

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Калябина Дмитрия Владимировича «Невзаимные и резонансные эффекты при распространении спиновых и акустических волн в неоднородных структурах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - «Физика конденсированного состояния».

**Актуальность.** Работа Д.В. Калябина посвящена исследованию особенностей распространения спиновых и акустических волн в неоднородных структурах с периодически меняющимися материальными параметрами, а также в магнитных и акустических волноводах с геометрическими параметрами, плавно зависящими от координат. Такого типа структуры могут быть полезны при построении новых устройств обработки, передачи и хранения информации на основе спиновых волн (магнонов). Использование магнонного подхода, возможно, позволит решить одну из основных проблем современных устройств магнитной памяти, а именно уменьшить джоулевы потери. С другой стороны, особенности распространения спиновых волн, в частности, их «невзаимность» постоянно находятся в центре внимания исследователей. Рассмотрение новых ситуаций, возникающих в магнонных кристаллах, представляет безусловный интерес. Таким образом, данная работа, посвященная теоретическому изучению распространения спиновых и акустических волн в неоднородных структурах, актуальна и относится к одному из бурно развивающихся направлений физики конденсированного состояния - магнонике.

**Структура и содержание диссертации.** Диссертация состоит из введения, обзора литературы, двух глав с новыми научными результатами, заключения, списка литературы и списка рисунков. Полный объем диссертации составляет 114 страниц, включая 38 рисунков. Список литературы содержит 149 наименований. Глава 2 посвящена исследованию спиновых волн, распространяющихся в периодических магнитных структурах, а именно в нормально намагниченных двумерных и касательно намагниченных одномерных магнонных кристаллах. Глава 3 посвящена исследованию распространения акустических и магнитостатических волн в неоднородных волноведущих структурах.

**Научная новизна и достоверность.** В диссертационной работе получен ряд новых результатов:

- обнаружено возникновение краевых вращательных состояний при распространение объемных магнитостатических спиновых волн в нормально намагниченных двумерных магнонных кристаллах. Показано, что ветви дисперсии, соответствующие этим состояниям, обладают узкой частотной полосой и малой групповой скоростью.

- показано, что в одномерном касательно намагниченном магнетном кристалле невзаимность спиновых волн проявляется в асимметрии дисперсионных кривых, а границы запрещенных зон, образованных брэгговским резонансным рассеянием, смещаются внутрь зоны Бриллюэна. Продемонстрировано возможность возникновения частотных областей со строго однонаправленным распространением и отрицательной групповой скоростью.

- исследовано распространение акустических волн в слоистых волноведущих структурах с плавно меняющейся толщиной и подложкой из акустического метаматериала. Продемонстрирована возможность использования таких структур для эффективного пространственного разделения волн по частоте.

- показано, что распространение спиновых волн в пространственно ограниченных неоднородных ферромагнитных волноводах является существенно многомодовым, причем перекачка энергии между модами, возникающая из-за неоднородности волновода, может существенно влиять на характер распространения волн в таких структурах.

Этим определяется **научная новизна** работы. Аналитические и численные расчеты автора основаны на известных и хорошо апробированных методах анализа волновых процессов в неоднородных структурах, таких как метод многократного рассеяния, метод конечных элементов, метод эффективной среды, метод Галеркина, чем и подтверждается **достоверность** полученных результатов.

