

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.133.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ФИЗИКИ  
МЕТАЛЛОВ ИМЕНИ М.Н. МИХЕЕВА УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИФМ УрО РАН)  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ  
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ  
НАУК**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 28.06.2024, №5

О присуждении Ясюлевичу Ивану Алексеевичу, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Электрический и спиновый транспорт в хиральных гелимагнетиках и гетероструктурах на их основе» по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений принята к защите 26.04.2024, протокол №3, диссертационным советом 24.1.133.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук (ИФМ УрО РАН), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 620108, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18, приказы Минобрнауки РФ № 714/нк от 02.11.2012 и № 188/нк от 26.02.2015.

Соискатель Ясюлевич Иван Алексеевич, 1992 года рождения, в 2014 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ) по специальности «Физика». Ясюлевич И.А. с 2014 года по 2017 год обучался в аспирантуре при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Уральский федеральный



университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», в настоящее время работает в должности младшего научного сотрудника в лаборатории квантовой наноспинтроники ИФМ УрО РАН.

Диссертация выполнена в лаборатории квантовой наноспинтроники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург.

Научный руководитель – академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор Устинов Владимир Васильевич, научный руководитель института ФГБУН Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург.

Официальные оппоненты:

1) Соколовский Владимир Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры физики конденсированного состояния ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», г. Челябинск;

2) Бострем Ирина Геннадьевна, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры теоретической и математической физики Института Естественных наук и Математики ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург

– дали положительные отзывы на диссертацию Ясюлевича И.А.

Ведущая организация Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», г. Казань в своем положительном заключении, подписанным Тагировым Ленаром Рафгатовичем, доктором физико-математических наук, профессором, ведущим научным сотрудником лаборатории нелинейной



оптики, указала, что «Диссертационная работа И.А. Ясюлевича представляет собой цельное теоретическое исследование, выполненное на высоком научном уровне. Работа обладает значительной научной и практической значимостью.

Диссертация И.А. Ясюлевича «Электрический и спиновый транспорт в хиральных гелимагнетиках и гетероструктурах на их основе» отвечает всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 (с последующими изменениями) и предъявляемым к кандидатским диссертациям, а сам диссертант – Ясюлевич Иван Алексеевич – несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений.»

Соискатель имеет 26 опубликованных работ (19.1 печатных листов), в том числе по теме диссертации 18 работ, из них статей, опубликованных в рецензируемых российских и зарубежных научных изданиях и входящих в перечень ВАК – 8, тезисов докладов в материалах российских и международных конференций – 10.

В результате проведенных исследований автором была построена теория электрического и спинового транспорта в хиральных гелимагнетиках и гетероструктурах на их основе.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Ясюлевич, И. А. Инжекция чисто спинового тока в гелимагнетик / И. А. Ясюлевич, Н. Г. Бебенин, В. В. Устинов. – Текст: непосредственный // ЖЭТФ. – 2023. – Т. 163. – № 4. – С. 574-584.

2. Устинов, В. В. Передача спинового момента и нелинейный квантовый электронный транспорт в хиральных гелимагнетиках / В. В. Устинов, И. А. Ясюлевич. – Текст: непосредственный // ЖЭТФ. – 2023. – Т. 164. – № 4. – С. 491-502.

3. Устинов, В. В. Хиральная спин-орбитроника гетероперехода гелимагнетик – нормальный металл / В. В. Устинов, И. А. Ясюлевич, Н. Г.



Бибенин. – Текст: непосредственный // Физ. мет. и металловед. – 2023. – Т. 124. – № 2. – С. 204-213.

4. Ustinov, V. V. Playing pure spin current in helimagnets: toward chiral spin-orbitronics / V. V. Ustinov, I. A. Yasyulevich, N. G. Bebenin. – Текст: непосредственный // Phys. Met. Metallogr. – 2023. – V. 124. – No. 14. – P. 1745-1767.

5. Ustinov, V. V. Chirality-dependent spin-transfer torque and current-induced spin rotation in helimagnets / V. V. Ustinov, I. A. Yasyulevich. – Текст: непосредственный // Phys. Rev. B. – 2022. – Vol. 106. – № 6. – P. 064417 (1-12).

6. Ustinov, V. V. Electrical magnetochiral effect and kinetic magnetoelectric effect induced by chiral exchange field in helical magnetics / V. V. Ustinov, I. A. Yasyulevich. – Текст: непосредственный // Phys. Rev. B. – 2020. – Vol. 102. – № 13. – P. 134431 (1-11).

