

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 34.01.02
ПРИ ФЕДЕРАЛЬНОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ БЮДЖЕТНОМ
УЧРЕЖДЕНИИ НАУКИ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ
ИМ. А.Ф. ИОФФЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

Аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 30.01.2020 №

О присуждении Денисову Константину Сергеевичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Теория транспортных явлений в системах с киральным спиновым порядком» по специальности 01.04.02 – теоретическая физика принята к защите «24» октября 2019 г., протокол № 1(III), диссертационным советом 34.01.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки (ФГБУН) Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, расположенном по адресу 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.26, утвержденным 12 июля 2019 г. приказом ФТИ им. А.Ф. Иоффе №75.

Соискатель Денисов Константин Сергеевич, 1992 года рождения, с отличием окончил в 2013 г. Физико-технический факультет Санкт-Петербургского государственного политехнического университета и получил степень «бакалавра» по направлению подготовки 011200 «физика». В 2015 г. с отличием окончил Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет Российской академии наук (СПБ АУ РАН, ул. Хлопина д.8, к.3, лит. А, Санкт-Петербург, 194021) и получил степень «магистра» по направлению подготовки 03.04.02 «физика». С 2015 по 2019 гг. соискатель проходил обучение в аспирантуре при ФГБУН Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук. Соискатель занимает должность и.о. м.н.с. сектора теории электрических и оптических явлений в полупроводниках Центра физики наногетероструктур

ФГБУН Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

Диссертационная работа выполнена в ФГБУН Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, расположенном по адресу 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26.

Официальные оппоненты:

1. Доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН Арсеев Петр Иварович, главный научный сотрудник лаборатории теории твердого тела ФГБУН «Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук», 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53.
2. Доктор физико-математических наук Фраерман Андрей Александрович, заведующий отделом магнитных наноструктур «Института физики микроструктур Российской академии наук» - филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», 603950 ГСП-105, Нижегородская обл., Кстовский район, д. Афоново, ул. Академическая, д. 7.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова» (119991, г. Москва, ул. Ленинские горы, д. 1) в своем заключении, подписанном доцентом физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.ф.-м.н., Манцевичем Владимиром Николаевичем, утвержденном деканом физического факультета д.ф.-м.н., профессором Сыроевым Н.Н., дала положительный отзыв и отметила, что диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и представляет собой оригинальное и законченное научное исследование, соответствующее профилю совета 34.01.02 (специальность 01.04.02 – теоретическая физика) при ФТИ им. А.Ф. Иоффе. В отзыве приведены 4 замечания:

1. Во второй главе при рассмотрении задачи рассеяния электронов на двумерной спиновой текстуре не учитывается обратное влияние электрона на спиновое поле. В работе не пояснено, на чем

основывается такое модельное предположение и к каким изменениям в полученных в работе результатах может привести учет этого эффекта.

2. При решении задачи о рассеянии электрона на двумерной спиновой текстуре анализируется случай рассеяния одного электрона. В действительности со спиновой текстурой взаимодействует множество электронов, тогда представляется важным учитывать не только взаимодействие каждого отдельного электрона со спиновой текстурой, но и взаимодействие между электронами. Представляется важным обсудить вопрос о том, как полученные в работе результаты изменятся в случае учета электрон-электронного взаимодействия.
3. В третьей главе при построении кинетической теории топологического эффекта Холла не учитываются интерференционные эффекты, которые могут возникнуть при одновременном рассеянии электронов на немагнитных центрах и спиновой текстуре. Способны ли такие интерференционные эффекты повлиять на обнаруженный в диссертационной работе кроссовер между зарядовыми и спиновыми холловскими токами?
4. В четвертой главе при исследовании вопроса об образовании магнитного полярона сделан набор предположений, относительно параметров исследуемой системы (например, температура, толщина квантовой ямы и т.д.). Какие из параметров системы ответственны за устойчивость магнитного полярона? Допускает ли предложенная автором теория обобщение на случай произвольных параметров исследуемой системы?

