

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»
(МФТИ, Физтех)

Проректор по научной работе

Юридический адрес: 117303, г. Москва,
ул. Керченская, дом 1А, корпус 1
Почтовый адрес: 141700, Московская обл.,
г. Долгопрудный, Институтский переулок, дом 9
Тел.: +7 (495) 408-42-54, факс: +7 (495) 408-68-69
info@mipt.ru

Баган Виталий
Анатольевич

2025 г.

17.12.2025 № 26-05/14144
на № _____ от _____

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию **Тихановского Артема Юрьевича**
«Магнитные и магнитоэлектрические свойства лангаситов»,
представленную на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности
1.3.8. Физика конденсированного состояния

Актуальность темы диссертационной работы

Исследования мультиферроиков, веществ, допускающих индуцирование электрической поляризации магнитным полем и наоборот, остаются актуальными как с фундаментальной точки зрения (понимание микроскопических механизмов связи магнитной и электрической подсистем), так и в контексте приложений (элементы памяти, логики и сенсорики с пониженной диссипацией). В этом ряду соединения семейства лангаситов представляют особый интерес благодаря сочетанию нарушенной локальной симметрии редкоземельной позиции и обнаруженным в последние годы магнитоэлектрическим свойствам.

Научная новизна и основные результаты

В работе сформулированы и обоснованы результаты, обладающие научной новизной. Установлена связь магнитных и магнитоэлектрических макроскопических свойств редкоземельных лангаситов с локальными

нарушениями симметрии. Построены модели, учитывающие квазидублетное основное состояние редкоземельных ионов Pr, Tb, Ho в кристаллическом поле при нарушенной локальной симметрии, присущей этим материалам, а также представлена интерпретация соответствующих экспериментальных данных. Предложено сокращённое описание сложной тройной спиральной магнитной структуры железосодержащих лангаситов и показано, что индуцированная полем электрическая поляризация обусловлена переориентацией спирали в слабых магнитных полях и её скосом в сильных магнитных полях.

К числу наиболее значимых результатов диссертации относятся:

1. Разработка микроскопического и феноменологического подходов для описания магнитных и магнитоэлектрических свойств редкоземельных лангаситов составов $\text{Pr}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$, $(\text{La}_{1-x}\text{Tb}_x)_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ и $(\text{La}_{1-x}\text{Ho}_x)_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ с учётом наличия локальных искажений.
2. Интерпретация температурных зависимостей магнитной и магнитоэлектрической восприимчивостей в соединении $\text{Pr}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ с учетом распределения расщепления двух нижних синглетов.
3. Описание изинговского характера лангасита состава $(\text{La}_{1-x}\text{Tb}_x)_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ и установление одноионного механизма индуцированной локальной поляризации.
4. Моделирование анизотропии магнитных свойств лангаситов составов $(\text{La}_{1-x}\text{Ho}_x)_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ с учётом увеличения числа неэквивалентных позиций и распределения ориентаций изинговских осей.
5. Построение модели магнитной структуры железосодержащих лангаситов и согласованное моделирование экспериментальных зависимостей электрической поляризации в широком диапазоне магнитных полей.

Структура и краткое содержание диссертации

Диссертационная работа Тихановского А.Ю. состоит из введения, трёх глав и заключения. Полный объём диссертации составляет 147 страниц; работа

содержит 34 рисунка и 10 таблиц; список литературы включает 115 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, представлены положения, выносимые на защиту, а также отражены научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

Первая глава носит обзорный характер и посвящена магнитоэлектрическому эффекту. Здесь приведены основные понятия и механизмы возникновения магнитоэлектрического эффекта, рассмотрены примеры магнитоэлектрических материалов, а также обобщены сведения о кристаллической структуре, магнитных и магнитоэлектрических свойствах редкоземельных и железосодержащих лангаситов.

Во второй главе выполнено теоретическое исследование магнитных и магнитоэлектрических свойств редкоземельных лангаситов составов $\text{Pr}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$, $(\text{La}_{1-0.95}\text{Ho}_{0.05})_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ и $(\text{La}_{1-x}\text{Ho}_x)_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ (при $x \sim 0,015; 0,05$). Предложены модели, учитывающие нарушение локальной симметрии, вызванное статистическим распределением атомов Ga и Si в окружении редкоземельного иона; получены выражения для намагниченности и индуцированной полем электрической поляризации, выполнено согласованное моделирование магнитных и магнитоэлектрических свойств исследуемых составов.

Третья глава посвящена исследованию железосодержащих лангаситов (в том числе $\text{Ba}_3\text{NbFe}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$, $\text{Ba}_3\text{TaFe}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ и $\text{Sr}_3\text{TaFe}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$) при низких температурах. Магнитная структура железосодержащих лангаситов представлена в виде тройной магнитной спирали. В рамках такого представления описана эволюция магнитной структуры во внешнем магнитном поле, проанализированы механизмы возникновения магнитоэлектрического эффекта и выполнено моделирование экспериментальных полевых зависимостей электрической поляризации в широком диапазоне магнитных полей.

