

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

Аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 28 ноября 2023 г. № 13

О присуждении Есину Варнаве Денисовичу, гражданину Российской Федерации,  
учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Транспорт в топологических полуметаллах в нелинейном режиме:  
спиновый диод и нелинейный эффект Холла» по специальности 1.3.8 – Физика  
конденсированного состояния принята к защите 18.09.2023 г. (протокол заседания № 7)  
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 (ИФТТ РАН), 142432, г. Черноголовка,  
Московская обл., ул. Академика Осипьяна, д. 2, на основании приказа Минобрнауки от  
17.10.2019 г. № 965/нк.

Соискатель Есин Варнава Денисович, 18.09.1997 г. рождения, в 2020 г. окончил  
магистратуру ИФТТ РАН по направлению подготовки 28.04.04 – Наносистемы  
и наноматериалы. Диплом об окончании магистратуры выдан 13 июля 2020 г. В 2020 г. был  
зачислен в аспирантуру ИФТТ РАН по направлению 03.06.01 – Физика и астрономия.  
Справка о сдаче кандидатских экзаменов №422 выдана ИФТТ РАН в 2023 году. С 2018 года  
работает младшим научным сотрудником Лаборатории квантового транспорта ИФТТ РАН.  
Диссертация выполнена в Лаборатории квантового транспорта ИФТТ РАН.

**Научный руководитель:**

Девятов Эдуард Валентинович - доктор физико-математических наук, доцент,  
заместитель директора ИФТТ РАН.

**Официальные оппоненты:**

1. Квон Дмитрий Харитонович - доктор физико-математических наук, профессор,  
член-корреспондент РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение  
науки Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения  
Российской академии наук, заведующий лабораторией физики низкоразмерных  
электронных систем,

2. Загороднев Игорь Витальевич - кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук, старший научный сотрудник лаборатории № 184 «Методы получения тонких пленок и пленочных структур».

Оба оппонента дали положительные отзывы на диссертационную работу Есина В.Д., заключив, что диссертационная работа Есина В.Д. является законченным научным исследованием и соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук согласно п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, а ее автор достоин присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

В качестве замечаний было отмечено, что в диссертационная работа Есина В.Д. содержит следующие недостатки: отсутствие определения механизма спиновой прецессии в ферромагнитных многослойках, неаккуратность в использовании ссылок на литературу, а также недостаточное количество данных, касающихся характеристики рассматриваемых в диссертации структур. При этом оппоненты отмечают, что высказанные замечания не снижают общей высокой положительной оценки диссертационной работы.

**Ведущая организация** - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук (ФТИ им. А.Ф. Иоффе), в своём **положительном отзыве**, подписанном доктором физико-математических наук, профессором Аверкиевым Никитой Сергеевичем, указала, что актуальность темы диссертационной работы заключается в предмете ее исследования, так как топологические полуметаллы представляют из себя новый и недостаточно изученный класс объектов. Ключевой особенностью данных материалов является нетривиальный энергетический спектр, благодаря которому в них существуют топологически защищённые поверхностные электронные состояния. При этом наличие сильной спин-орбитальной связи приводит к появлению новых нетривиальных эффектов, составляющих предмет исследования данной работы. В частности, существуют теоретические предпосылки для исследования динамики намагниченности, вызванной протеканием электрического тока большой плотности в структурах на основе топологических материалов. Таким образом, формируется одно из направлений представленной диссертации - исследование спинового диода на основе топологического материала - магнитной структуры, состоящей из двух ферромагнитных слоёв разной толщины. Вторым направлением диссертационной работы

является исследование нелинейного эффекта Холла в магнитных и немагнитных топологических полуметаллах. Существование данного эффекта в исследуемом классе материалов теоретически предсказано. Так как существование поверхностных состояний основано на отличной от нуля кривизне Берри в импульсном пространстве, то прямой демонстрацией её наличия в транспортном эксперименте служит наблюдение нелинейного эффекта Холла. Экспериментальное исследование таких систем представляется актуальным, поскольку отклик поверхностных состояний в транспортных экспериментах всё ещё не до конца изучен, и вышеупомянутые явления должны демонстрировать сложное поведение в магнитном поле.

