

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д002.069.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО НАУЧНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК», МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело N _____

решение диссертационного совета от 18 февраля 2021 № 4

О присуждении Аладышкину Алексею Юрьевичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Эффекты размерного квантования и локализованной сверхпроводимости в гибридных металлических наноструктурах» по специальности 01.04.07 физика конденсированного состояния принята к защите 05.11.2020 (протокол заседания № 9) диссертационным советом Д 002.069.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 603950 г. Нижний Новгород, БОКС - 120, ул. Ульянова. 46, приказ от 30 июня 2017 года номер 670/нк о создании диссертационного совета.

Соискатель Аладышкин Алексей Юрьевич, 1976 года рождения, диссертацию на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук «Особенности структуры смешанного состояния в тонких сверхпроводящих пленках» защитил в 2004 году в диссертационном совете, созданном на базе Института физики микроструктур Российской академии наук, работает старшим научным сотрудником в Институте физики

микроструктур РАН — филиале Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в отделе физики сверхпроводников (отдел 120) Института физики микроструктур РАН — филиале Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

1) **Зайцев-Зотов Сергей Владимирович**, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, руководитель лаборатории электронных процессов в квантовых структурах и заместитель директора Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН,

2) **Пудалов Владимир Моисеевич**, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, и. о. руководителя Центра высокотемпературной сверхпроводимости и квантовых материалов им. В. Л. Гинзбурга Физического института им. П. Н. Лебедева РАН,

3) **Тагиров Ленар Рафгатович**, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Казанского физико-технического института им. Е. К. Завойского – обособленного структурного подразделения ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук»,

дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики твёрдого тела Российской академии наук (Черноголовка) в своем **положительном отзыве**, подписанном Рязановым Валерием Владимировичем, доктором физико-математических наук, профессором, главным научным сотрудником и зав. лабораторией

сверхпроводимости, указала, что «Диссертация выполнена и изложена на высоком уровне, она является цельным и законченным исследованием. Новизна и достоверность результатов не вызывают сомнений. Диссертация вносит существенный вклад в изучение локализованных состояний и квантово-размерных эффектов в тонкопленочных сверхпроводящих гибридных и металлических структурах».

Соискатель имеет 132 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 72 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 28 работ. Работы по теме диссертации опубликованы в ведущих российских и зарубежных журналах (Письма в ЖЭТФ, Phys. Rev. Lett., Phys. Rev. B, Appl. Phys. Lett., Supercond. Sci. Technol., J. Phys.: Condens. Matt.), в диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах. Наиболее значительные работы:

1. W. Gillijns, A. Yu. Aladyshkin *et al.*, Domain-wall guided nucleation of superconductivity in hybrid ferromagnet-superconductor-ferromagnet layered structures // Phys. Rev. Lett. – 2005. – Vol. 95. – N. 227003.
2. A. Yu. Aladyshkin, V. V. Moshchalkov, Thin-film superconductor-ferromagnet hybrids: Competition between nucleation of superconductivity at domain walls and domains' centers // Phys. Rev. B. – 2006. – Vol. 74. – N. 064503.
3. A. Yu. Aladyshkin, A. V. Silhanek, W. Gillijns, V. V. Moshchalkov, Nucleation of superconductivity and vortex matter in superconductor-ferromagnet hybrids // Supercond. Sci. Technol. – 2009. – Vol. 22. – N. 053001.
4. W. Gillijns, A. Yu. Aladyshkin, A. V. Silhanek, V. V. Moshchalkov, Magnetic confinement of the superconducting condensate in superconductor-ferromagnet hybrid composites // Phys. Rev. B. – 2007. – Vol. 76. – N. 060503(R).
5. R. Werner, A. Yu. Aladyshkin *et al.*, Domain-wall and reverse-domain superconducting states of a Pb thin-film bridge on a ferromagnetic BaFe₁₂O₁₉ single crystal // Phys. Rev. B. – 2011. – Vol. 84. – N. 020505(R).

