

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор Московского

Государственного Университета

имени М.В. Ломоносова,

проф. А.А. Федянин

2017 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» на диссертационную работу Калябина Дмитрия Владимировича «Невзаимные и резонансные эффекты при распространении спиновых и акустических волн в неоднородных структурах», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - «Физика конденсированного состояния»

Актуальность темы диссертации.

Диссертационная работа Калябина Дмитрия Владимировича посвящена исследованию волновых эффектов при распространении спиновых и акустических волн в неоднородных волноведущих структурах, как периодических, так и непериодических. Тема работы актуальна по целому ряду причин, имеющих как научное, так и прикладное значение. В первую очередь это связано с поиском новых эффектов и новых материалов, способных значительно усовершенствовать такие параметры электроники и логических устройств, как размеры, частотный диапазон, тепловыделение, функциональность итд. В связи с этим возникли новые направления в физике конденсированного состояния, связанные с изучением распространения спиновых и акустических волн в периодических и непериодических структурах, получивших названия магноника и акустоэлектроника. Действительно, использование магнонов в электронике предоставляет ряд преимуществ: с помощью магнонов можно передавать и обрабатывать информацию, содержащуюся в амплитуде и фазе спиновой волны, причем без движения электронов, а значит

гипотетически без диссипативных джоулевых потерь; зависимость магнитных структур от внешнего магнитного поля обуславливает возможность управления магнитным полем и перестройки по частоте; волновая природа спиновых волн обеспечивает возможность применения новых подходов к обработке данных. Имеющиеся на данный момент первые прототипы магнитных логических устройств представляют собой соединения интерферометров спиновых волн. Сами интерферометры и соединения между ними представляют собой узкие ферромагнитные волноведущие каналы. При уменьшении размеров волноводов вплоть до наномасштабов, эффект размерности волновода оказывает влияние на динамику распространения спиновых волн. Другой важной проблемой является учет неоднородности волноведущих структур спиновых и акустических волн. Эти неоднородности возникают как в самих устройствах, так и в их соединениях между собой. Изменение геометрических параметров волноводов может изменять модовый состав волновода, приводить к связи мод и перекачке энергии между модами, пространственной интерференции мод.

Таким образом, создание теории, описывающей распространение спиновых и акустических волн в периодических и непериодических структурах, является важной задачей для разработки компонентной базы магноники и акустоэлектроники.

Общая характеристика диссертационной работы.

В работе впервые решен целый ряд теоретических задач относительно распространения спиновых и акустических волн в периодических и непериодических структурах. Рассмотрено распространение спиновых волн в различных периодических структурах:

- прямых объемных магнитостатических волн в нормально намагниченном двумерном магнитном кристалле, состоящем из ферромагнитной пленки и набором цилиндрических включений из другого ферромагнетика, расположенных в узлах квадратной решетки;
- поверхностных магнитостатических спиновых волн в одномерных магнитных кристаллах трех видов (бикомпонентный магнитный кристалл, бикомпонентный магнитный кристалл с металлизацией и магнитный кристалл, образованный микроструктурированием ферромагнитной пленки);
- поверхностных магнитостатических спиновых волн в одномерных магнитных кристаллах с конечным числом периодов;
- поверхностных магнитостатических спиновых волн в одномерных магнитных кристаллах с дефектом.

Калябиным Д.В. также создана теория распространения акустических и магнитостатических спиновых волн в неоднородных волноведущих структурах с плавно меняющимися геометрическими параметрами:

- поверхностных акустических волн Лява в слоистых волноведущих структурах переменной толщины из упругих материалов и акустических метаматериалов;
- поверхностных магнитостатических спиновых волн в неоднородных ферромагнитных волноводах переменной ширины.

Автор диссертации разработал математические модели, использовал как известные методы, так и развил оригинальные подходы, выполнил трудоемкие аналитические и численные расчеты, что свидетельствует о его высокой квалификации как физика-теоретика.

В целом работа производит хорошее впечатление, содержит подробный обзор, детальное описание методов, большой фактический материал, подробный анализ результатов расчета.

Научная новизна.

К наиболее интересным и важным результатам работы можно отнести следующие:

1. Показано, что в нормально намагниченных двумерных магнетонных кристаллах при распространении в них спиновых волн возникают краевые вращательные состояния - краевые магны. Надо сказать, что подобные краевые состояния были предсказаны ранее для магнитофотонных кристаллов и некоторых магнетонных кристаллах, но для рассматриваемой довольно сложной для анализа структуре этот вывод сделан впервые.