В качестве замечаний отмечено следующее:

1. Не пояснено качественно, почему происходит возбуждение спиновых волн из поверхностного слоя при пропускании тока, и как это связано с наблюдаемыми зависимостями дифференциальной проводимости от магнитного поля.
2. Не указано, симметричны ли кривые дифференциального сопротивления по направлению пропускания тока.
3. На экспериментальных картах дифференциальной проводимости от магнитного поля и пропускаемого тока видны пики, однако из текста не ясно, с чем это связано.
4. В диссертации говорится о возбуждении магнанных мод в исследуемых структурах при пропускании тока. Почему следует их ассоциировать именно со спин-волновыми возбуждениями, а не с другими спиновыми возбуждениями (например, с коллективным стоячим колебанием спиновой плотности).
5. Не пояснена причина пороговой зависимости от величины пропускаемого тока в дифференциальном сопротивлении.

В заключительной части отзыва указывается, что замечания не снижают общей высокой оценки работы. Диссертационная работа Есина В.Д. «является законченным научным исследованием и полностью соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук согласно «Положению о присуждении ученых степеней», утвержденному постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, а её автор, Есин Варнава Денисович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. – «Физика конденсированного состояния»».

Соискатель имеет 13 опубликованных работ, из них 6 по теме диссертации, опубликованных в рецензируемых научных изданиях:

1. Multiple magnon modes in the  $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$  Weyl semimetal candidate // O.O. Shvetsov, V.D. Esin, A.V. Timonina, N.N. Kolesnikov, E.V. Deviatov, EPL, 127, 57002 (2019).

2. Spin-dependent transport through a Weyl semimetal surface // V.D. Esin, D.N. Borisenko, N.N. Kolesnikov, E.V. Deviatov, Phys. Rev. B 101, 155309 (2020).
3. Magnon modes as a joint effect of surface ferromagnetism and spin-orbit coupling in CoSi chiral topological semimetal // V.D. Esin, A.V. Timonina, N.N. Kolesnikov, E.V. Deviatov, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 540, 168488 (2021).
4. Nonlinear Hall Effect in Three-Dimensional Weyl and Dirac Semimetals // O.O. Shvetsov, V.D. Esin, A.V. Timonina, N.N. Kolesnikov, E.V. Deviatov, JETP Letters, 109, 715 (2019).
5. Second-Harmonic Voltage Response for the Magnetic Weyl Semimetal  $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$  // V.D. Esin, A.V. Timonina, N.N. Kolesnikov, E.V. Deviatov, JETP Letters, 111, pp. 685 (2020).
6. Second-Harmonic Response in Magnetic Nodal-Line Semimetal  $\text{Fe}_3\text{GeTe}_2$  // V.D. Esin, A.A. Avakyants, A.V. Timonina, N.N. Kolesnikov, E.V. Deviatov, Chin. Phys. Lett. 39 097303 (2022).

По результатам, представленным в диссертации, оформлен патент на изобретение:

«Способ изготовления контактов к тонким трёхмерным чешуйкам слоистых кристаллов», Пат. 2758577 Российская Федерация, МПК Н 01 L 31/18, Н 01 L 39/24, Н 01 L 41/29. Способ изготовления контактов к тонким трёхмерным чешуйкам слоистых кристаллов / Есин В.Д., Девятков Э.В., Орлова Н.Н., Швецов О.О.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики твёрдого тела Российской академии наук (ИФТТ РАН). – № 2021107121; заявл. 17.03.2021, опубл. 29.10.2021, Бюл. № 31. – 8 с. : 2 ил.

Диссертация не содержит недостоверных сведений об опубликованных соискателем научных работах.

