

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.136.01 (Д 002.100.02),
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА ИМЕНИ
Ю.А. ОСИПЬЯНА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 17 мая № 3

О присуждении Швецову Олегу Олеговичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование транспорта в топологических полуметаллах с наведенной сверхпроводимостью» по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния принята к защите 28.02.2022 (протокол заседания № 2) диссертационным советом 24.1.136.01 (Д 002.100.02), созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук, 142432, г. Черноголовка, Московская область, ул. Академика Осипьяна, д. 2, приказ Минобрнауки от 17.10.2019 № 965/нк.

Соискатель Швецов Олег Олегович, 09.06.1995 года рождения, в 2019 году окончил магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» по специальности «03.04.01 Прикладные математика и физика». Справка о сдаче кандидатских экзаменов № 411 выдана 10 января 2022 г. Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук. Швецов Олег Олегович работает младшим научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт физики твердого тела имени

Ю.А. Осипьяна Российской академии наук (ИФТТ РАН). Диссертация выполнена в лаборатории квантового транспорта ИФТТ РАН.

Научный руководитель:

Девятков Эдуард Валентинович – доктор физико-математических наук, доцент, заместитель директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

Кунцевич Александр Юрьевич – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела «Центр высокотемпературной сверхпроводимости и квантовых материалов им. В.Л. Гинзбурга» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук,

Панкратов Андрей Леонидович – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела терагерцовой спектроскопии Института физики микроструктур РАН – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский педагогический государственный университет», г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном Семеновым Александром Владимировичем, кандидатом физико-математических наук, доцентом кафедры общей и экспериментальной физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский педагогический государственный университет» и утвержденном первым проректором МПГУ, доктором географических наук, профессором, академиком РАО, Дроновым Виктором Павловичем, указала, что объектом изучения диссертационной работы О.О. Швецова являются

эффекты, связанные с наведенной сверхпроводимостью в топологических полуметаллах, а их исследование проводится посредством низкотемпературных транспортных измерений. Взаимодействие между сверхпроводимостью и нетривиальной топологией зонной структуры в топологических материалах является одним из актуальных направлений в современной физике конденсированного состояния. Это обусловлено как большим количеством предсказанных новых физических явлений, так и возможностью использования топологически защищённых состояний для реализации квантовых вычислений. Таким образом, тема диссертационной работы значима как с фундаментальной, так и с практической точки зрения.

В качестве замечаний было отмечено:

1. В третьей главе, на стр. 42 и 45 сказано, что измеренная зависимость глубины провала в дифференциальном сопротивлении контакта золото- Cd_3As_2 , представленная на рисунке 20(с), согласуется с предсказанием теории БТК для прозрачного NS контакта. Это утверждение не подкреплено каким-либо сравнением с теорией; в частности, на рисунке 20(с) представлены только экспериментальные точки, но отсутствует фит теоретической кривой. Сравнение было бы весьма желательно, поскольку наблюдаемая в эксперименте зависимость провала от температуры является весьма слабой, что представляется как раз плохо согласующимся с предсказанием БТК.
2. В той же третьей главе, обсуждая, на стр. 42, зависимость ширины провала в дифференциальном сопротивлении (интерпретируемого как сверхпроводящая щель) от магнитного поля, автор отмечает, что зависимость от ориентации магнитного поля незначительна. Не очень понятно, насколько это экспериментальное наблюдение согласуется с гипотезой о сверхпроводимости в поверхностном слое на границе образца Cd_3As_2 . Для сверхпроводимости в тонком слое, естественно было бы ожидать значительно больший эффект от перпендикулярного магнитного поля. К сожалению, обсуждение этого вопроса в работе отсутствует.

3. В пятой главе, на стр. 57, при описании процедуры измерения критического тока упоминается, что каждая точка по магнитному полю и температуре получалась усреднением по 10 разверткам по току от нулевого тока до заведомо превышающего критический, при этом "точки, разбросанные более чем на два стандартных отклонения, исключались". Описанная процедура кажется не вполне стандартной. Неясно, каково было количество исключенных точек и какую точность измерения критического тока в итоге гарантирует автор. Вопрос актуален в связи с необычными зависимостями критического тока от поля, представленными далее в той же главе на рис. 30b.

4. В диссертации есть некоторое количество дефектов оформления и опечаток.

Соискатель имеет 11 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 4 работы, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, общим объемом 2.7 печатных листа.

Список публикаций по теме диссертации:

1. Surface superconductivity in a three-dimensional Cd_3As_2 semimetal at the interface with a gold contact / O. O. Shvetsov, V. D. Esin, A. V. Timonina [et al.] // *Phys. Rev. B.* — 2019. — Vol. 99, Iss. 12. — P. 125305.
2. Magnetically stable zero-bias anomaly in Andreev contact to the magnetic Weyl semimetal $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$ / O. O. Shvetsov, Yu. S. Barash, S. V. Egorov [et al.] // *EPL.* — 2020. — Vol. 132, Iss. 6. — P. 67002.
3. Lateral Josephson effect on the surface of the magnetic Weyl semimetal $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$ / O. O. Shvetsov, V. D. Esin, Yu. S. Barash [et al.] // *Phys. Rev. B.* — 2020. — Vol. 101, Iss. 3. — P. 035304.
4. Josephson spin-valve realization in the magnetic nodal-line topological semimetal Fe_3GeTe_2 / O. O. Shvetsov, Yu. S. Barash, A. V. Timonina [et al.] // *Pis'ma v ZhETF.* — 2022. — Vol. 115, Iss. 5. — P. 304.