2. Впервые доказана невзаимность распространения спиновых волн. Этот важный результат не случайно вынесен в заглавие диссертации, так как невзаимность распространения волн является важной и принципиальной чертой магнетонов, открывающей новые возможности управления магнетонными устройствами. Это показано на примере одномерных касательно намагниченных магнетонных кристаллов, в которых дисперсионные характеристики волн, распространяющиеся в противоположных направлениях, различны

3. Впервые рассмотрено распространение спиновых волн в ограниченных структурах и показано, что в одномерных касательно намагниченных магнетонных кристаллах ограниченной длины зонная структура дисперсии поверхностных магнитостатических спиновых волн проявляется уже на нескольких периодах структуры.

4. В слоистых структурах переменной толщины из акустических метаматериалов поверхностные акустические волны Лява, излучающиеся в объем подложки вследствие неоднородности волновода, оказываются пространственно разделенными по частотам

5. Многомодовость распространения поверхностных магнитостатических спиновых волн в ограниченных ферромагнитных

волноводах приводит к перекачке мощности переносимой модами волны, а именно: к перекачке более половины мощности волны между низшими модами волны

Достоверность научных выводов подтверждается использованием в качестве основы апробированных современных аналитических и численных методов; совпадением отдельных результатов, полученных разными методами; большим представленным фактическим материалом, подтверждением полученных автором результатов другими научными группами.

Теоретическая и практическая значимость

Полученные в работе результаты относительно распространения спиновых волн в периодических и непериодических структурах, ограниченных по длине и волноведущих структур с плавно меняющейся шириной имеют большое научное и прикладное значение. С одной стороны разработанные методы и подходы применимы к широкому кругу задач о распространении различных типов волн (не только магнонов и фононов) и полученные результаты в значительной степени расширяют представления о свойствах магнонов в различных структурах, с другой стороны они будут, безусловно, полезны при разработке конкретных магнонных устройств.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Результаты работы представляют значительный интерес для всех научных групп, занимающихся магнонику и акустоэлектроникой, и поэтому их можно рекомендовать для ознакомления и использования в МГУ им. М.В.Ломоносова (г. Москва), Санкт-Петербургском, Уральском, Новосибирском и Тверском университетах, Воронежском техническом университете, МИРЭА, Институте физики твердого тела РАН РФ (п. Черноголовка Московская обл.), ФТИ РАН РФ им. Иоффе (г. С-Петербург), РФЯЦ-ВНИИЭФ (г. Саров, Нижегородская обл.), Институте физики им. Л.В. Киренского СО РАН (г.Красноярск) и др.

По диссертации имеются следующие замечания:

1. Некоторые выводы и доказательства даны в сокращенной форме. Например, кратко описан процесс сшивки граничных условий для прямых объемных магнитостатических спиновых волн в двумерном магнонном кристалле в разделе 2.1.3 и вывод уравнений связи мод поверхностных магнитостатических спиновых волн в разделе 3.2.2.

2. Не сделаны оценки влияния диссипативных потерь на распространение спиновых и акустических волн в неоднородных структурах

3. Не приведены данные о температурной стабильности ферромагнитных материалов, используемых в неоднородных волноведущих структурах.

4. Хотя работа и хорошо оформлена, в ней имеется ряд опечаток, как грамматических так и стилистических, а также встречаются неудачные выражения и ошибки в ссылках. Так на стр. 21. используется термин «негативное преломление», а при обсуждении метода когерентного потенциала дана ссылка на работу [65], не относящуюся к этому методу.

Указанные замечания не носят принципиальный характер и не снижают общей высокой оценки работы.

Автореферат полно и точно отражает содержание диссертации, новые научные результаты и выводы.

Результаты работы неоднократно докладывались на международных конференциях и опубликованы в ведущих научных журналах

Подводя итог можно заключить, что диссертация Д.В.Калябина 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. II. 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 Калябин Дмитрий Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния.

Отзыв на диссертацию обсужден и одобрен на заседании кафедры магнетизма Физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (протокол № 10 от 19 июня 2017 года).

Зав. кафедрой магнетизма,
профессор

 Перов Николай Сергеевич

Профессор

 Грановский Александр Борисович

119991, г. Москва, Ленинские горы, МГУ, д.1, стр.2,
физический факультет, кафедра магнетизма
тел.: (495)939-47-87
E-mail: kaf-magn@physics.msu.ru
web:<http://magn.ru>