



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»
(НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ)

мкр. Орлова роща, д. 1, г. Гатчина, Ленинградская область, 188300
Телефон: (81371) 4-60-25, факс: (81371) 3-60-25. E-mail: dir@pnpi.nrcki.ru
ОКПО 02698654, ОГРН 1034701242443, ИНН 4705001850, КПП 470501001

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по научной работе
НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ

№ 23

«20» Апрель 2021 г.

 д.ф.-м.н. **В.В. Воронин**

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» на диссертационную работу **Дубровина Романа Михайловича** «Динамика решетки и спонтанные магнитодиэлектрические эффекты во фтороперовскитах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Поиск и исследование новых перспективных материалов-мультиферроиков, в которых сосуществуют электрический и магнитный порядок, которые взаимодействуют между собой, **является актуальной задачей** современной физики конденсированного состояния. При этом оксидные системы с кристаллической структурой перовскита, которые обладают мультиферроичными свойствами, находятся в фокусе внимания исследователей.

Однако недавно сегнетоэлектрическая неустойчивость была предсказана в магнитных фтороперовскитах, никогда ранее не наблюдавшаяся экспериментально в этих материалах. Одним из важных проявлений связи между динамикой решетки и спиновым упорядочением является четный по магнитному параметру порядка спонтанный магнитодиэлектрический эффект, приводящий к характерным изменениям низкочастотной диэлектрической проницаемости при магнитном упорядочении. Диссертация Р.М. Дубровина посвящена экспериментальному

исследованию динамики решетки монокристаллов фтороперовскитов методами диэлектрической, инфракрасной и терагерцовой спектроскопией с временным разрешением с целью поиска магнитодиэлектрических эффектов, обусловленных мягкими полярными модами и связанных с магнитным упорядочением. Несмотря на то, что этот эффект ранее наблюдался в ряде диэлектриков, его микроскопические механизмы, как и связь с динамикой решетки и магнитным порядком, остаются практически неизученными, в особенности во фтороперовскитах.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Общий объем диссертации составляет 110 страниц, включая 28 рисунков и 8 таблиц. Список литературы содержит 201 наименование.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, содержится информация о цели и задачах работы, научной новизне, практической значимости, достоверности и апробации полученных результатов, личном вкладе автора.

Первая глава носит общий, обзорный характер и посвящены физическим основам динамики решетки и ее связи с диэлектрическими свойствами кристаллов, а также роль спонтанного магнитодиэлектрического эффекта, обусловленного магнитным порядком.

Вторая глава содержит детальную информацию о методах исследования диэлектрической проницаемости с описанием конкретных экспериментальных установок. Также описан процесс подготовки образцов. Следующие главы относятся к физическим исследованиям.

Третья глава полностью посвящена исследованию динамики решетки ромбического антиферромагнитного фтороперовскита NaMnF_3 методом терагерцовой спектроскопии с временным разрешением. Основной физический результат – это экспериментальное обнаружение существенного смягчения энергии низкочастотного полярного фонона с симметрией B_{2u} в центре зоны Бриллюэна, что является прямым указанием на существование теоретически предсказанной сегнетоэлектрической неустойчивости. Кроме того, ниже температуры Нееля наблюдалась сильная связь мягкого фонона с антиферромагнитной подсистемой, что интерпретируется автором как как результат динамической модуляции косвенного обменного взаимодействия. Высказано предположение, что исследуемый фтороперовскит NaMnF_3 является "зарождающимся мультиферроиком", в котором антиферромагнитное упорядочение сосуществует и взаимодействует с мягкой полярной модой, однако электрическая поляризации еще не возникает.

Четвертая и пятая главы содержат результаты экспериментального исследования динамики решетки и спонтанного магнитодиэлектрического эффекта в других антиферромагнитных фтороперовскитах методами инфракрасной и диэлектрической спектроскопии. В частности, в соединениях KCoF_3 и RbCoF_3 , также как в фторопероските NaMnF_3 , обнаружено увеличение диэлектрической проницаемости при понижении температуры в KCoF_3 , что сопровождается аномальным уменьшением частоты низкочастотного полярного поперечного оптического фонона. Выявлено, что в обоих кристаллах KCoF_3 и RbCoF_3 спонтанный

магнитодielekтрический эффект обусловлен спин-фононным взаимодействием, приводящим к сдвигу частот поперечных и продольных полярных фононов, которые динамически изменяют 180° угол обменного взаимодействия в цепочке Co-F-Co. Общим для всех исследованных фтороперовскитах наблюдается корреляция между смягчением частоты фонона и значением толеранс-фактора фтороперовскитах, что явно указывает на внутреннюю сегнетоэлектрическую неустойчивость кубической структуры фтороперовскитов.