6. A. Yu. Aladyshkin, J. Fritzsche, V. V. Moshchalkov, Planar

superconductor/ferromagnet hybrids: Anisotropy of resistivity induced by magnetic templates // Appl. Phys. Lett. – 2009. – Vol. 94. – N. 222503.

7. С. С. Уставщиков, А. В. Путилов, А. Ю. Аладышкин, Туннельная интерферометрия и измерение толщины ультратонких металлических плёнок Pb(111) // Письма в ЖЭТФ. – 2017. – Т. 106. – С. 476-482.

8. Aladyshkin A. Yu. Quantum-well and modified image-potential states in thin Pb(111) films: an estimate for the local work function // Journ. Phys.: Condens. Matt. – 2020. – Vol. 32. – N. 435001.

На автореферат поступило семь отзывов (все отзывы **положительные**):

1) Из Института физических проблем им. П. Л. Капицы РАН от доктора физ.-мат. наук **Арутюнова Константина Юрьевича**. Отзыв положительный, замечаний не содержит. Отмечено, что «автореферат написан четким академическим языком и ясно отражает полученные автором результаты и их новизну.... Работа диссертанта прошла всестороннюю апробацию...».

2) Из Башкирского государственного университета от Заслуженного работника Высшей школы РФ, доктора физ.-мат. наук **Бахтизина Рауфа Загидовича**. Отзыв положительный, при этом **в качестве замечаний** отмечено отсутствие в автореферате детальных описаний и графических схем, иллюстрирующих используемые экспериментальные процедуры и методики.

3) Из Института общей физики им. А. М. Прохорова РАН от заведующего отделом технологии и измерений атомного масштаба, доктора физ.-мат. наук **Ельцова Константина Николаевича**. Отзыв положительный, замечаний не содержит. В отзыве отмечено, что «... применение сканирующей туннельной спектроскопии атомного разрешения в сверхвысоком вакууме является уникальным для российских исследователей».

4) Из Дрексельского университета (Филадельфия, США) от профессора физического факультета **Карпетрова Горана**. Отзыв положительный, замечаний не содержит. В отзыве отмечено, что «диссертант проявил инициативу и провел стажировки в ведущих лабораториях мира ... Тем самым

диссертант получил уникальную возможность погрузиться в специфику рассматриваемых проблем и сформировать сеть партнеров, с которыми сможет сотрудничать в будущем...».

5) Из Всероссийского НИИ автоматики им. Н. Л. Духова от начальника лаборатории физики микро- и наноструктур, доктора физ.-мат. наук **Погосова Вальтера Валентиновича**. Отзыв положительный, замечаний не содержит. В отзыве отмечено, что «Общий объем исследования впечатляет и позволяет охарактеризовать представленную А. Ю. Аладышкиным диссертацию как солидный научный труд».

6) Из Института физики твёрдого тела РАН от доктора физ.-мат. наук **Успенской Людмилы Сергеевны**. Отзыв положительный, замечаний не содержит. В отзыве отмечено, что «Диссертация Аладышкина А. Ю. представляет собой законченное исследование. ... Аладышкин А. Ю. является эрудированным и грамотным специалистом, ..., хорошо известным и в нашей стране, и за рубежом, согласно базе данных Web of Sciences, работы Аладышкина А. Ю. цитируются более 590 раз».