На автореферат поступил один положительный отзыв от Гудиной Светланы Викторовны (кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории полупроводников и полуметаллов Института физики металлов имени М.Н. Михеева), в котором отмечается, что полученные результаты диссертации Есина В.Д. являются интересными и новыми, а саму диссертационную работу следует считать завершённой научно-квалификационной работой. В качестве замечаний отмечены использование в автореферате большого количества жаргонной терминологии и общая неаккуратность языка.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации** обосновывается тем, что официальные оппоненты и сотрудники ведущей организации являются признанными

специалистами в области электронных свойств низкоразмерных систем и магнитных материалов.

Квон Дмитрий Харитонович является ведущим специалистом в области полупроводниковых и металлических низкоразмерных электронных систем и наноструктур, и в круг его научных интересов входит изучение эффектов в системах с сильным спин-орбитальным взаимодействием, а также транспортных свойств в системах с нетривиальной топологией.

Загороднев Игорь Витальевич является ведущим специалистом в области двумерных электронных систем и тонкоплёночных структур, плазменных колебаний, а также поверхностных состояний в полупроводниках и полуметаллах.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук проводит фундаментальные, поисковые и прикладные научные исследования по различным направлениям физики конденсированного состояния. Институт является одним из общепризнанных лидеров в указанной области.

**Диссертационный совет отмечает**, что на основании выполненных соискателем исследований им разработана и запатентована технология изготовления контактов к тонким трехмерным чешуйкам слоистых кристаллов, заключающаяся в прижиге кристалла к контактам, предварительно сформированным на поверхности оксидированного кремния [Пат. 2758577].

**К наиболее существенным научным результатам относятся:**

Обнаружение новых спин-волновых возбуждений в ферромагнитном  $Co_3Sn_2S_2$  и демонстрация связи между топологически защищёнными поверхностными состояниями на полученные результаты. Также были продемонстрированы качественно одинаковые результаты на двух интерфейсных структурах с магнитным и немагнитным полуметаллами Вейля ( $Ni - WTe_2$  и  $Au - Ti_2MnAl$ ), для которых общим является только наличие поверхностных состояний. Помимо этого, впервые был обнаружен сигнал нелинейного эффекта Холла в немагнитных трёхмерных полуметаллах Вейля ( $WTe_2$ ) и Дирака ( $Cd_3As_2$ ) и подтверждена его нечётная зависимость от внешнего магнитного поля. Дополнительно обнаружена связь между сигналом нелинейного эффекта Холла и нетривиальными спиновыми текстурами в топологическом полуметалле с узловой линией ( $Fe_3GeTe_2$ ).

**Теоретическую и практическую значимость** составляют результаты экспериментальных исследований динамики намагниченности в спиновом диоде на основе топологических материалов и нелинейного эффекта Холла, которые дают понимание

вклада поверхностных состояний в транспорт заряда. Наконец, результаты проведённых исследований, потенциально, могут найти применение в области спинтроники.

Представленные результаты были получены лично автором диссертационной работы. Соискатель принимал активное участие в постановке задач и выборе методических подходов, изготовлении образцов в чистой комнате, проведении измерений, обработке и интерпретации полученных результатов, а также в подготовке и написании статей.

**Диссертационный совет** заключает, что диссертация В.Д. Есина является самостоятельной завершенной научно-квалификационной работой. Работа В.Д. Есина полностью отвечает всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в соответствии с п. 9 Положения о присуждении ученых степеней Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842.

На заседании 28 ноября 2023 г. диссертационный совет принял решение присудить В.Д. Есину ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 23 человек, из них 23 доктора наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 29 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» - 22, «против» - 0, недействительных бюллетеней - 1.

Председатель

диссертационного совета

доктор физ.-мат. наук, чл.-корр. РАН

 Левченко Александр Алексеевич

Учёный секретарь

диссертационного совета

доктор технических наук





Курлов Владимир Николаевич

29 ноября 2023 г.