7. Устинов, В. В. Электронный спиновый ток и спин-зависимые гальваномагнитные явления в металлах / В. В. Устинов, И. А. Ясюлевич. – Текст: непосредственный // Физ. мет. и металловед. – 2020. – Т. 121. – № 3. – С.257-269.

8. Ustinov, V. Spin current polarization and electrical conductivity in metal helimagnets / V. Ustinov, N. Bebenin, I. Yasyulevich. – Текст: непосредственный // J. Phys.: Conf. Ser. – 2019. – Vol. 1389. – № 1. – P. 012151 (1-6).

На диссертацию и автореферат поступило 6 отзывов:

1. От Муртазаева Акая Курбановича, члена-корреспондента РАН, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего лабораторией вычислительной физики и физики фазовых переходов института физики имени Х.И. Амирханова Дагестанского федерального исследовательского центра РАН, директора Дагестанского федерального исследовательского центра РАН, г. Махачкала.

Без замечаний.



2. От Фраермана Андрея Александровича, доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника отдела магнитных наноструктур института физики микроструктур РАН, г. Нижний Новгород.

Замечание 1: «Во-первых, метод квазиклассических уравнений широко используется для описания транспортных свойств магнитных систем. Здесь можно указать на работы по теории аномального эффекта Холла [N.A. Sinitsyn, Semiclassical theories of the anomalous Hall effect, J. Phys.: Cond. Matt. 20 (2008) 023201] и теории топологического эффекта Холла [K. S. Denisov et al, Electron Scattering on a Magnetic Skyrmion in the Nonadiabatic Approximation, PRL 117, 027202 (2016)]. К сожалению, эти известные работы не упоминаются в автореферате. Отсутствует и сравнительный анализ использованных диссертантом уравнений и аналогичного подхода в цитированных работах.»

Замечание 2: «Во-вторых, формулировки положений, выносимых на защиту, и основных результатов в недостаточной степени раскрывают оригинальность и новизну полученных в диссертации результатов. Действительно, диодный эффект в некомпланарной спирали, возникновение намагниченности у электронного газа в неравновесных условиях протекания через гелимагнетик электрического тока и, связанный с этим эффект вращения магнитной спирали были известны до работ диссертанта. Поэтому важно было бы отметить отличия в описании этих эффектов, полученные в диссертации, от результатов предыдущих работ и сравнить вновь полученные результаты с имеющимися экспериментами.»

3. От Камилова Ибрагимхана Камиловича, члена-корреспондента РАН, доктора физико-математических наук, профессора, главного научного сотрудника лаборатории физики низких температур и магнетизма института физики имени Х.И. Амирханова Дагестанского федерального исследовательского центра РАН, г. Махачкала.

Без замечаний.

4. От Самардака Александра Сергеевича, доктора физико-математических наук, профессора ДВО РАН, исполняющего обязанности ректора Сахалинского государственного университета, г. Южно-Сахалинск.

Без замечаний.



5. От Грановского Александра Борисовича, доктора физико-математических наук, профессора, профессора кафедры магнетизма Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, г. Москва.

Без замечаний.

6. От Григорьева Сергея Валентиновича, доктора физико-математических наук, профессора, главного научного сотрудника лаборатории физики неупорядоченного состояния Петербургского института ядерной физики имени Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский Институт», г. Гатчина.

Без замечаний.

Выбор официальных оппонентов доктора физико-математических наук В.В. Соколовского и кандидата физико-математических наук И.Г. Бострем, а также ведущей организации Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», г. Казань, обосновывается публикациями оппонентов, тематикой структурного подразделения ведущей организации, относящимися к сфере исследований, которым посвящена диссертация.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

1. Построена квантовая теория электронного спинового транспорта, пригодная для описания гальваномагнитных явлений в металлах и полупроводниках, которые обусловлены наличием электрического заряда и спинового момента у электронов проводимости, включая как известные эффекты – магнетосопротивление, эффект Холла и спиновый эффект Холла, так и не описанные ранее эффекты, обусловленные неоднородностями внешнего



магнитного поля и/или внутренних полей обменного происхождения, связанных со спецификой магнитной структуры хиральных гелимагнетиков.

2. С помощью построенной теории было продемонстрировано, что взаимодействие спинов электронов проводимости с пространственно-неоднородным эффективным магнитным полем обменного происхождения в хиральных гелимагнетиках даёт объяснение двум спин-транспортным эффектам: электрическому магнитохиральному эффекту и кинетическому магнитоэлектрическому эффекту. Определены условия экспериментального наблюдения явления резонансного усиления этих спиновых эффектов до гигантских величин, которое можно назвать «магнитохиральным кинетическим резонансом».

