

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физ.-мат. наук

Пятакова Александра Павловича на диссертационную работу  
Терещенко Алексея Анатольевича «Исследование упругих и магнитоупругих  
взаимодействий в магнетиках на основе 3d – переходных элементов»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук по специальности  
1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа Терещенко Алексея Анатольевича посвящена теоретическому анализу эффектов магнитоупругой связи в слоистых дихалькогенидах и интерметаллидах переходных металлов. Актуальность выполненного автором исследования определяется потребностями развития просвечивающей лоренцевской электронной микроскопии, а также общим интересом к хиральным средам, и к поиску хиральных фононов, в частности.

Научная новизна диссертации состоит в том, что в ней впервые рассмотрено распространение магнитоупругих волн вдоль хиральной магнитной солитонной решетки. Показано, что обменная магнитострикция может приводить к необычному температурному поведению магнитного гистерезиса в антиферромагнитных системах. Установлено, что изменение характера рассеяния фононов на магнонах в области кроссовера «низкий спин – высокий спин» сопровождается аномальным поведением коэффициента ослабления ультразвука.

Достоверность результатов диссертационного исследования обеспечивается использованием общеизвестных теоретических методов и подходов, а также согласием с экспериментальными наблюдениями и с известными литературными данными. Публикации в высокорейтинговых научных изданиях и доклады на престижных научных конференциях тоже свидетельствуют в пользу достоверности результатов.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Диссертация содержит 125 страниц и 29 рисунков. Список литературы включает в себя 196 источников.

**Во введении** обоснована актуальность и новизна диссертационной работы, определены ее цель и задачи, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, приведен краткий обзор теоретических методов,



использованных в работе, отражена ее теоретическая и практическая значимость, приведены сведения о достоверности результатов диссертационного исследования, представлена информация о публикациях и личном вкладе автора.

**В первой главе** рассматривается задача о распространении связанных спиновых и ультразвуковых волн малой амплитуды вдоль геликоидальной оси хирального гелимагнетика гексагональной симметрии. Решение магнитострикционной задачи, необходимое для корректной линеаризации уравнений движения упругой и магнитной подсистем, демонстрирует существование однородных и неоднородных деформаций в основном состоянии рассматриваемой системы. В конической фазе (когда поле приложено вдоль хиральной оси) закон дисперсии проявляет существенную невязимость относительно смены знака волнового вектора. Сопутствующая асимметрия запрещенных зон магнитоупругих волн оказывается зависящей от внешнего магнитного поля, что позволяет говорить об управлении магнитоакустическим резонансом с помощью магнитного поля. В фазе магнитной солитонной решетки (поле перпендикулярно хиральной оси) спектр демонстрирует мультрезонансное поведение, связанное с нелинейностью магнитной конфигурации основного состояния. Отдельное внимание уделяется кристаллической структуре  $\text{CrNb}_3\text{S}_6$  и феноменологическому описанию магнитной и упругой подсистем этого соединения, а также выбору магнитоупругого взаимодействия.

**Во второй главе** обсуждается задача о распространении микрополярных упругих волн в нецентросимметричном кристалле вдоль хиральной оси на примере соединения  $\text{CrNb}_3\text{S}_6$ . Закон дисперсии таких волн обнаруживает поляризационно-зависимое расщепление фононных зон чисто упругой подсистемы без привлечения взаимодействий с другими подсистемами. При этом гибридизация вращательных и поступательных степеней свободы может приводить к появлению ротонно-подобного минимума поперечной акустической фононной ветви, напоминающего спектр элементарных возбуждений в сверхтекучем  $^4\text{He}$ . Таким образом, ротоны могут иметь классическую природу и существовать при комнатных температурах, что было подтверждено экспериментально в хиральных метаматериалах.

**В третьей главе** обсуждается возможность описания совместного действия внешнего магнитного поля и одноосного растягивающего напряжения, приложенных перпендикулярно к геликоидальной оси, на



одноосный хиральный гелимагнетик в рамках модели двойного синус-Гордона. Профили контраста Френеля просвечивающей лоренцевской электронной микроскопии, вычисленные для этих решений на основе эффекта Ааронова-Бома, обнаруживают ряд особенностей, которые можно использовать для идентификации неоднородных магнитных конфигураций в реальных соединениях. Это предположение подтверждается непосредственным сравнением теоретических профилей с экспериментальными данными, полученными для прототипа модели — одноосного хирального гелимагнетика  $\text{CrNb}_3\text{S}_6$ . В диссертации показано, что в тонкой пленке  $\text{CrNb}_3\text{S}_6$  при указанных выше внешних воздействиях реализуется несоизмеримая 1S-фаза модели двойного синус-Гордона.

