

## ОТЗЫВ

официального оппонента Пятакова Александра Павловича на диссертационную работу Дубровина Романа Михайловича «Динамика решетки и спонтанные магнитоэлектрические явления во фтороперовскитах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Возрождение интереса к магнитоэлектрической тематике в начале нашего века ознаменовалось работой Николы Спалдин “Почему так мало магнитных сегнетоэлектриков?” Позднее, когда усилиями многочисленных исследовательских групп список мультиферроиков был существенно расширен, появилась обзорная статья Джеймса Скотта, прозвучавшая ироническим парафразом “Магнитные фториды: почему так много магнитных сегнетоэлектриков”. Он на примере фторидов, часто ускользающих от внимания исследователей, занятых, в основном, оксидными соединениями, показал, что сегнетоэлектричество в магнитоупорядоченных средах – явление весьма распространенное. При этом соединения фтора со структурой перовскита были расценены как малоперспективные в магнитоэлектрическом отношении. Однако, в середине десятых годов появились расчеты из первых принципов, показавшие наличие сегнетоэлектрической неустойчивости в кристаллической решетке фтороперовскитов. Подобно виртуальному сегнетоэлектрику титанату стронция, в некоторых фтороперовскитах наблюдается смягчение низкочастотной фононной моды, что при некоторых условиях может приводить к сегнетоэлектрическому упорядочению.

Работа Р.М. Дубровина как раз посвящена экспериментальному исследованию этой **актуальной** проблематики. Несмотря на то, что магнитные свойства фтороперовскитов хорошо известны исследователям, вопрос о виртуальном сегнетоэлектричестве фтороперовскитов, а также о механизмах магнитоэлектрического эффекта в них остаются неизученными. **Новизна** диссертационной работы Р.М. Дубровина состоит в открытии нового класса виртуальных («зарождающихся») мультиферроиков, а также в обнаружении и объяснении магнитоэлектрического эффекта в них.

Несмотря на то, что работа имеет преимущественно фундаментальный характер, полученные результаты могут быть использованы в спинтронике и магнитофотонике, что обуславливает ее **практическую значимость**.

Полный объем диссертации составляет 110 страниц, включающих 28 рисунков и 8 таблиц. Диссертация содержит следующие части: введение, литературный обзор по теме исследования (Глава 1), четыре оригинальные главы, которые посвящены методам и основным результатам работы, выводы и список использованных источников, включающий 201 наименование.

Во **введении** излагаются цели и задачи работы, обосновывается ее актуальность, новизна, практическая значимость и другие необходимые пункты, требуемые при защите диссертации.

**Первая глава** традиционно носит обзорный характер, в ней вводятся основные понятия и представлен анализ литературы по следующим научным проблемам:

- динамика решетки и диэлектрические свойства кристаллов, нормальная и аномальные зависимости диэлектрической проницаемости от температуры;
- магнитоэлектрический эффект и его влияние на температурную зависимость

диэлектрической проницаемости;

-кристаллическая структура фтороперовскитов, их симметрия и свойства в зависимости от величины толеранс-фактора.

Во **второй главе** диссертации описаны исследуемые образцы, их подготовка к измерениям, а также экспериментальные методы изучения их свойств, а именно диэлектрическая спектроскопия, инфракрасная спектроскопия отражения и терагерцовая спектроскопия с временным разрешением;

**Третья глава** посвящена наиболее перспективному кандидату в виртуальные сегнетоэлектрики – ромбическому антиферромагнетику фтороперовскиту  $\text{NaMnF}_3$ . Показано, что в нем, действительно, наблюдается существенное смягчение полярного оптического фонона в центре зоны Бриллюэна. Также обнаружена сильная связь данного фонона с магнитной подсистемой в результате динамической модуляции сверхобмена.

