

## Отзыв

официального оппонента на диссертацию Филатова Ярослава Александровича «Управление спектральным составом лазерно-индуцированных спиновых волн в пленках железа и ферритов-гранатов», представленной на соискание степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 «Физика конденсированного состояния»

Диссертационная работа Я. А. Филатова посвящена актуальной проблеме магноники — управлению спектральными характеристиками спиновых волн, возбуждаемых фемтосекундными лазерными импульсами в магнитоупорядоченных средах. Поиск эффективных способов контроля параметров когерентных колебаний намагниченности принципиально важен для создания энергоэффективных вычислительных устройств, работающих на принципах обработки спиновых волн. Автор сосредоточился на оптическом возбуждении и управлении спектральным составом поверхностных магнитостатических и обменных спиновых волн в плёнках железа и ферритов-гранатов. Комплексное применение экспериментальных методик сверхбыстрой накачки-зондирования, аналитических и микромагнитных расчётов позволило получить новые фундаментальные результаты, обладающие ясной практической перспективой.

Автореферат даёт полное представление о структуре и содержании диссертации, которая состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы. Полный объем диссертации 150 страниц, включая 27 рисунков и 1 таблицу.

Первая глава является обзорно-аналитической. В ней рассмотрены основные направления исследований спиновых волн, как части плана развития вычислительных технологий, альтернативных электронике. Сформулированы подходы использования спиновых волн для вычислений и изученные способы управления их параметрами.

Во второй главе экспериментально исследована эволюция спектра распространяющихся волновых пакетов поверхностных магнитостатических волн, возбуждённых сверхбыстрым термическим изменением анизотропии в эпитаксиальных плёнках железа. С помощью вейвлет-преобразования впервые надёжно зарегистрирована линейная частотная модуляция распространяющихся пакетов, параметр которой охарактеризован как функция пройденного расстояния. Предложено аналитическое описание чирпа, основанное на дисперсии групповой скорости магнитостатических волн, и показано, что оно хорошо согласуется с экспериментом.

Третья глава посвящена новому подходу к селективному возбуждению спиновых волн с квазидискретным спектром посредством пространственно-периодического оптического воздействия. Соискателем построена аналитическая модель, описывающая возбуждение волн одномерной решёткой из гауссовых пятен лазерного воздействия для случаев воздействия термического изменения анизотропии (униполярное) и обратного эффекта Фарадея (униполярное и биполярное). Показано, что пространственный период возбуждения задаёт выделенные волновые числа, причём униполярное воздействие селективно генерирует моды чётного порядка, а биполярное — нечётного. Результаты аналитического Фурье-анализа полностью подтверждены микромагнитным

моделированием для среды с параметрами феррита-граната. Таким образом, предложен гибкий и физически обоснованный инструмент управления спектром спиновых волн.

Четвёртая глава представляет экспериментальное наблюдение магنونного эффекта Вавилова-Черенкова. Автор демонстрирует, что пикосекундный импульс продольной деформации, возбуждённый лазерным нагревом золотой плёнки на поверхности лютетиевого феррита-граната и распространяющийся сагиттально, излучает обменные спиновые волны. С помощью измерений с временным разрешением надёжно установлено, что излучение возникает при выполнении условия согласования фазовых скоростей деформационного возмущения и спиновых волн. Получена зависимость частоты излучаемых спиновых волн от внешнего магнитного поля, аналитически описанная на основе дисперсионных соотношений обменных волн и продольных фононов. Отдельно отмечено влияние конечного размера движущегося источника на спектрально-амплитудные характеристики черенковского излучения.

Основные новые научные результаты работы, определяющие её высокий уровень:

1. Впервые экспериментально продемонстрирована и охарактеризована линейная частотная модуляция лазерно-индуцированных пакетов поверхностных магнитоэлектрических волн в плёнках железа; аналитически описана её связь с дисперсией групповой скорости.
2. Разработан и верифицирован подход к селективному возбуждению спиновых волн с квазидискретным спектром путём пространственного периодического структурирования фемтосекундной накачки; установлено правило чётности мод в зависимости от поляризации оптического воздействия.
3. Экспериментально обнаружен и описан магنونный эффект Вавилова-Черенкова при распространении пикосекундного импульса деформации в плёнке феррита-граната; показана возможность управления частотой излучаемых обменных волн магнитным полем и размером движущегося возмущения.

Диссертационная работа Я. А. Филатова выполнена на высоком экспериментальном и теоретическом уровне, отличается внутренним единством, а сформулированные положения хорошо обоснованы. Автореферат написан ясным научным языком, адекватно отражает содержание диссертации и основные публикации автора в высокорейтинговых журналах (*Applied Physics Letters*, *Journal of Applied Physics*, *Nature Physics*). Полученные результаты вносят существенный вклад в физику сверхбыстрого оптомагнетизма и магнонику и, несомненно, будут востребованы при разработке перспективных магنونных устройств обработки информации.

В качестве **замечаний** по работе можно отметить следующее:

1. В Главе 2 для возбуждения и детектирования спиновых волн в пленках железа используется лазерная система с высокой частотой повторения 70 МГц (накачка 750 нм, зондирование 1050 нм) и плотностью энергии 4,5 мДж/см<sup>2</sup>. В то же время в Главе 4 для работы с ферритами-гранатами применяется принципиально иная лазерная система с низкой частотой повторения 5 кГц, другими длинами волн (накачка 515 нм, зонд 450 нм и 900 нм) и на порядок большей плотностью энергии накачки (50 мДж/см<sup>2</sup>). В чём заключается фундаментальная причина использования различных установок, возможна ли генерация акустических импульсов деформации и наблюдение черенковского излучения

магнонов (Глава 4) с использованием высокочастотной лазерной системы из Главы 2, или низкая частота повторения (5 кГц) и высокая энергия импульса критически необходимы?

2. В работе исследуются образцы с принципиально разной толщиной: нанометровые пленки железа 10 и 20 нм в Главе 2, пленка толщиной 500 нм при моделировании в Главе 3 и макроскопически толстая пленка 1,74 мкм для LuIG в Главе 4. С чем связан выбор столь различных толщин? Как переход от нанометровых металлических пленок к микрометровым диэлектрикам влияет на дисперсию и условия пространственного ограничения спиновых волн? Возможно ли предположить, какими бы были результаты Главы 4, если бы эксперимент проводился на нанометровых пленках, является ли микрометровая толщина строгим ограничением для формирования импульса деформации?

3. Для генерации интенсивного импульса деформации (Глава 4) используется фемтосекундная накачка с экстремально высокой плотностью энергии. Такое воздействие приводит к мгновенному локальному нагреву магнитной пленки, что влечет за собой резкое изменение намагниченности насыщения, константы обмена. Насколько правомерно определять условие фазового синхронизма черенковского излучения на основе дисперсионных кривых невозмущенного (холодного) кристалла?

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

### **Заключение**

Считаю, что диссертационная работа Филатова Ярослава Александровича «Управление спектральным составом лазерно-индуцированных спиновых волн в пленках железа и ферритов-гранатов» 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.

Официальный оппонент, доктор физико-математических наук по специальности 1.3.8, г.н.с. - зав. лаб. Физики магнитных гетероструктур и спинтроники для энергосберегающих информационных технологий, МФТИ, Физтех.



Чернов Александр Игоревич

14 мая 2026 г.

### **Контактные данные**

Почтовый адрес: 141700, Московская обл., г. Долгопрудный, Научный переулок 4, 3.33

Телефон: +7 (495) 408-45-44

e-mail: chernov.ai@mipt.ru