Указано, что сделанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы. Полученные результаты являются новыми, актуальными и представляют значительный научный интерес. Актуальность, новизна, практическая значимость, достоверность полученных в работе результатов, а также личный вклад автора не вызывают сомнения. Основные результаты диссертационной работы неоднократно обсуждались на научных семинарах, докладывались на российских и международных конференциях, опубликованы в статьях в ведущих научных изданиях по тематике диссертационной работы, входящих в базы данных Scopus и Web of Science. Диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям Положения Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор Денисов

Константин Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обуславливается их высокой квалификацией, а также сходством тематик работ, проводимых ведущей организацией и оппонентами, с тематикой диссертационной работы. На все замечания соискателем даны исчерпывающие квалифицированные ответы.

На автореферат поступило 4 отзыва, все они положительные.

1. Отзыв доктора физико-математических наук Мельникова Александра Сергеевича, зав. лабораторией теории мезоскопических систем «Института физики микроструктур Российской академии наук» - филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (603950, Россия, Нижний Новгород, ГСП-105). Отзыв положительный, без замечаний.
2. Отзыв доктора физико-математических наук Аксеновой Елены Валентиновны, профессора кафедры статистической физики ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет (198504, Россия, Санкт-Петербург, Старый Петергоф, ул. Ульяновская д.3). Отзыв положительный, без замечаний.
3. Отзыв доктора физико-математических наук Юговой Ирины Анатольевны, профессора кафедры физики твердого тела ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет (198504, Россия, Санкт-Петербург, Старый Петергоф, ул. Ульяновская д.1). Отзыв положительный, без замечаний.
4. Отзыв кандидата физико-математических наук Храпая Вадима Сергеевича, зав. лабораторией электронной кинетики Института физики твердого тела РАН (142432, Россия, Московская область, Черноголовка, ул. Академика Осипьяна д.2). Отзыв положительный, замечание:

Не удалось обнаружить в автореферате упоминание феномена скирмионного эффекта Холла, состоящего в получении магнитным скирмионом компоненты скорости поперечной электрическому току в системе. На качественном уровне, кажется, что этот эффект должен быть напрямую связан с топологическим эффектом Холла для электронов проводимости

(например, вследствие закона сохранения импульса). Такое рассуждение наводит еще и на вопрос об упругости рассеяния электронов проводимости на спиновой текстуре, что, насколько я понимаю, подразумевается, но не обсуждается в автореферате.

Диссертационный совет отмечает, что на **основании выполненных соискателем исследований** решен ряд теоретических задач, которые являются актуальными для физики твердого тела. С помощью современных методов теоретической физики был установлен **ряд фундаментальных результатов**:

- 1) Установлено, что приложение внешнего электрического поля к системе с киральными спиновыми текстурами приводит к поперечному электрическому току в режиме слабой связи электронного спина с полем киральной намагниченности даже при нулевой спиновой поляризации электронного газа.
- 2) Продemonстрировано существование спинового и зарядового режимов топологического эффекта Холла и показано, что переключение между этими режимами, обусловленное изменением размера спиновых текстур, сопровождается осцилляционными особенностями поперечных спинового и зарядового токов в зависимости от величины адиабатического параметра.
- 3) Показано, что в случае, когда размер магнитных скирмионов существенно превышает фермиевскую длину волны вырожденного электронного газа, возникает спиновый поперечный ток, амплитуда которого определяется топологическим индексом скирмионов и не зависит от их размера.
- 4) Предложены универсальные механизмы формирования киральных спиновых текстур в квантовых ямах неупорядоченных магнитных полупроводников и на поверхности трехмерных топологических изоляторов.

Практическая значимость состоит в следующем:

- 1) Разработана теория транспортных явлений и топологического эффекта Холла в системах с киральным спиновым порядком; в частности получены выражения для электросопротивления, необходимые при обработке данных, получаемых в экспериментальных исследованиях таких систем.

- 2) Развита техника точного решения задачи рассеяния электрона на киральных спиновых текстурах. Разработанная схема позволяет численно рассчитывать сечение рассеяния и исследовать его асимметричную часть в случае произвольного профиля спиновых текстур.
- 3) Показано, что структуры на основе разбавленных магнитных полупроводников подвержены образованию киральных конфигураций магнитных примесей, что существенным образом отражается на транспортных свойствах таких систем.

Диссертация является законченным, последовательным и внутренне согласованным научным трудом, имеющим фундаментальное значение.

Достоверность и надежность результатов.

