

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 004.003.01 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 ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 14.12.2018, №15

О присуждении ОКОРОКОВУ Михаилу Сергеевичу, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Спин-термические эффекты в гибридных наноструктурах металл (полупроводник)/ ферромагнитный диэлектрик» по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений принята к защите 02.10.2018, протокол № 10 диссертационным советом Д004.003.01 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 Окорочков Михаил Сергеевич, 1990 года рождения, в 2013 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по направлению «прикладные математика и физика», освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в очной аспирантуре при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской

Академии наук, год окончания аспирантуры 2017, работает в должности младшего научного сотрудника в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в лаборатории квантовой наноспинтроники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Ляпилин Игорь Иванович, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, лаборатория квантовой наноспинтроники.

Официальные оппоненты:

1. Медведев Михаил Владимирович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории теоретической физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института электрофизики Уральского отделения Российской академии наук (ИЭФ УрО РАН), г. Екатеринбург;

2. Митрофанов Валентин Яковлевич, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории статики и кинетики процессов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института металлургии Уральского отделения Российской академии наук (Имет УрО РАН), г. Екатеринбург;

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова» (МГУ), г. Москва, в

своим положительным заключении, подписанном Перовым Николаем Сергеевичем, доктором физико-математических наук, заведующим кафедрой магнетизма, профессором и Грановским Александром Борисовичем, доктором физико-математических наук, профессором, указала, что диссертационная работа Огорокова М.С. «является законченной научно-квалификационной работой, результаты которой имеют существенное значение для развития отечественной и мировой науки. По объему выполненных исследований, их актуальности и научному уровню диссертационная работа отвечает всем требованиям (п. П. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.) к диссертациям, представленным на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а Огороков Михаил Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений».

Соискатель имеет 36 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 36 работ, из них статей, опубликованных в рецензируемых российских и зарубежных научных изданиях - 7, тезисов докладов в материалах всероссийских и международных конференций – 29. Общий объем научных изданий 6.6 печатных листов. Автором развита микроскопическая теория спин-термических эффектов в гетероструктурах металл (полупроводник)/ ферромагнитный диэлектрик; предложен новый резонансный метод генерации спин-волнового тока; развит новый подход к описанию эффектов увлечения, реализуемых в данных структурах. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Spin effects induced by thermal perturbation in a normal metal/magnetic insulator system / I. I. Lyapilin, M. S. Okorokov, V. V. Ustinov // Physical Review B. – 2015. – V. 91. – P. 195309.

2. Resonant Excitation of the Spin-Wave Current in Hybrid Nanostructures / I. I. Lyapilin, M.S. Okorokov, N.G. Bebenin // Applied Magnetic Resonance. – 2016. – V. 47. – P. 1179–1191.

3. Динамическая генерация спин-волнового тока в гибридных структурах / И. И. Ляпилин, М.С. Окорокров // Физика и техника полупроводников. – 2016. – Т. 50. – С. 1537–1543.

(перевод) Dynamic generation of spin-wave currents in hybrid structures / I. I. Lyapilin, M.S. Okorokov // Semiconductors. – 2016. – V. 50. – P. 1515–1520.

4. Resonance excitation of the spin-wave current in hybrid structures / I. I. Lyapilin, M.S. Okorokov, N.G. Bebenin // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2017. – V. 440. – P. 87-88.

5. Dynamic spin-current generation in hybrid structures by sound wave / M. S. Okorokov, I. I. Lyapilin, V. V. Ustinov // Low Temperature Physics. – 2017. – V. 43. – P. 442–448.

(перевод) Dynamic spin-current generation in hybrid structures by sound wave / M. S. Okorokov, I. I. Lyapilin, V. V. Ustinov // Физика низких температур. – 2017. – V. 43. – P. 552–559.

6. The influence of “injected” and “thermal” magnons on a spin wave current and drag effect in hybrid structures / I. I. Lyapilin, M. S. Okorokov // EPJ Web of Conferences. – 2018. – V. 185. – P. 1022–1025.

7. Effect of Magnon–Magnon Drag on Spin-Wave Current in Metal/Magnetic-Insulator Structures / I. I. Lyapilin, M. S. Okorokov // Fizika Metallov i Metallovedenie. – 2018. – V. 119. – P. 1091–1095.

(перевод) Effect of Magnon–Magnon Drag on Spin-Wave Current in Metal/Magnetic-Insulator Structures / I. I. Lyapilin, M. S. Okorokov // Physics of Metals and Metallography. – 2018. – V. 119. – P. 1031–1035.

