

## 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 современной магноники — управлению спектральными характеристиками когерентных спиновых волн, возбуждаемых сверхкороткими лазерными импульсами. Использование фемтосекундного оптического воздействия открывает уникальные возможности для сверхбыстрого и локального контроля параметров магнитной среды, что необходимо для создания энергоэффективных магнонных вычислительных устройств. В работе впервые решён ряд принципиальных задач, связанных с экспериментальным наблюдением, аналитическим описанием и численным моделированием линейной частотной модуляции, селективного возбуждения мод поверхностных магнитоэлектронных волн и черенковского механизма генерации обменных спиновых волн. Полученные результаты имеют как фундаментальное значение для физики магнитных явлений, так и ясную прикладную перспективу.

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

В первой главе представлен обзор литературы актуального состояния вычислительной магноники, подробно рассмотрены основные направления фундаментальных и прикладных исследований спиновых волн. Глава содержит анализ роли магноники и достигнутых в этой области результатов как части стратегии развития перспективных новых вычислительных архитектур.

Вторая глава содержит результаты экспериментов по возбуждению и распространению поверхностных магнитоэлектронных волн (ПМСВ) в пленках железа. Впервые экспериментально продемонстрирована линейная частотная модуляция (чирп) распространяющихся волновых пакетов ПМСВ, вызванная дисперсией групповой скорости. С помощью вейвлет-преобразования определен параметр чирпа и получено аналитическое выражение, описывающее его зависимость от пройденного расстояния. Показано, что длина распространения ПМСВ в пленках железа достигает ~9 мкм, что подтверждает перспективность материала для магнонных приложений.

Третья глава посвящена теоретическому и численному анализу возбуждения ПМСВ пространственно-периодическими лазерными паттернами. Построена аналитическая модель, основанная на Фурье-анализе униполярного и биполярного периодического воздействия (сверхбыстрое изменение анизотропии и обратный эффект Фарадея). Методом микромагнитного моделирования продемонстрировано формирование магнонного резонатора и селективное возбуждение мод ПМСВ с квазидискретным спектром, управляемым пространственным периодом структуры. Показана возможность отдельного возбуждения чётных и нечётных мод за счёт выбора полярности воздействия.

В четвёртой главе представлен новый механизм генерации обменных спиновых волн -- магنونный эффект Вавилова-Черенкова. Экспериментально зарегистрировано излучение обменных спиновых волн пикосекундным импульсом продольной деформации, распространяющимся в плёнке феррита-граната. Получена зависимость частоты излучения от внешнего магнитного поля, полностью согласующаяся с аналитическим условием равенства фазовых скоростей спиновой волны и акустического импульса. Впервые учтено влияние конечного пространственного размера движущегося источника на амплитуду и волновое число излучаемых волн.

Среди полученных в работе **новых** результатов можно отметить наиболее значимые:

- 1) Экспериментально обнаружена и количественно охарактеризована линейная частотная модуляция лазерно-индуцированных волновых пакетов поверхностных магнитостатических волн в плёнках железа; получено аналитическое описание эффекта на основе дисперсии групповой скорости.
- 2) Разработана аналитическая модель и выполнено микромагнитное моделирование возбуждения ПМСВ пространственно-периодическими лазерными паттернами; продемонстрировано селективное возбуждение мод с управляемым квазидискретным спектром.
- 3) Впервые экспериментально продемонстрирован магنونный эффект Вавилова-Черенкова излучения обменных спиновых волн сагиттально-распространяющимся пикосекундным импульсом деформации в структуре феррит-гранат/золото.
- 4) Получено аналитическое описание черенковского излучения спиновых волн с учётом конечного размера источника, устанавливающее связь между пространственным профилем возмущения и спектром излучаемых волн.

Основные результаты по теме диссертации изложены в трёх оригинальных статьях, опубликованных в журналах Applied Physics Letters, Journal of Applied Physics и Nature Physics, а также представлены на 6 международных и российских конференциях. Полученные в работе результаты и сформулированные положения являются новыми, достоверными и обоснованными.

Результаты диссертационной работы и развитые в ней подходы представляют интерес для использования в фундаментальных и прикладных исследованиях управления параметрами спиновых волн, в частности при построении элементов магноники.