Основные положения и выводы диссертации надежно обоснованы. При их получении использовались хорошо апробированные современные теоретические методы. Результаты работы опубликованы в авторитетных рецензируемых ~~международных~~ журналах, докладывались на ведущих научных семинарах ФТИ им. А.Ф. Иоффе и других учреждений.

Апробация работы. Результаты исследований, вошедших в диссертацию, докладывались соискателем на следующих конференциях: International Conference and School Single Dopants (Санкт-Петербург, 2014), 11-th International School on theoretical physics "Symmetry and structural properties of condensed matter" (Жешув, Польша, 2014), 17-я Всероссийская молодежная конференция по физике полупроводников и наноструктур, опто- и нано-электронике (Санкт-Петербург, 2015), 21-я уральская международная зимняя школа по физике полупроводников (Алапаевск, 2016), IEEE international magnetism conference INTERMAG Europe 2017 (Дублин, Ирландия, 2017), XIII-я Российская конференция по физике полупроводников (Екатеринбург, 2017), MISM-2017 (Москва, 2017), Зимняя школа по физике полупроводников (Зеленогорск, 2018), Spin Waves 2018 (Санкт-Петербург, 2018), 23-th international conference on High Magnetic Fields in Semiconductors (Тулуза, Франция, 2018), ICPS-2018 (Монпелье, Франция, 2018), Frontiers of 21-th century and Ioffe Institute (Санкт-Петербург, 2018), Совещание по теории твердого тела (Санкт-Петербург, 2019), 48th International School and Conference on the Physics of Semiconductors "Jaszowiec 2019" (Щирк, Польша, 2019), SPIE Spintronics XII (Сан-Диего, США, 2019), Российская конференция по физике полупроводников (Новосибирск, 2019). Результаты исследований также обсуждались на семинарах ФТИ им. А.Ф.

Иоффе (Санкт-Петербург), Физического института академии наук и Московского государственного университета (Москва).

По результатам исследований, составляющих содержание диссертации, опубликовано 8 научных работ в журналах, включенных в систему цитирования Web of Science (в скобках указан личный вклад автора). Наиболее важные из них следующие:

1. Denisov K.S., Rozhansky I.V., Averkiev N.S. and Lahderanta E. Electron scattering on a magnetic skyrmion in the non-adiabatic approximation. Phys. Rev. Lett. 117 027202 (2016)

(Постановка задачи, анализ асимметричного рассеяния и холловского сопротивления).

2. Denisov K.S., Rozhansky I.V., Averkiev N.S. et al. A nontrivial crossover in topological Hall effect regimes, Scientific Reports 17204 (2017)

(Постановка задачи, точное вычисление параметров рассеяния, обнаружение существования спинового и зарядового режимов топологического эффекта Холла).

3. Денисов К.С., Аверкиев Н.С., Особенности намагниченности двумерного разбавленного магнитного полупроводника с сильным спин-орбитальным взаимодействием, Письма в ЖЭТФ, 99(7), 467 (2014) (Определение киральной структуры магнитного полярона и критических значений внешнего магнитного поля и температуры).

4. Denisov K.S., Rozhansky I.V., Averkiev N.S., et al. General Theory of the Topological Hall effect in systems with chiral spin textures, Physical Review B 98 195439 (2018)

(Расчет холловского сопротивления в случае произвольной величины адиабатического параметра).

5. Denisov K.S., Rozhansky I.V., Averkiev N.S., and Lahderanta E. Chiral spin ordering of electron gas in solids with broken time reversal symmetry, Scientific Reports 17204 (2019)

(Определение зависимости топологического эффекта Холла от внешнего магнитного поля).

На заседании 30 января 2020 г. диссертационный совет принял решение присудить Денисову К.С. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационного совета в количестве 18 человек, из них — докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, проголосовали:

За присуждение Денисову Константину Сергеевичу ученой степени кандидата физико-математических наук

подано голосов — 18.

Против — 0.

Недействительных бюллетеней — 0.

Председатель диссертационного совета,

Академик РАН, доктор физ.-мат. наук, профессор

Сурис Роберт Арнольдович

Ученый секретарь диссертационного совета,

доктор физ.-мат. наук

Сорокин Лев Михайлович

30 января 2020 г.