3. Построена теория эффекта передачи спинового момента в проводящих хиральных гелимагнетиках. Показано, что передача спинового момента в хиральных гелимагнетиках приводит к вращению спирали намагниченности гелимагнетика вокруг её оси под действием протекающего электрического тока. Найдена частота такого вращения, которая выражена через параметры квантового обменного гамильтониана, задающего геликоидальное магнитное упорядочение в проводящем кристалле.

4. Описано влияние эффекта передачи спинового момента на электросопротивление проводящих хиральных гелимагнетиков. Установлено, что при возникновении вращения спиновой спирали под действием протекающего электрического тока электросопротивление гелимагнетика будет всегда меньше сопротивления гелимагнетика, в котором спиновая спираль неподвижна. Показано, что величина электросопротивления в условиях передачи спинового момента зависит от величины интеграла обменного взаимодействия и от релаксационных характеристик спиновых систем электронов проводимости и локализованных электронов.

5. Описана инжекция в гелимагнетик чисто спинового тока, возникающего в немагнитном металле как проявление спинового эффекта Холла. Найдено



пространственное распределение поляризации спинового тока, инжектированного в гелимагнетик, и определены характерные длины затухания различных компонент вектора поляризации спинового тока. Предсказано существование «эффекта хиральной поляризации чисто спинового тока», который заключается в возникновении в гелимагнетике продольно-поляризованного (относительно оси спирали) чисто спинового тока и продольной компоненты неравновесной намагниченности электронов, зависящих от хиральности спирали гелимагнетика, при инжекции из немагнитного металла поперечно-поляризованного чисто спинового тока.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что** разработанная квантовая теория, учитывающая неоднородности магнитного поля, действующего на спины электронов проводимости, позволяет предсказывать и исследовать новые спин-транспортные эффекты и гальваномагнитные явления в металлах и полупроводниках со сложной магнитной структурой.

Построенная теория может быть использована при проектировании спиновых устройств, в которых хиральные проводящие гелимагнетики будут использованы как функциональный компонент.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что** описанная теоретически связь электросопротивления и намагниченности электронов проводимости с хиральностью может быть использована для определения параметров хиральности гелимагнетиков по результатам гальваномагнитных экспериментов.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила, что** достоверность результатов, полученных в диссертационной работе, обеспечивается обоснованным выбором физических приближений, использованием широко апробированных методов и подходов для описания



кинетики исследованных процессов, а также согласием с экспериментальными данными и данными предыдущих теоретических работ.

**Личный вклад соискателя состоит в** проведении представленных в диссертационной работе численных и аналитических расчётов электрического магнитохирального эффекта, частоты вращения спирали намагниченности гелимагнетика под действием эффекта передачи спинового момента и поляризации спинового тока, инжектированного в гелимагнетик из немагнитного металла с сильным спин-орбитальным взаимодействием.

Результаты, изложенные в работе, получены автором под руководством академика РАН, доктора физико-математических наук, профессора Устинова Владимира Васильевича. Автор совместно с научным руководителем участвовал в постановке задач, выборе методов их решения, а также в анализе и интерпретации полученных результатов. Совместно с руководителем доктором физико-математических наук Устиновым В.В. и соавтором доктором физико-математических наук Бебениным Н.Г. автор готовил статьи и тезисы докладов к публикации. Результаты исследований неоднократно докладывались лично автором на всероссийских и международных конференциях. Все представленные в диссертации результаты получены при непосредственном участии автора.

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, посвящённую построению теории электрического и спинового транспорта в хиральных гелимагнетиках и гетероструктурах на их основе, и соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней» в редакции, утверждённой Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 с последующими изменениями.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

На заседании 28.06.2024, проведённом в очном режиме, диссертационный совет принял решение присудить Ясюлевичу Ивану Алексеевичу учёную степень кандидата физико-математических наук.



При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации 1.3.12. Физика магнитных явлений, 6 докторов наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния, 5 докторов наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту – нет, проголосовали: «за» – 17, «против» – нет, «воздержался» – нет.

Председатель заседания, заместитель  
председателя диссертационного совета,  
доктор физ.-мат. наук

А.П. Носов

Ученый секретарь диссертационного совета,  
доктор физ.-мат. наук

Т.Б. Чарикова

1 июля 2024 г.