

ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертацию на соискание ученой степени доктора физико-математических наук Амирова Абдулкарима Абдулнатиповича на тему:
«Калорические эффекты в мультиферроиках»
по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений

Диссертационная работа представляет собой комплексное исследование калорических и мультикалорических эффектов в мультиферроидных материалах, в которой объединены теоретические подходы, технологические основы получения, экспериментальные методы, результаты измерений с сравнительным анализом и их интерпретацией. **Актуальность** выбранной тематики основана на прикладном интересе к исследованию калорических эффектов под одиночным и комбинированным действием внешних полей различной природы, как одного из путей улучшения эффективности твердотельных систем охлаждения. С другой стороны, фундаментальный научный интерес в исследовании магнитных материалов с фазовыми переходами I рода под действиями внешних полей различной природы могут быть актуальны для поиска способов контроля гистерезисными эффектами, как одной из актуальных проблем физики магнитных явлений.

Диссертационная работа состоит из введения, восьми глав, заключения, списков авторских публикаций по теме диссертации из 49 наименований и цитируемой литературы из 396 наименований. Полный объем диссертации составляет 300 страниц и включает: 144 рисунка, 62 формулы и 14 таблиц.

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель диссертации и задачи, положения, выносимые на защиту, обоснованы научная новизна и практическая значимость полученных результатов, изложено содержание диссертации по главам.

Глава 1 посвящена литературному обзору работ по мультикалорическим эффектам и материалам. Автором дано определение основным терминам относящимся к мультикалорическим эффектам, описаны

основные термодинамические соотношения, описывающие одиночные калорические и мультикалорические эффекты, а также проведена систематизация мультикалорических материалов. Кроме того, автором подробно описано современное состояние исследований в данной области и отмечены перспективные направления в исследованиях мультикалорических материалов.

Глава 2 посвящена описанию технологических основ получения мультикалорических материалов и экспериментальных методов для исследования калорических и мультикалорических эффектов, которые были реализованы в диссертационном исследовании. Автором также представлены модернизированные им измерительные вставки и установки для изучения мультикалорических эффектов.

Глава 3 посвящена теоретическому рассмотрению калорических эффектов в оксидных мультиферроиках на основе соединений феррита висмута BiFeO_3 . В частности, получены и исследованы структура, магнитные, диэлектрические и магнитоэлектрические свойства модифицированных соединений на основе феррита висмута двух типов: замещенных 1) редкоземельными ионами и 2) немагнитным ионом цинка.

В **Главе 4** исследованы мультикалорические эффекты в сплавах FeRh , в котором сосуществуют ферромагнитное и ферроупругое упорядочения. Исследованы мультикалорические эффекты для двух случаев комбинации внешних воздействий: 1) магнитное поле и изотропное сжатие, 2) магнитное поле и одноосное растяжение

В **Главе 5** исследованы композитные мультикалорики смесового типа двух типов: керамические и полимерные. Для каждого из них разработаны технологические основы получения, проведены комплексные исследования микроструктуры и фазового состава, изучены магнитные, электрические, магнитоэлектрические свойства и калорические эффекты.

В **Главе 6** рассмотрены композитные мультикалорики слоистого типа. На примере композитов состоящих из слоев магнитных (FeRh) и пьезоэлектрических (PZT) компонент изучены две проблемы: 1) управление намагниченностью через электрическое поле и 2) контроль магнитокалорического эффекта через электрическое поле.

В **Главе 7** рассмотрены композитные мультикалорики цилиндрического типа. Автором рассмотрены два типа композитов: неорганические и полимерные, где в качестве сегнетоэлектрической матрицы композита используется пьезоэлектрический полимер PVDF.

В **Главе 8** рассмотрены прикладные аспекты мультикалорических материалов и представлен ряд решений для потенциальных приложений: 1) лабораторный прототип для демонстрации мультикалорического эффекта, 2) магнитоуправляемый сброс лекарства за счет магнитокалорического эффекта и 3) управление спин-волновым транспортом в микроволноводных структурах.