На диссертацию и автореферат поступило 10 отзывов. Все отзывы положительные. В них отмечается актуальность темы диссертационной работы, научная новизна полученных результатов, их теоретическая и практическая значимость. Отзывы без замечаний поступили: от Дзедисашвили Дмитрия Михайловича доктора физ.-мат. наук, заведующего лабораторией теоретической физики Института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск; от Зверева Владимира Владимировича доктора физ.-мат. наук, профессора кафедры теоретической физики и прикладной математики ФГАУ ВО «Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург; от Мазуренко Владимира Гавриловича доктора физ.-мат. наук, профессора, заведующего кафедрой теоретической физики и прикладной математики физико-технологического института ФГАУ ВО «Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург; от Москвина Александра Сергеевича доктора физ.-мат. наук, профессора кафедры теоретической и математической физики ФГАУ ВО «Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург; от Пудонина Федора Алексеевича доктора физ.-мат. наук, главного научного сотрудника, исполняющего обязанности заведующего лабораторией Физики неравновесных явлений в неоднородных системах ФИАН ФГБУН Физического института им. П.Н.Лебедева Российской академии наук, г. Москва; от Валькова Валерия Владимировича доктора физ.-мат. наук, главного научного сотрудника института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск; от Памятных Евгения Алексеевича доктора физ.-мат. наук, профессора кафедры теоретической и математической физики Института естественных наук и математики Уральского федерального университета, г. Екатеринбург.

Замечания содержатся в отзыве Аплеснина Сергея Степановича доктора физ.-мат. наук, профессора, заведующего кафедрой физики СибГУ им. М.Ф. Решетнева, г. Красноярск.

Замечания: В автореферате непонятно утверждение на стр. 9 «Среди различных механизмов, ответственных за спиновое поглощение ультразвука свободными электронами кристаллов можно указать взаимодействие электронного спина с переменным магнитным полем, сопровождающим звуковую волну». Каким образом колебания плотности в кристалле индуцируют переменное магнитное поле?

Замечания содержатся в отзыве Ауслендера Марка Ильича кандидата физ.-мат. наук, адъюнкт-профессора отделения электрической и компьютерной инженерии Университета имени Бен-Гуриона, Израиль.

Замечания: Из недостатков автореферата, я бы отметил отсутствие обсуждения того, как автор описывает «чистые» состояния, т.е. решает квантово-механическую задачу для рассматриваемой гибридной системы. Без этого трудно понять как строятся вторично-квантованные операторы потоков. Также нет обоснования того, почему для описания спин-термических выбрана только продольная компонента спиновой плотности.

Замечания содержатся в отзыве Прошина Юрия Николаевича доктора физ.-мат. наук, профессора, заведующего кафедрой теоретической физики Института физики Казанского (Приволжского) федерального университета, г. Казань.

Замечания: «не совсем понятно и немного обидно, почему ссылка на статью в уважаемом журнале «Физика металлов и металловедение», написанной на русском языке и имеющей русскоязычные выходные данные, приводится на английском языке и с применением латиницы [A7].

Я не буду говорить, про запятые, которые появляются (исчезают) по причинам, не связанными ни с какими правилами. То же (раздельно!)

касается и многократного употребления союза «также» в отдельной форме «так же», что превращает его в наречие и имеет совершенно другой смысл. Не буду упоминать и о появлении на первой странице автореферата упоминаний об эффектах Нерста и Пельте. Физиков с такими фамилиями в русскоязычной научной литературе мне найти не удалось.

Не буду также (слитно!) писать о стилистических особенностях текста и о засилье англоязычных терминов, один «пампинг» чего стоит! Отмечу только, что, на мой взгляд, термин «спиновый угловой момент» не понятен и явно избыточен – это масло масляное, намазанное маслом, поскольку спин – это уже собственный механический момент».

1. С моей точки зрения, термин «частота релаксации», используемый в автореферате диссертации, является неудачным, поскольку этот термин неявно ведет к неправильному представлению, что релаксация является периодическим процессом. Лучше использовать стандартный термин, который так же встречается в тексте (но значительно реже) - «обратное время релаксации».

2. В конце последнего пункта, раздела «Научная новизна автореферата», говорится об описании немонотонной зависимости спинового коэффициента Зеебека. В последней фразе автореферата так же говорится о согласии развитой в диссертации теории и результатов экспериментальных работ по изучению магнитотермических эффектов в гибридных структурах. К сожалению, в основном тексте автореферата, описывающем полученные результаты по главам, я не нашел каких либо сравнений теории и эксперимента. Более того, в тексте нет ни одной ссылки на «чужие» работы, в том числе и экспериментальные!

3. Во всех трех рисунках, приведенных в автореферате, используются серые полутона и очень мелкий шрифт, что приводит к невозможности что то разглядеть в бумажной версии. При обращении к электронной версии и

достаточном ее увеличении выяснилось, что рис.1 значительно богаче по содержанию своего печатного варианта (есть дополнительные «электроны» и «фонон», есть слово interface и обозначение для ферромагнитного изолятора). В печатном варианте в рис. 2 плохо различимы символы и индексы, и, как выяснилось при сравнении с электронным оригиналом вообще полностью пропала левая часть рисунка, а в центре не видны ключевые слова «когерентные» и «термические». В рис. 3 кроме нечитаемых символов с индексами есть и принципиальный вопрос о масштабе осей. Особенно это касается горизонтальной оси «временных промежутков» (так написано в тексте у автора!): одинаковы ли эти промежутки для всех трех графиков, или на крайнем правом он почти в два раза больше? И почему?

