



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»**
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

ул. Профессора Попова, д.5 литера Ф, Санкт-Петербург, 197022
Телефон: (812) 234-46-51; факс: (812) 346-27-58; e-mail: info@etu.ru; <https://etu.ru>
ОКПО 02068539; ОГРН 1027806875381; ИНН/КПП 7813045402/781301001

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и инновационной
деятельности СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

д.т.н. доцент Семенов А.А.

_____ 2026 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
на диссертационную работу

Филатова Ярослава Александровича

«Управление спектральным составом лазерно-индуцированных спиновых волн в пленках железа и ферритов-гранатов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния

1. Актуальность научной работы

Диссертационная работа Филатова Я.А. посвящена актуальной проблеме магноники – управлению спектральным составом спиновых волн с использованием фемтосекундного лазерного излучения. Возможность гибко контролировать частоту, волновое число и пространственную форму волновых пакетов необходима для создания энергоэффективных магнонных вычислительных устройств, в том числе на основе нейроморфных и резервуарных архитектур. В работе предложены новые экспериментальные и теоретические подходы к управлению спектральными характеристиками спиновых волн в модельных средах – эпитаксиальных плёнках железа и ферритов-гранатов. Полученные результаты имеют как фундаментальное значение для понимания особенностей возбуждения и распространения волновых пакетов спиновых волн, так и практическую ценность для разработки магнонных компонентов.

2. Состав и содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Полный объем диссертации 150 страниц, включая 27 рисунков и 1 таблицу.

Первая глава содержит обзор литературы современного состояния вычислительной магноники в контексте вычислительных подходов, альтернативных технологиям электроники. В главе изложены основные направления развития магноники, перечислены достоинства по сравнению с аналогами, а также ограничения, возможности и перспективы разработки магнонных вычислительных устройств.

Во второй главе на примере поверхностных магнитостатических волн в плёнках Fe показано, что широкополосные волновые пакеты, возбуждаемые сверхбыстрым термическим изменением анизотропии, испытывают линейную частотную модуляцию (чирп) вследствие дисперсии групповой скорости. Параметр чирпа охарактеризован с помощью вейвлет-преобразования. Получено аналитическое выражение, связывающее чирп с пройденным волной расстоянием и дисперсией групповой скорости. Показано влияние кубической магнитной анизотропии на спектральную эволюцию при распространении волновых пакетов.

Третья глава посвящена возбуждению спиновых волн серией пространственно-периодических лазерных импульсов. Выполнен Фурье-анализ одномерных периодических решёток (униполярных и биполярных), моделирующих сверхбыстрое изменение анизотропии или обратный эффект Фарадея. Показано, что пространственный период задаёт квазидискретный набор волновых чисел, причём униполярное воздействие возбуждает чётные моды, а биполярное – нечётные. Результаты подтверждены микромагнитным моделированием для плёнки феррита-граната, демонстрирующим возможность гибкого управления спектром за счёт выбора периода и типа воздействия.

В четвертой главе представлен новый механизм генерации обменных спиновых волн – магнонный эффект Вавилова–Черенкова. Экспериментально показано, что пикосекундный импульс продольной деформации, возбуждаемый фемтосекундным лазером в структуре золото/феррит-гранат, распространяется сагиттально и излучает спиновые волны при выполнении условия равенства фазовой скорости волны и скорости источника. Получены аналитические условия для источника конечного размера, учитывающие спектральное распределение вращающего момента. Экспериментальные зависимости частоты излучения от внешнего магнитного поля хорошо согласуются с расчётами по пересечению дисперсий обменных спиновых волн и продольных акустических фононов.

3. Научная новизна полученных результатов

К новым научным результатам, полученным в диссертации, относятся:

- 1) Впервые экспериментально продемонстрирована и охарактеризована с помощью вейвлет-преобразования линейная частотная модуляция лазерно-индуцированных волновых пакетов поверхностных магнитостатических волн в эпитаксиальных плёнках железа. Предложено аналитическое описание чирпа на основе дисперсии групповой скорости.
- 2) Впервые аналитически описано возбуждение спиновых волн одномерными пространственно-периодическими униполярными и биполярными возмущениями (сверхбыстрое изменение анизотропии и обратный эффект Фарадея). Показано, что пространственный период воздействия определяет квазидискретный спектр волновых чисел, а знак воздействия селективно возбуждает чётные или нечётные моды.
- 3) Методом микромагнитного моделирования для феррита-граната продемонстрирована возможность управления спектром поверхностных магнитостатических волн при пространственно-периодическом оптическом возбуждении, включая формирование магнонного резонатора.