**В четвертой главе** обсуждается феноменологическая модель антиферромагнетика  $\text{Fe}_{0.5}\text{TiS}_2$ , учитывающая допускаемые симметрией поправки от двухионного магнитоупругого взаимодействия к модели Изинга в молекулярных полях. Численное решение соответствующих уравнений среднего поля позволяет построить широкие петли магнитного гистерезиса, типичные для изинговского ферромагнетика при низких температурах. Таким образом, показывается, что двухионное магнитоупругое взаимодействие действительно способно стабилизировать ферромагнитное упорядочение в антиферромагнитном соединении  $\text{Fe}_{0.5}\text{TiS}_2$  при низких температурах в отсутствие внешнего магнитного поля, в то время как нагрев рассматриваемой системы разрушает такое состояние и приводит к появлению кривых намагничивания, характерных для антиферромагнетика при высоких температурах. Отметим, что метастабильность ферромагнитного состояния обсуждается отдельно и подтверждается сравнением энергий, непосредственно вычисленных для соответствующих магнитных фаз.

**В пятой главе** рассматривается задача о распространении ультразвуковых акустических волн вдоль направления  $[100]$  монокристалла намагничивания образца вдоль оси  $[001]$  на основе теории линейного отклика, использующей формализм мацубаровских функций Грина. Показывается, что магнон-фононное взаимодействие в форме так называемого механизма Уоллера, согласно которому акустическая волна модулирует расстояние между двумя магнитными ионами, обеспечивает канал рассеяния фононов на магнонах. Этот канал активируется при достижении некоторого критического значения намагниченности в процессе кроссовера, что приводит к резонансному поглощению фононов при распространении ультразвука за счет переходов между магнонными



состояниями. В результате потерь фононной энергии коэффициент ослабления ультразвука в  $\text{LuCo}_3$  испытывает резкий рост в области метаманнитного перехода, что может быть проверено экспериментально.

**В заключении** автор формулирует основные результаты диссертационной работы.

Результаты, полученные в диссертации опубликованы в 6 статьях в ведущих физических журналах (PRL и PRB), которые рекомендованы ВАК. Результаты диссертации докладывались и обсуждались на российских и международных конференциях, включая основные магнитные конференции, организуемые российскими учеными, такие как SISM, EASTMAG, HMMM, BIC. Автореферат и опубликованные работы полностью отражают основное содержание диссертации. Уровень решаемых в работе задач соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатской диссертации, а их содержание соответствует специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Диссертация впечатляет разносторонней и одновременно глубокой теоретической проработкой аспектов магнитоупругого взаимодействия в магнетиках на основе 3d – переходных элементов, она написана очень аккуратно (не найдено ни одной ошибки в формулах или даже опечатки в тексте). Имеются лишь незначительные терминологические замечания и пожелания:

Термин «ротонный» появляется в тексте на с.11 без всякого пояснения и не раскрывается позже. Следовало бы пояснить, какой моде и структурным искажениям ячейки он соответствует.

2. Подрисуночный текст к Рис. 2.4: штриховая линия названа «пунктирной».

3. Подрисуночный текст к Рис.3.1: выражение «вдоль внешнего механического напряжения», не совсем корректно, так как речь идет о тензоре, следовало бы уточнить, что имеется в виду именно *растяжение* вдоль определенной оси.

с. 95 Обозначение “ $i0$ ” для малого приращения вдоль мнимой оси в формулах (5.37) и (5.38) не является общепринятым и желательно пояснение.



Вместе с тем, указанные замечания нисколько не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертационная работа Терещенко А.А. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным пп. 9-11,13, 14 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор Терещенко Алексей Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния»

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,


профессор РАН,

профессор кафедры физики колебаний

физического факультета

ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В. Ломоносова»

Пятаков Александр Павлович

  
04.05.2026

Контактные данные:

тел.: +7 495 9394138, e-mail: pyatakovap@my.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом

защищена докторская диссертация: 01.04.11 – Физика магнитных явлений

Адрес места работы: 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр.2

Тел.: +7 495 9394138

e-mail: pyatakovap@my.msu.ru

И.О. декана физического факультета МГУ

проф. В.В. Белокуров