В заключении сформулированы основные результаты работы и намечены направления дальнейших исследований.

Значимость полученных автором диссертации результатов для развития физико-математических наук, конкретно физики конденсированного состояния, состоит в развитии теоретических подходов к описанию магнитных и магнитоэлектрических свойств кристаллов со сложной симметрией и присущим этим кристаллам нарушениям локального окружения магнитных ионов. В работе разработаны микроскопические и феноменологические модели для описания свойств магнитных и магнитоэлектрических редкоземельных и железосодержащих лангаситов, учитывающие влияние нарушений локальной симметрии, кристаллического поля и иерархии обменных взаимодействий. Это позволило установить механизмы возникновения магнитоэлектрического эффекта и связать макроскопические наблюдаемые зависимости с локальными характеристиками (ориентациями локальных осей магнитной анизотропии, параметрами расщепления уровней, параметрами магнитной структуры). Тем самым результаты расширяют представления о механизмах формирования магнитоэлектрической связи и о роли локальных искажений в формировании макроскопических магнитных и магнитоэлектрических свойств.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации: полученные модели и установленные механизмы могут быть использованы в качестве методической и расчетной основы для целенаправленного поиска и проектирования новых магнитоэлектрических и мультиферроидных материалов с заданными характеристиками (в том числе за счет контроля состава, локальных искажений и магнитной анизотропии). Результаты представляют практический интерес для разработки функциональных материалов и элементов приборов, где требуется управление электрическим откликом магнитным полем и наоборот – магнитными свойствами электрическим полем: высокочувствительных магнитных/электрических сенсоров, компонентов спинтроники, энергоэффективной электроники, а также перспективных элементов памяти и логики с пониженной энергозатратой переключения. Кроме того, предложенные

подходы применимы для интерпретации и моделирования экспериментальных данных по родственным классам соединений и при расширении исследований на лангаситы с другими редкоземельными ионами.

Степень обоснованности, достоверность и апробация

Достоверность результатов, представленных в диссертации, обеспечивается использованием надежно апробированного аппарата теории фазовых переходов Ландау, симметричного (теоретико-группового) анализа, аналитического и численного моделирования, а также согласием с имеющимися литературными данными. Результаты апробированы на 9 российских и 5 международных конференциях, опубликованы в 4 статьях в рецензируемых изданиях.

Автореферат полностью и точно отражает содержание диссертации.

Замечания по диссертационной работе

Несмотря на общую положительную оценку диссертационной работы, можно привести несколько замечаний:

1. При обсуждении угловых зависимостей намагниченности в соединении $\text{Pr}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ в плоскости b^*c следовало бы дать разъяснения по поводу расхождения между теорией и экспериментом: в теории присутствует асимметрия при $H \parallel b^*$, тогда как экспериментально она не наблюдается.

2. В литературном обзоре подробно описаны магнитоэлектрические свойства соединения $(\text{La}_{1-x}\text{Ho}_x)_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$, однако в работе не раскрыт вопрос о том, как структурные искажения могли бы повлиять на магнитоэлектрический эффект в этом материале.

3. Некоторые полевые зависимости электрической поляризации в железосодержащих лангаситах в импульсных полях до 60 Тл недостаточно полно описываются представленной автором моделью. Причина сильного расхождения теории и эксперимента при $H \parallel b^*-10^\circ$ с автором не объяснена.

4. В тексте и подписях к рисункам/таблицам встречаются отдельные опечатки, грамматические и оформительские несогласованности. Например, в тексте несколько раз встречается неверный падеж слова «Таблица».

Указанные замечания носят уточняющий характер и не снижают общей научной и практической значимости выполненной работы.

Заключение

Диссертационная работа Тихановского Артема Юрьевича «Магнитные и магнитоэлектрические свойства лангаситов» является завершённым научно-квалификационным исследованием, в котором решена актуальная научная задача построения и апробации теоретических моделей магнитных и магнитоэлектрических свойств редкоземельных и железосодержащих лангаситов. По уровню новизны, обоснованности и достоверности результатов, а также другим требованиям, работа соответствует действующему положению о присуждении учёных степеней, утверждённому Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 года (в редакции от 16 октября 2024 года). Автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния по физико-математическим наукам.

Диссертация обсуждена и отзыв обсужден и одобрен на расширенном научном семинаре Лаборатории терагерцовой спектроскопии Центра фотоники и двумерных материалов МФТИ, Физтех 16 декабря 2025 г., протокол №2.

Доктор физ.-мат. наук, доцент

 Горшунов Борис Петрович
16.12.2025

Почтовый адрес: 141700, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер.,9

Телефон: +7 (498) 744 65 38,

Адрес электронной почты: gorshunov.bp@mipt.ru

Организация – место работы: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», Центр фотоники и двумерных материалов, Лаборатория терагерцовой спектроскопии.

Должность: Заведующий лабораторией, доктор физико-математических наук, доцент.

Web-сайт организации: <https://mipt.ru>