Диссертация Амирова представляет собой законченный научный труд, основные результаты и выводы, по которым сформулированы в **Заключении**.

Диссертация имеет несомненную **практическую значимость**. В частности, полученные результаты могут быть актуальны для развития работ по созданию более эффективной системы твердотельного охлаждения и поиску возможностей биомедицинского применения сплава *FeRh*. Кроме того, разработанные технологические основы получения композитов будут актуальны в области прикладного материаловедения для разработки композитов для различных приложений (биомедицина, сенсорика, катализ и др.).

Достоверность результатов подтверждается применением общеизвестных теоретических подходов и методов измерений, использованием современного аттестованного оборудования, комплексностью подхода, применением общепринятых методов обработки

данных, а также сравнением наблюдаемых закономерностей с данными из литературных источников.

Научная новизна работы заключается в ее следующих основных результатах:

1. Усовершенствована расчетная модель для оценки магнитокалорических параметров в области температур магнитных фазовых переходов типа «антиферромагнетик-парамагнетик» и «слабый ферромагнетик-антиферромагнетик» в оксидных мультиферроиках на основе феррита висмута $BiFeO_3$.
2. Впервые получены и исследованы керамические мультикалорические композиты типа связности 0-3 из смесей магнитных и сегнетоэлектрических частиц с высокими значениями калорических эффектов в области комнатной температуры. Продemonстрированы способы наблюдения синергетического эффекта в таких композитах.
3. Получены новые экспериментальные результаты по исследованию кинетики магнитного фазового перехода и мультикалорических эффектов в сплавах $FeRh$ под комбинированным воздействием двух внешних полей: 1) гидростатического давления и магнитного поля и 2) одноосного растяжения и магнитного поля.
4. Новые мультикалорические композиты двух типов: цилиндрические (с типом связности 1-3) и смесевые (типы связности 0-3).
5. Новые экспериментальные результаты, где в режиме *in situ* продемонстрирована возможность управления состоянием термочувствительного полимера через магнитокалорический эффект для контролируемого сброса лекарственного средства.

В то же время, диссертация Амирова А.А. не лишена недостатков, по которой имеется ряд замечаний, которые касаются в основном формы изложения и не всегда корректных утверждений.

1. Так, на стр. 85 в тексте и в подписях к рис. 3.11 речь идет о так называемых кристаллохимических характеристиках, но их развернутое определение отсутствует.
2. Порой встречаются жаргонизмы, близкие только узким специалистам, например, на стр.86 приводится выражение: «Магнитокалорический эффект в BiFeO_3 замещенных Zn», из которого не вполне понимается процедура замещения.
3. В тексте очень много не общеупотребительных аббревиатур, раскрываемых вдали от места их употребления. Надо бы составить отдельно справочник аббревиатур с их смысловой расшифровкой, такого нет и приходится иногда многократно листать страницы в поисках расшифровки.
4. Диссертантом открыты уникальные термофизические явления, заслуживающие весьма полезных практических применений, однако этой стороне автор придает малое внимание. Хотелось бы порекомендовать использование мультикалориков в медицинских целях, например, не только для разогрева тканей при целевой доставке препарата, но и для охлаждения или даже переключения позиций разогрев-охлаждение. Гипертермический эффект подавления раковых новообразований также может быть реализован с помощью наномультикалориков в комбинации с их целевой доставкой к опухоли и МРТ контролем. Весьма полезной было бы формирование нетоксичных контрастных препаратов для МРТ.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1–2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой

степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук
Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Амиров Абдулкарим Абдулнатипович
заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических
наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений.

Официальный оппонент:
доктор физико-математических наук,
профессор кафедры медицинской физики
физического факультета
ФГБОУ ВО МГУ имени М. В. Ломоносова

Пирогов Юрий Андреевич
04.09.2025

Контактные данные:
Тел.: +7 985 233-93-22, e-mail: yuri937@gmail.com
Специальность, по которой официальным
оппонентом защищена докторская диссертация: 01.04.03. радиофизика

Адрес места работы:
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, стр. 2
Тел.: +7 985 233-93-22
e-mail: yuri937@gmail.com

Подп