На диссертацию и автореферат поступило три отзыва, все положительные, в которых отмечается, что диссертационная работа Швецова О.О. является

законченным исследованием, выполненным в актуальном направлении, а также, что по новизне, актуальности и значимости диссертация удовлетворяет всем требованиям Высшей аттестационной комиссии.

Квон Зе Дон (доктор физико-математических наук старший, профессор, заведующий лабораторией физики низкоразмерных электронных систем ИФП СО РАН). Замечание:

– В тексте автореферата присутствует значительное количество англицизмов.

Неверов Владимир Николаевич (доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории полупроводников и полуметаллов ИФМ УрО РАН). Замечание:

– В тексте автореферата отсутствует обсуждение возможной неоднородности носителей заряда по составу и концентрации в топологических системах.

Аверкиев Никита Сергеевич (доктор физико-математических наук, профессор, заведующий сектором теории оптических и электрических явлений в полупроводниках ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН). Замечание:

– Провал в дифференциальном сопротивлении на рис. 2(а) по вольт-амперной характеристике соответствует щели около 1 мэВ. С другой стороны, указанная критическая температура равна 1 К, что соответствует значительно меньшему значению сверхпроводящей щели. С чем может быть связано такое несоответствие?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается

тем, что

Кунцевич Александр Юрьевич, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела «Центр высокотемпературной сверхпроводимости и квантовых материалов им. В.Л. Гинзбурга» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, является ведущим специалистом в области низкотемпературного транспорта в сверхпроводящих и полупроводниковых наноструктурах, и в круг его научных интересов входит изучение двумерного

электронного газа, нематических сверхпроводников и топологически нетривиальных систем. Автор более 42 научных работ.

Андрей Леонидович Панкратов, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела терагерцовой спектроскопии Института физики микроструктур РАН – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», является ведущим специалистом в области минимизации шумов в динамических системах, в частности, в устройствах джозефсоновской электроники, в круг его интересов входит изучение и создание сверхчувствительных болометров на основе сверхпроводящих наноструктур. Автор более 90 научных работ.

Сотрудники ведущей организации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский педагогический государственный университет» (МПГУ), члены Лаборатории квантовых детекторов МПГУ, широко известны своими достижениями в соответствующей области науки и способны оценить актуальность, новизну, научную и практическую значимость диссертационной работы. В МПГУ проводятся теоретические и экспериментальные исследования по физике сверхпроводящих наноструктур, а также ведется работа по созданию сверхчувствительных однофотонных детекторов на основе сверхпроводящих пленок.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований можно сделать вывод о существенной роли топологических поверхностных состояний в транспорте в гетероструктурах, состоящих из сверхпроводников и топологических полуметаллов. Кроме того, такие структуры позволяют обнаружить и исследовать ряд новых физических явлений.

К наиболее существенным научным результатам относятся:

– демонстрация поверхностной сверхпроводимости в дираковском топологическом полуметалле Cd_3As_2 на интерфейсе с нормальным металлом;

- обнаружение устойчивой по отношению ко внешнему магнитному полю аномалии нулевого смещения для транспорта через одиночный сверхпроводящий контакт к магнитному вейлевскому полуметаллу $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$. В качестве интерпретации предлагается квазиодномерный транспорт по низкоэнергетическим связанным андреевским состояниям, возникающим при поддержке топологических поверхностных состояний в $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$;
- демонстрация сверхпроводящего тока в длинных джозефсоновских переходах на основе магнитного вейлевского полуметалла $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$. Показано, что эффект наблюдается только для однородно намагниченного кристалла $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$. Наблюдения убедительным образом интерпретируются как транспорт по топологическим поверхностным состояниям вейлевского полуметалла с наведенной сверхпроводимостью за счет эффекта близости;
- для джозефсоновских переходов на основе магнитного топологического полуметалла с узловой линией Fe_3GeTe_2 наблюден новый эффект: критический ток испытывает гистерезис по магнитному полю. Показано, что данное поведение означает, что джозефсоновский переход является джозефсоновским спиновым вентилем. Исследована феноменология наблюдаемых явлений с учетом магнитной анизотропии, свойственной материалу.

Экспериментальные исследования носят пионерский характер, а необходимость детального микроскопического объяснения данных результатов **обосновывают теоретическую значимость исследования.**

Практическая значимость обусловлена близостью тематики диссертации к актуальным проблемам создания топологических кубитов, поиска топологических сверхпроводников и майорановских фермионов, создания новых структур применимых для вычислительной техники и спинтроники.

Достоверность результатов исследования доказывается тем, что результаты, полученные в ходе выполнения исследовательской работы, согласуются с ранее полученными экспериментальными результатами автора

и других исследовательских групп, а также с результатами теоретических исследований. Все экспериментальные результаты, приведенные в диссертационной работе соискателя, опубликованы в ведущих мировых и российских научных журналах и неоднократно докладывались на конференциях, что также подтверждает их достоверность.

Личный вклад соискателя состоит в производстве образцов, проведении экспериментальных исследований, обработке и интерпретации результатов экспериментов, а также в написании текстов научных статей.

Диссертация Швецова Олега Олеговича является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний, отвечает всем критериям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, недостоверные сведения об опубликованных работах, в которых изложены основные научные результаты, в диссертации отсутствуют.

На заседании 17.05.22 диссертационный совет принял решение присудить Швецову О.О. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человека, из них 21 доктор наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 28 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» – 21, «против» – нет.

Председатель

диссертационного совета

доктор физ.-мат. наук

Левченко Александр Алексеевич

Ученый секретарь

диссертационного совета

доктор технических наук

Курлов Владимир Николаевич

18 мая 2022 г.