Показано, что в процессе частичного размагничивания многослойных плёнок CoPt можно получать метастабильные структуры с различным соотношением между средними ширинами доменов с положительной и отрицательной намагниченностью, что приводит к изменению соотношения между амплитудами максимумов критической температуры в состоянии локализованной сверхпроводимости. В работах Aladyshkin *et al.*, Phys. Rev. B (2007) и Schildermans, Aladyshkin *et al.*, Phys. Rev. B (2008) теоретически и экспериментально изучена конкуренция различных механизмов формирования локализованной сверхпроводимости в мезоскопических гибридных S/F структурах.

Хотелось бы отметить яркий экспериментальный успех, в основе которого лежит идея применения ламинарной доменной структуры в кристаллах феррита бария, для создания и исследования транспортных свойств гибридных S/F структур с хорошо определенной квазиодномерной структурой неоднородной компоненты магнитного поля, слабо зависящей от температуры и внешнего магнитного поля. Для таких структур диссертантом была обнаружена гигантская анизотропия сопротивления и диодный эффект в сверхпроводящих мостиках в состоянии компенсированной сверхпроводимости (Aladyshkin *et al.*, Appl. Phys. Lett. (2009, 2010)), прикраевая компенсированная сверхпроводимость (Aladyshkin *et al.*, Phys. Rev. B (2011)). По инициативе А. Ю. Аладьшкина и при его активном участии методом низкотемпературной сканирующей лазерной микроскопии были экспериментально визуализированы доменная сверхпроводимость, компенсированная сверхпроводимость над обратными и локализованная сверхпроводимость над параллельными магнитными доменами, а также исследованы переходы между такими состояниями при изменении температуры и внешнего поля (Aladyshkin *et al.*, Phys. Rev. B (2011) и Werner, Aladyshkin *et al.*, Phys. Rev. B (2011)). Итогом работы Алексея по гибридным S/F структурам стала совместная с В. В. Моцалковым и соавторами публикация обзора в журнале Superconductor Science and Technology в 2012 году.

Отдельно хотелось бы отметить усилия А. Ю. Аладьшкина по развитию в нашем институте работ по низкотемпературной сканирующей микроскопии и спектроскопии на установке Omicron. Несмотря на неудачи первых лет, диссертанту удалось наладить процесс изготовления тонкоплёночных образцов методом термического осаждения, проведение спектроскопических измерений высокого качества. Диссертантом были поставлены и решены оригинальные задачи по исследованию квантово-размерных состояний в тонких свинцовых плёнках для террас постоянной высоты и вблизи структурных дефектов (Уставщиков и др., Письма в ЖЭТФ (2017), Путилов и др., Письма в ЖЭТФ (2019)). В работе Aladyshkin, J. Phys. Condens. Matt. (2020) диссертантом были обнаружены локализованные размерные состояния для электронов над поверхностью свинцовых плёнок. По результатам таких измерений была получена оценка локальной работы выхода для тонких плёнок Pb(111) с террасами постоянной высоты.

Таким образом, диссертационная работа А. Ю. Аладьшкина вносит существенный вклад в развитие физики магнитосвязанных гибридных структур сверхпроводник-ферромагнетик в режиме локализованной сверхпроводимости и физики ультратонких металлических плёнок в режиме размерного квантования. Работа содержит ряд новых интересных результатов, имеющих фундаментальное и прикладное значение. Научная

достоверность полученных результатов и приоритет автора не вызывают сомнений. Результаты исследовательской работы полно и своевременно опубликованы в высокорейтинговых научных изданиях, представлены на представительных российских и международных конференциях, а также на семинарах ИФМ РАН, МФТИ, ННГУ, Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Казанского физико-технического института, Католического университета Лёвена (Бельгия) и др. За время работы над диссертацией А. Ю. Аладьшкин являлся стипендиатом Бельгийского научного агентства BELSPO, победителем конкурса на гранты Президента Российской Федерации для молодых кандидатов наук, руководителем нескольких проектов РФФИ по теме диссертации и соисполнителем проектов РФФИ (включая международный проект Россия–Фландрия) и научных программ Президиума РАН. Диссертант является высококвалифицированным исследователем, одним из ведущих физиков-экспериментаторов ИФМ РАН, пользуется уважением и авторитетом в отделе физики сверхпроводников. Для студентов ННГУ 5-го и 6-го курсов и аспирантов ИФМ РАН диссертантом разработаны оригинальные лекционные курсы «Туннельные явления в нанофизике» и «Введение в физику поверхности». Начиная с 2019 г. А. Ю. Аладьшкин является членом программного комитета международного симпозиума «Нанофизика и наноэлектроника» и руководителем секции «Измерения и технологии атомарного и нанометрового масштаба на основе зондовых, электронно-лучевых и ионно-лучевых методов» на этой конференции.

Оценивая диссертацию Аладьшкина А. Ю. в целом, можно заключить, что она полностью удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Аладьшкин Алексей Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

21 октября 2020 г.

Научный консультант:

Зав. лабораторией теории мезоскопических систем Института физики микроструктур РАН, доктор физико-математических наук

А. С. Мельников

Специальность 01.04.07 – физика конденсированного состояния

«Подпись Мельникова А. С. заверяю»
Заместитель директора ИФМ РАН



Е. А. Девятайкина