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

1. Интересен возможный вклад температурной зависимости параметров магнитной анизотропии и намагниченности насыщения при лазерном нагреве. Поскольку импульс деформации генерируется за счёт термоупругого механизма в золотой плёнке, локальный нагрев может модифицировать дисперсию спиновых волн (СВ) в области детектирования. Возможна ли оценка влияния лазерно-индуцированного температурного градиента на наблюдаемую зависимость частоты от поля. В моделировании не делается акцента на изменение во времени лазерно-индуцированной термической решётки из-за латеральной диффузии тепла, что обосновано оценкой изменения профиля на уровне ~10% за 4 нс. Тем не менее, для практической реализации магنونных устройств с мультиплексированием важно учитывать, что в реальных условиях длительность термического профиля может

- сопоставляться с временем релаксации анизотропии, что приведёт к «размыванию» квазидискретного спектра. Возможно ли предположить влияние температурной диффузии на добротность формируемого магнного резонатора и на контраст селективного возбуждения мод.
2. При аналитическом описании второй точки пересечения дисперсий используется параболическое приближение обменных спиновых волн, в котором пренебрегается дипольным взаимодействием и эффектами дискретности кристаллической решётки. Учитывая величину длины волны спиновых волн возможно было бы кратко пояснить применимость данного приближения? Также в реальной структуре толщиной 1.74 мкм (раздел 4.2.1) наличие свободной поверхности и подложки приводит к формированию стоячих мод и модификации дисперсии обменных СВ. Возможно ли обсуждение, насколько корректно применение дисперсионного соотношения (4.5), полученного для бесконечной среды, к пленке с граничными условиями на интерфейсах феррита-граната. И может ли это повлиять на характеристики черенковского излучения. В выражении для условия согласования скоростей получено для дельта-функции Дирака возмущения, тогда как в эксперименте используется гауссов импульс деформации конечной пространственной длины. Насколько критично отклонение реального профиля от дельта-функции для положения точек пересечения дисперсий? Можно ли утверждать, что выражение для двух частот пересечений мод остаётся точным при учёте конечной пространственной длины, или ожидаются поправки?
  3. В работе указывается, что отсутствие гибридизации спиновых волн и импульса деформации подтверждается сохранением линейной дисперсии LA-фононов. Однако критерий «отсутствия гибридизации» сформулирован качественно. Целесообразно было бы пояснить, что наблюдаемое увеличение амплитуды в точках пересечения дисперсий действительно соответствует черенковскому излучению, а не резонансному усилению за счёт магнон-фононной связи. При этом рассмотрен механизм преобразования чисто продольной акустической моды в режим прецессии намагниченности и возбуждения СВ. Возможно ли возбуждение когерентной СВ в этом случае, то есть, когда импульс продольной деформации вместе с наличием ненулевой равновесной внеплоскостной компоненты намагниченности, обусловленной орторомбической анизотропией, могут привести к возбуждению обменных СВ. Насколько критична эта симметрия для сохранения когерентности излучаемых спиновых волн? Если бы орторомбическая анизотропия была подавлена или если бы импульс деформации приобрёл сдвиговые компоненты, изменился бы механизм генерации, и осталась бы наблюдаемая динамика когерентной в рамках эффекта Вавилова–Черенкова?
  4. Скорость звука определена по временной задержке между интерфейсами Au/LuIG и LuIG/подложка. Однако не обсуждается возможная дисперсия скорости продольных акустических фононов в феррите-гранате в частотном диапазоне 60–70 ГГц. Учитывая, что импульс деформации имеет спектральную ширину, обусловленную его пространственной локализацией, целесообразно было бы явно указать, используется ли в расчётах групповая или фазовая скорость звука, и насколько это влияет на точность определения точки пересечения дисперсий в выражении. Также при совместном решении дисперсионных зависимостей обменных СВ и продольных акустических фононов используется выражение (4.6) в тексте диссертационной


работы для частот точек пересечения, полученных без учета возможной дисперсии скорости звука в феррите-гранате из-за анизотропии упругих свойств кристалла. Поскольку пленка выращена на подложке с ориентацией (110), упругие константы могут зависеть от направления распространения импульса деформации. Нужен ли учет упругой анизотропии и может ли он изменить положение точек пересечения дисперсий и, соответственно, предсказанные частоты?

Указанные замечания носят скорее рекомендательный характер и 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, кандидат физико-математических наук по специальности 1.4.3 Радиофизика, доцент, доцент кафедры физики открытых систем Саратовского национального исследовательского университета имени Н.Г. Чернышевского

  
Садовников Александр Владимирович

30 апреля 2026 г.

### Контактные данные

Почтовый адрес: 410012, Саратов, ул. Большая Казачья, 112а, 8й корпус СГУ  
Телефон: +79033868480  
e-mail: sadovnikovav@gmail.com