- 4) Впервые экспериментально обнаружено излучение обменных спиновых волн вследствие магنونного эффекта Вавилова–Черенкова, вызываемого пикосекундным импульсом продольной деформации в плёнке феррита-граната. Эффект подтверждён аналитическими расчётами и микромагнитно-упругим моделированием.
- 5) Разработано аналитическое описание, учитывающее влияние пространственного размера движущегося источника на волновое число, частоту и амплитуду излучаемых вследствие эффекта Вавилова-Черенкова спиновых волн. Получено обобщённое условие согласования скоростей для источника конечной протяжённости.
- 6) Установлена зависимость частоты черенковского излучения обменных спиновых волн от внешнего магнитного поля, определяемая пересечением дисперсионных ветвей спиновых волн и продольных акустических фононов, что полностью согласуется с экспериментом.

4. Достоверность и обоснованность результатов и выводов диссертационной работы

Достоверность полученных результатов обеспечивается реализацией отработанных экспериментальных методик, широко применяемых в научном сообществе, а также воспроизводимостью наблюдаемых явлений. Полученные экспериментальные данные подтверждаются аналитическими расчетами с использованием классических дисперсионных соотношений для спиновых волн и численным решением уравнения Ландау-Лифшица-Гильберта. Выполненные расчеты и полученные экспериментальные результаты согласуются с имеющимися литературными данными.

5. Личный вклад автора

Защищаемые результаты диссертационной работы получены соискателем лично. Вклад автора в получение всех экспериментальных данных, их анализ, обработку и описание аналитическими методами, а также в написание статей является определяющим. При участии соискателя в лаб. физики ферроиков ФТИ им. А. Ф. Иоффе. Выполнена модернизация установки фемтосекундной накачки-зондирования с пространственным и временным разрешениями для увеличения стабильности долгосрочных измерений. Конкретные задачи, диапазон параметров, подход к описанию условий микромагнитноупругого моделирования магنونного эффекта Вавилова-Черенкова выработаны автором совместно с к.ф.-м.н. А. В. Азовцевым (ФТИ им. А. Ф. Иоффе). Автор принимал непосредственное участие в подготовке докладов по результатам работы и лично представлял их на научных конференциях и семинарах.

6. Значимость полученных в диссертации результатов

Экспериментальная демонстрация и аналитическое описание линейной частотной модуляции лазерно-индуцированных широкополосных волновых пакетов поверхностных магнитостатических волн имеет критическое значение при проектировании полностью магنونных вычислительных схем в прикладной магنونике. С практической точки зрения учет дисперсии групповой скорости спиновых волн является одним из необходимых условий для корректной работы магنونных вычислительных устройств с использованием пикосекундных спин-волновых пакетов, которые представляются крайне перспективными для увеличения скорости обработки информации при увеличении их плотности следования. Предложенный впервые подход применения вейвлет-преобразования для характеристики линейной частотной модуляции лазерно-индуцированных спиновых волн расширяет возможности анализа спектральных составляющих в дополнение к широко используемому оконному преобразованию Фурье, что подтверждается ведущими научными группами. Теоретическая значимость предложенного описания линейной частотной модуляции поверхностных магнитостатических волн заключается в возможности расширения на другие типы магнитостатических волн и на обменные спиновые волны. Представленное описание основывается на распространении в диспергирующей среде короткого волнового пакета с гауссовой огибающей, является обобщенным по аналогии со световыми