4. На стр. 17 автореферата, после формулы (13) говорится, «что пропорциональность среднего значения спина магнонов поглощенной полупроводником мощности внешних полей приводит к генерации момента в ферромагнетике резонансным образом». Это важный вывод, но из формулы (12), приведенной чуть выше непонятно откуда возникает эта «пропорциональность», поскольку из (12) следует линейная зависимость среднего значения спина $\langle S_z \rangle$ поглощенной мощности Q : $\langle S_z \rangle \sim A + B \cdot Q$, где A и B – некие параметры.

5. И, наконец, я бы сократил, число Положений, выносимых на защиту, попарно объединив 3 и 4, а также 5 и 6 пункты. Это бы не изменило основных выводов работы, но привело бы к большей значимости каждого из получившихся четырех пунктов. Кстати, это соответствует тому, что автор в Заключение привел именно четыре основных результата работы.

Выбор официальных оппонентов доктора физ.-мат. наук М.В. Медведева, доктора физ.-мат. наук В.Я. Митрофанова и ведущей организации 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. Развита линейная микроскопическая теория термо-спиновых эффектов в гибридной наноструктуре нормальный металл/ ферромагнитный изолятор, позволяющая в рамках единого подхода описать спиновую диффузию, спиновую накачку, перенос спинового вращательного момента и спиновый эффект Зеебека.

2. Показано, что величина и направление спинового тока через интерфейс между металлической и ферромагнитной подсистемами зависят от разности температур подсистем, спиновой аккумуляции в металле и величины химического потенциала магнонов вблизи интерфейса. На распространение спин-волнового тока в ферромагнетике влияют как градиенты температур и химического потенциала магнонов, так и разность температур магнонной и фононной подсистем. Получены общие выражения для обратных времен релаксации.

3. Предложен и изучен метод резонансного возбуждения спин-волнового тока в структуре полупроводник/ферромагнитный изолятор электромагнитными и звуковыми полями, возбуждающими электроны проводимости. Показано, что спин-волновой ток, реализуемый в условиях резонансного возбуждения электронов проводимости, сам проявляет резонансный характер.

4. Рассмотрены эффекты увлечения в ферромагнитном изоляторе в рамках предложенной и изученной модели трех потоков.

5. Найдены общие выражения для кинетических коэффициентов, определяющих спин-термические эффекты, в форме квантовых корреляционных функций.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что развита квантовая теория микроскопического описания поведения спина в гибридных структурах металл (полупроводник)/ферромагнитный изолятор, а также предложен метод динамической генерации спин-волнового тока, в

основе которого лежит влияние резонансного возбуждения электронов проводимости в данных системах.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что результаты работы могут быть использованы при анализе экспериментальных данных для гибридных наноструктур и устройств спинтроники. Предложены модели устройств типа «спиновой антенны» и «спиновой батареи».

Достоверность полученных результатов обеспечивается как применением стандартных методов вычислений, так и сопоставлением, где это было возможно, общих выводов данной работы с результатами, полученными при изучении спинового эффекта Зеебека другими авторами.

Личный вклад автора

Вошедшие в диссертацию результаты получены автором под научным руководством доктора физико-математических наук, профессора И.И. Ляпилина. Автор совместно с руководителем принимал активное участие как в формулировке новых рассмотренных моделей, так и в разработке общей теории и анализе результатов. Огороковым М.С. лично были проведены все представленные расчеты, включающие построение выражений для операторов энтропии, нахождение операторов неравновесного распределения по методу неравновесного статистического оператора, на основе которых в дальнейшем строились системы уравнений динамики средних значений плотностей спина и импульса, нахождение связей между микро- и макро-параметрами, рассматриваемыми в каждом случае, решение систем в пространственно однородном случае, и, наконец, нахождение выражений для частот релаксации спина и импульса, связанных с определенными механизмами рассеяния.

Представленная диссертационная работа является комплексным завершённым исследованием, выполнена на высоком научном уровне и обладает практической ценностью. Основные выводы и положения работы научно обоснованы и хорошо аргументированы. В диссертационной работе

развит подход единого теоретического описания спин-термических эффектов в гетероструктурах металл (полупроводник)/ферромагнитный диэлектрик, включающий в себя, как методы генерации спин-волнового тока, так и новый подход к описанию эффектов увлечения, реализуемых в данных структурах.

Диссертация представляет собой научно-квалификационную работу и соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 с изменениями от 21.04.2016 г. № 335.

На заседании 14.12.2018 года диссертационный совет принял решение присудить ОКОРОКОВУ Михаилу Сергеевичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 - Физика магнитных явлений.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации 01.04.11 - Физика магнитных явлений, 6 докторов наук по специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния, 5 докторов наук по специальности 05.16.01 - Металловедение и термическая обработка металлов, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту - нет, проголосовали: за - 16, против - 1, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель диссертационного совета,
доктор физ.-мат. наук, академик РАН

В.В. Устинов

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

Т.Б. Чарикова

18 декабря 2018 г.