7) Из Института теоретической физики им. Л. Д. Ландау РАН (ИТФ РАН) от заместителя директора ИТФ РАН по научной работе, доктора физ.-мат. наук **Фоминова Якова Викторовича**. Отзыв положительный, в нём отмечено, что «Обращает на себя внимание теоретическая часть работы, проделанная диссертантом и представляющая самостоятельную ценность, что является редкостью для диссертации, которая имеет в целом экспериментальную направленность». Отзыв **содержит замечания**, относящиеся, **во-первых**, к корректности определения критической температуры и критических полей по результатам транспортных измерений, **во-вторых**, о необходимости учёта реалистичной структуры доменных стенок при детальном описании тонких эффектов локализованной сверхпроводимости в S/F структурах, **в-третьих**, о возможности наблюдения эффектов близости и, **в-четвертых**, о природе выраженных квантово-размерных эффектов в тонких пленках свинца.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их научными интересами и опытом работы в областях, близких к тематике диссертации А. Ю. Аладышкина, что подтверждается их публикациями в рецензируемых изданиях. Д. ф.-м. н. С. В. Зайцев-Зотов является ведущим российским специалистом в области исследования электронных свойств твёрдых тел методом низкотемпературной туннельной микроскопии и спектроскопии. Член-корр. РАН, д. ф.-м. н. В. М. Пудалов ведущим российским специалистом в области физики низких температур, конденсированного состояния и сверхпроводимости. Д. ф.-м. н., проф. Л. Р. Тагиров является ведущим российским специалистом в области физики сверхпроводимости, гибридных структур сверхпроводник-ферромагнетик и многослойных ферромагнитных структур. Выбор ведущей организации (ИФТТ РАН) обоснован тем, что она широко известна как центр исследований микро- и наноструктурированных сверхпроводников и гибридных структур сверхпроводник-ферромагнетик, а также как центр исследования структурных и электронных свойств твёрдых тел методами сканирующей туннельной микроскопии и спектроскопии.

Диссертационный совет отмечает:

- Для тонкоплёночных гибридных систем сверхпроводник-ферромагнетик с крупномасштабной доменной структурой в ферромагнитных слоях **предсказана** и экспериментально **обнаружена** возвратная сверхпроводимость. **Впервые систематически исследовано** влияние ширины доменов и амплитуды магнитного поля на форму зависимости критической температуры T_c от внешнего поля H .
- **Впервые** методом сканирующей лазерной микроскопии экспериментально **визуализированы** такие локализованные сверхпроводящие состояния, как прикраевая сверхпроводимость и доменная сверхпроводимость.
- Для гибридных систем сверхпроводник-ферромагнетик **впервые экспериментально обнаружена** гигантская анизотропия сопротивления, свидетельствующая о формировании непрерывных сверхпроводящих каналов

над областями с компенсированным магнитным полем.

- **Впервые исследован** диодный эффект для гибридных структур сверхпроводник-ферромагнетик в состояниях доменной и компенсированной сверхпроводимости.

- Для мезоскопических гибридных структур сверхпроводник-ферромагнетик теоретически и экспериментально **исследована** конкуренция различных механизмов зарождения сверхпроводимости.

- **Установлена** связь энергии одного из пиков дифференциальной проводимости в спектре квантово-размерных состояний электронов в плёнках Pb(111), который располагается на 0.65 эВ выше уровня Ферми и практически не зависит от толщины плёнки, с микроскопическими параметрами таких плёнок.

- **Показано**, что методика модуляционной сканирующей туннельной спектроскопии позволяет обнаруживать скрытые дефекты в Pb(111) плёнках (ступени моноатомной высоты в подложке, инородные включения, дислокационные линии и террасы с неквантованным изменением толщины).

- Для плёнок Pb(111) большой толщины (не менее 40 монослоев) с террасами квантованной высоты исследован спектр эмиссионных резонансов и **получена** оценка локальной работы выхода ($W=3.8\pm 0.1$ эВ), согласующаяся с результатами микроскопических расчетов.

Теоретическая значимость диссертации обусловлена тем, что:

- детально исследовано влияние неоднородного магнитного поля, создаваемого крупномасштабной доменной структурой в ферромагнитной пленке, на форму зависимости критической температуры от внешнего магнитного поля и толщины сверхпроводника;

- детально описана конкуренция различных механизмов зарождения сверхпроводимости в мезоскопических гибридных структурах сверхпроводник-ферромагнетик;

- предсказаны новые гибридизованные сверхпроводящие состояния (такие как

прикраевая доменная сверхпроводимость и покраевая компенсированная сверхпроводимость) с локализацией параметра порядка вблизи точек пересечения проекций линий минимума перпендикулярной компоненты магнитного поля и границ образца;

- предсказаны осцилляции критического тока для мезоскопических криотронов в зависимости от силы тока в управляющем проводе.