импульсами, не зависит от природы волны и может быть получено независимо из уравнения Ландау-Лифшица-Гильберта. Практическая значимость разработанного аналитического описания возбуждения поверхностных магнитостатических волн сверхбыстрым воздействием с латеральным пространственно-периодическим профилем заключается в демонстрации возможности гибкого и точного управления спектральным составом возбуждаемых спиновых волн с квази-дискретным набором волновых чисел. Продемонстрированные в микромагнитном моделировании формирование магнетонного резонатора и селективное возбуждение четных или нечетных по порядку мод распространяющихся спин-волновых пакетов имеют потенциал применения при разработке магнетонных устройств с мультиплексированием. Разработанное аналитическое описание может быть использовано для описания возбуждения спиновых волн пространственно-периодическим импульсным воздействием с использованием и других лазерно-индуцированных процессов, например, сверхбыстрого размагничивания и обратного эффекта Коттона-Мутона. Практическая и теоретическая значимость демонстрации излучения обменных спиновых волн сагиттально-распространяющимся пикосекундным импульсом деформации — магнетонного эффекта Вавилова-Черенкова заключается в установлении нового механизма излучения обменных спиновых волн, что вносит вклад в развитие как прикладной магнетоники и открывает возможности дальнейшего исследования черенковского излучения спиновых волн, где в качестве пространственно-ограниченных движущихся источников возмущения эффективного поля выступают, например, плазмоны или акустические солитоны. Определение условий черенковского излучения спиновых волн пространственно-ограниченным движущимся источником имеет как теоретическое, так и практическое значение для управления спектральным составом излучаемых волн в магнетонных устройствах. Полученные теоретические результаты расширяют условие равенства фазовых скоростей движущегося источника и излучаемой спиновой волны на случай источника конечного размера. Управление спектральным составом излучаемых обменных спиновых волн продемонстрировано аналитическими и численными расчетами за счет выбора пространственного размера (длительности) импульса деформации, который определяет возможность излучения спиновых волн с определенными волновыми векторами и их соответствующие амплитуды.

7. Недостатки диссертационной работы

В качестве замечаний по работе можно отметить следующее:

- 1) В работе недостаточно рассмотрено использование лазерных импульсов в конкретных устройствах магнетоники, хотя это заявлено в актуальности.
- 2) В диссертации недостаточно освещен экспериментальный метод реализации пространственно-периодического воздействия, описываемый в Главе 3. Недостаточно внимания уделено возможностям экспериментальной реализации биполярного пространственно-периодического обратного эффекта Фарадея.
- 3) Несмотря на то, что в главе 2 обсуждаются экспериментальные результаты наблюдения волновых пакетов поверхностных магнитостатических волн, вклад невзаимности, присущий этим волнами, не обсуждается в полной мере.

Указанные замечания не снижают научной значимости и общей положительной оценки диссертационной работы.

8. Заключение

Считаем, что диссертация Филатова Ярослава Александровича «Управление спектральным составом лазерно-индуцированных спиновых волн в пленках железа и ферритов-гранатов» является законченной, логично обоснованной и самостоятельно выполненной научно-исследовательской работой. Содержание автореферата соответствует содержанию работы.

Основные результаты по теме диссертации изложены в трёх статьях в журналах, индексируемых в базах данных Web of Science, Scopus, РИНЦ и в ряде тезисов докладов.

Диссертация Филатова Ярослава Александровича выполнена на высоком научном уровне и отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 "Физика конденсированного состояния" согласно Положению о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, а ее автор Филатов Ярослав Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Доклад Филатова Ярослава Александровича по материалам диссертации был заслушан и обсужден на заседании кафедры физической электроники и технологии Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) 13 апреля 2026. На все вопросы, возникшие во время обсуждения, были получены ответы. На этом же заседании был рассмотрен и одобрен отзыв ведущей организации (протокол № 4 от 13.04.2026).

Отзыв ведущей организации подготовили:

Профессор кафедры физической электроники и технологии СПбГЭТУ «ЛЭТИ», научный руководитель лаборатории магноники и радиофотоники им. Б.А. Калиникова, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.03.

Заведующий кафедрой физической электроники и технологии СПбГЭТУ «ЛЭТИ», доцент, кандидат физико-математических наук по специальности 01.04.03.

197022, Россия, Санкт-Петербург, улица Профессора Попова, дом 5
тел.: +7 (812) 234-99-83

Ученый секретарь кафедры физической электроники и технологии СПбГЭТУ «ЛЭТИ», доцент, кандидат физико-математических наук по специальности 01.04.03.

Устинов Алексей Борисович

Никитин Андрей Александрович

Медведева Наталья Юрьевна