**Научная и практическая значимость.** Научная значимость диссертации определяется новыми результатами, среди которых можно выделить: изучение процессов рассеяния при распространении спиновых волн в периодических структурах и методы расчета многомодового распространения спиновых и акустических волн в волноведущих структурах с переменными геометрическими параметрами. Оба результата важны также и с практической точки зрения. Так, вращательные локальные состояния в двумерном магнетном кристалле и частотные области однонаправленного распространения в одномерном магнетном кристалле могут быть использованы для создания узкополосных фильтров спиновых волн, структуры с отрицательной групповой скоростью спиновых волн могут быть использованы для создания линий задержки спиновых волн. Особенности распространения спиновых и акустических волн в волноводах с изменяющимися параметрами могут быть использованы для создания устройств обработки информации (патент «Частотно-избирательное устройство для обработки сигналов на поверхностных акустических волнах: патент на изобретение РФ 2507677 / С. А. Никитов, Д. В. Калябин, И. В. Лисенков. — Заявл. 16.11.2012., опубл. 20.02.2014»). Пройденный в диссертации путь от теоретических расчетов до патента на изобретение нового устройства свидетельствует о научной и практической значимости полученных результатов.

Диссертация Калябина Д.В. хорошо оформлена, содержит большое количество иллюстраций и подкреплена ссылками на соответствующие публикации. В ней четко сформулированы цели исследования и достаточно полно описаны использованные аналитические и численные методы. Менее подробно, к сожалению, обсуждаются полученные результаты.

**Замечания.** При ознакомлении с диссертацией возникают вопросы и замечания, которые можно разделить на три группы.

1. Текст диссертации содержит много орфографических и стилистических ошибок.  
2. Замечания, связанные с цитированием и обсуждением отличий от ранее выполненных работ других авторов:

2.1 Много места уделено в диссертации задаче о магнитном поле нормально намагниченного цилиндра. Задача является классической, ее решение, данное Тилем, хорошо известно и описано в учебниках по цилиндрическим магнитным доменам. Ссылок на эти работы в диссертации нет.

2.2 Автор подробно описывает решение о распространении акустических волн в упругом волноводе в оригинальной части диссертации (3.1.3). Как можно понять из текста, эти результаты были получены в [109]. Естественно, что это обсуждение следовало разместить в литературном обзоре.

2.3 Нет сравнения полученных результатов с результатами других авторов, изучавших спиновые волны в системах с нормально намагниченными включениями [122, 123]. С симметричной же точки зрения, рассмотренные в этих работах структуры вполне аналогичны тем, которые изучены в диссертации.

3. Вопросы, связанные с использованными методами расчета и анализом полученных результатов

3.1 . Каковы условия возбуждения локализованных мод в задаче о двумерном кристалле? Как сказывается их возбуждение на коэффициентах прохождения (отражения) при рассеянии спиновой волны на таком магнетонном кристалле?

3.2. Почему нельзя ограничиться "резонансным" приближением и получить "укороченные" уравнения в задаче о касательно намагниченном одномерном магнетонном кристалле? Ведь модуляция параметров мала.

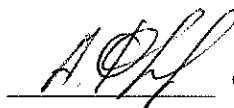
3.3. Что будет при стремлении толщины одномерного магнетонного кристалла к бесконечности?

Эти замечания не влияют на общую положительную оценку работы, которая выполнена на достаточно высоком научном уровне. Научные положения и результаты диссертации хорошо аргументированы и обоснованы. Основные научные результаты

диссертации опубликованы в 10 научных работах в отечественных и зарубежных журналах, представлены в 9 трудах международных конференций и послужили основой для патента на изобретение. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Представленная диссертационная работа Калябина Дмитрия Владимировича отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям ВАК Российской Федерации, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - «Физика конденсированного состояния».

Официальный оппонент:

д.ф.-м.н.

 Фраерман Андрей Александрович

28.08.2017 г.

Заведующий отделом магнитных наноструктур Института физики микроструктур РАН (ИФМ РАН) – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»

603087, Российская Федерация, Нижегородская обл.,

Кстовский район, д. Афонино, ул. Академическая, д. 7, ИФМ РАН.

Рабочий телефон: +7(831) 417-94-51

E-mail: [andr@ipmras.ru](mailto:andr@ipmras.ru)

Web-страница: <http://ipmras.ru/microstructure/people/andr>

Подпись А.А. Фраермана заверяю

Ученый секретарь ИФМ РАН д.ф.-м.н.





Д.М.Гапонова