Практическая значимость исследования:

- развитые представления о влиянии магнитного поля на транспортные свойства тонких сверхпроводящих пленок в режиме локализованной сверхпроводимости могут быть использованы при разработке устройств сверхпроводящей электроники;

- полученные результаты открывают новые возможности для создания сверхпроводящих систем с анизотропными характеристиками (проводимостью, критическим током и нелинейными свойствами) и контролируемыми слабыми связями;

- развитые представления о резонансном туннелировании через квазистационарные квантово-размерные состояния в пленках свинца могут быть использованы для разработки методик обнаружения скрытых дефектов в металлических пленках и оценки микроскопических параметров таких плёнок.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- Экспериментальные результаты получены с применением апробированных взаимодополняющих методик с использованием современного измерительного оборудования с достаточным количеством экспериментальных данных, воспроизводимых на разных образцах. Выводы работы не имеют принципиальных расхождений с известными экспериментальными и теоретическими данными других исследователей.

- Теоретические результаты хорошо качественно и в некоторых случаях количественно описывают полученные диссертантом экспериментальные данные для кривых фазового перехода и полевых зависимостей критического

тока для гибридных структур сверхпроводник-ферромагнетик и не противоречат современным научным представлениям о свойствах сверхпроводящего состояния в микро- и наноструктурированных образцах. Рассматриваемые диссертантом модели квазистационарных электронных состояний в тонких металлических пленках и оценки микроскопических параметров, вытекающие из модельных представлений, качественно и количественно согласуются с результатами других исследователей.

Личный вклад соискателя состоит в постановке научных задач, проведении технологических работ и низкотемпературных экспериментальных исследований транспортных, магнитных и туннельных свойств исследуемых образцов, анализе и интерпретации результатов измерений, а также в подготовке результатов исследований для публикации в научных изданиях. Экспериментальные работы по исследованию транспортных свойств наноструктурированных сверхпроводников и магнитосвязанных гибридных структур сверхпроводник-ферромагнетик проводились в Католическом университете Лёвена под руководством В. В. Моцалкова совместно с В. Гилляйнсом, Й. Фрицше, Й. Ван де Вонделом, А. Силанеком, Р. Крамером, Н. Схилдерманс и Г. В. Атаклти. Все измерения отклика сверхпроводящих микромостиков в экспериментах с применением метода сканирующей лазерной микроскопии выполнены Р. Вернером под руководством Д. Кёлле и Р. Кляйнера в университете Тюбингена, соискатель принимал участие в постановке задачи, обработке полученных результатов и их интерпретации. Комплекс прикладных программ GLDD в основном был разработан И. М. Нефёдовым, И. А. Шерешевским и В. В. Куриным, соискатель принимал участие в разработке отдельных модулей, отладке программы и проведении основного массива вычислений. Все задачи по изучению квантово-размерных состояний в плёнках свинца методами сканирующей туннельной спектроскопии были поставлены соискателем, измерения проводились под его руководством или его непосредственном участии.

На заседании 18 февраля 2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Аладышкину Алексею Юрьевичу учёную степень доктора физико-математических наук.

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (01.04.07 – физика конденсированного состояния), участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 18, против – 0 (нет), недействительных бюллетеней – 0 (нет).

И.о. заместителя председателя
диссертационного совета



Handwritten signature in blue ink.

В. И. Гавриленко

Ученый секретарь диссертационного совета

Handwritten signature in blue ink.

Д. Ю. Водолазов

Дата оформления заключения 18.02.2021