Все полученные в диссертации результаты являются новыми и оригинальными. Диссертация представляет систематическое экспериментальное исследование динамики решетки монокристаллов фтороперовскитов, обладающих различными кристаллическими структурами и типами магнитного упорядочения спектроскопическими методами. В частности, установлено, что ромбический антиферромагнетик NaMnF_3 является "зарождающимся мультиферроиком", в котором мягкая полярная мода сосуществует и взаимодействует с магнитным упорядочением. Впервые выявлено, что в кубических фтороперовскитах частота низкочастотного поперечного полярного фонона уменьшается с понижением температуры, что сопровождается соответствующем ростом диэлектрической проницаемости. Кроме того, установлена корреляция между величиной уменьшения частоты фонона и толеранс-фактором фтороперовскита, который является индикатором структурных искажений. Обнаруженная корреляция толеранс-фактора с частотой фонона свидетельствует о внутренней сегнетоэлектрической неустойчивости кубических фтороперовскитов.

Использование современных экспериментальных методик, воспроизводимость и согласованность результатов, в том числе с литературными данными, а также системность проведенных исследований показывает высокий уровень представленной диссертации.

Результаты были апробированы на российских и международных конференциях и опубликованы в высокорейтинговых журналах, таких как *Physical Review B* и *ЖЭТФ*. Достоверность результатов и обоснованность выводов, представленных в диссертации, не вызывает сомнений. Во всех представленных публикациях соискатель является первым автором, что указывает на его определяющий вклад в работы, включенные в диссертацию.

Полученные в диссертации результаты имеют фундаментальный характер и вносят существенный вклад в наше понимание динамики решетки, прежде всего эффектов, возникающих при магнитном упорядочении в фтороперовскитах, которые ранее в этом направлении не исследовались. Новые результаты, в частности, экспериментально установленная сегнетоэлектрическая неустойчивость, сосуществующая с магнитным упорядочением, показывают, что фтороперовскиты могут служить перспективной площадкой для изучения мультиферроичных явлений и поиска новых магнитоэлектрических материалов для прикладного применения.

Результаты и выводы диссертации могут быть рекомендованы к использованию в научных исследованиях в области физики конденсированного состояния,

проводимых в ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, ПИЯФ им. Б.П. Константинова, ИСАН, ИФП им. П.Л. Капицы РАН, ИОФ им. А.М. Прохорова РАН, ФИ им. П.Н. Лебедева РАН, ИФТТ РАН, ИФ им. Л.В. Киренского РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, МФТИ.

Выносимые на защиту положения и сделанные выводы в полной мере отражены в опубликованных работах. Автореферат соответствует содержанию диссертации и отражает основные результаты и выводы. Работа производит большое впечатление высоким профессиональным уровнем автора, написана на ясном профессиональном языке, логично построена и аккуратно оформлена, количество опечаток весьма незначительно.

На все конкретные вопросы по физике обсуждаемых явлений были получены исчерпывающие ответы при обсуждении диссертации и доклада Р. М. Дубровина на заседании Проблемного ученого совета Федерального государственного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», протокол № 3 от 08 апреля 2021 года.

Диссертационная работа Р.М. Дубровина на тему «Динамика решетки и спонтанные магнитодиэлектрические явления во фтороперовскитах» является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей новые и оригинальные результаты и отвечает требованиям Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор присуждения ему искомой ученой степени по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния».

Отзыв составил:

Ведущий научный сотрудник
Лаборатории физики кристаллов
НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ,
доктор физико-математических наук

И. В. Голосовский
golosovsky_iv@pnpi.nrcki.ru

Председатель
Проблемного ученого совета
НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ,
доктор физико-математических наук

А. В. Сыромятников
asyromyatnikov@yandex.ru

Контакты ведущей организации:

ФГБУ «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»
188300, Ленинградская область, г. Гатчина, мкр. Орлова роща, д. 1
Тел.: +7 (81371) 460-25, E-mail: dir@pnpi.nrcki.ru