В **четвертой главе** представлены результаты исследования динамики решетки и магнитодиэлектрического эффекта для кубических антиферромагнетиков  $\text{KCoF}_3$  и  $\text{RbCoF}_3$ . Для первого из веществ также наблюдается смягчение полярного фонона. Автору удалось связать наблюдаемый в этих соединениях магнитодиэлектрический эффект с поперечными и продольными полярными фононами, в которых динамически модулируется  $180^\circ$  угол сверхобменного взаимодействия в цепочке ионов  $\text{Co-F-Co}$ .

**Пятая глава** посвящена исследованию динамики решетки кубических фтороперовскитов на более широком классе соединений, включающих не только магнитоупорядоченные, но и диамагнитные составы. Показана корреляция смягчения низкочастотного полярного фонона со значением толеранс-фактора. Также установлена взаимосвязь смягчения с ангармонизмом низкочастотной полярной моды.

В **заключении** представлены основные результаты и обобщенные выводы диссертационной работы.

В целом, диссертационная работа представляет собой завершенное и целостное научное исследование. Текст диссертации и личное общение с автором свидетельствуют о глубоком понимании им проблематики фононных мод в кристаллах и механизмов магнитодиэлектрического эффекта. Научные результаты, полученные автором, обладают достоверностью, и открывают новые перспективы перед исследователями однофазных мультиферроиков. По сути, в работе вводится новый класс мультиферроиков, аналогичный виртуальным сегнетоэлектрикам.

При чтении диссертационной работы возникли некоторые вопросы и замечания:

- 1) В диссертации в отношении сегнетоэлектриков употребляется термин «виртуальный сегнетоэлектрик», а в отношении мультиферроиков – «зарождающийся», в то время как в англоязычной литературе и те и другие называют “incipient”. С чем связан такой выбор?
- 2) При классификации мультиферроиков их принято делить на два типа: в первых сегнетоэлектрическая поляризация имеет собственное происхождение, во вторых – индуцирована магнитным упорядочением. Применима ли такая классификация к зарождающимся мультиферроикам, и если применима, то каковы необходимые условия для реализации зарождающихся мультиферроиков второго типа (с магнитоиндуцированным смягчением моды)?
- 3) В качестве еще одного пожелания хотелось бы увидеть сводную диаграмму зависимости ангармоничности от толеранс-фактора, подобную той, что

приведена на рис. 26, но не только для кубических, а и для ромбических фтороперовскитов.

- 4) В работе присутствуют небольшое количество опечаток, существенных для понимания физики явлений: с. 63 «Наибольшее абсолютное значение константы спин-фононного взаимодействия обнаружено для частоты  $\omega_{3T0}$ »- этой моды нет среди активных в плане спин-фононного взаимодействия. Скорее всего, имелась в виду продольная мода « $\omega_{3L0}$ »; с. 85 «черные и зеленые линии – ... аппроксимации с учетом и без учета АФМ упорядочения, соответственно» — это противоречит принятым в данной работе обозначениям и, по всей видимости, опечатка.
- 5) В работе также найдена одна грамматическая ошибка (с. 62 «демонстрируют уменьшения») и терминологическая неточность: с. 42 «пунктирные линии» - на самом деле, штриховые.

Приведенные замечания в основном носят характер пожеланий, предложений по дальнейшему развитию темы или редакторской правки, и потому нисколько не умаляют общего положительного впечатления о диссертационной работе.

Результаты работы представлены в 12 докладах на международных и всероссийских конференциях, а также представлены в 4-х статьях, опубликованных в авторитетных отечественных и зарубежных научных журналах ЖЭТФ и Physical Review B. Текст автореферата и диссертации хорошо отражает основное содержание и выводы работы.

Считаю, что диссертационная работа Дубровина Романа Михайловича «Динамика решетки и спонтанные магнитодиэлектрические явления во фтороперовскитах» отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 "Физика конденсированного состояния" согласно Положению о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, а ее автор Дубровин Роман Михайлович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Профессор кафедры физики колебаний  
физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,  
доктор физико-математических наук,  
профессор РАН

А.П. Пятаков

г. Москва, Ленинские горы, д.1, строение 2, физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, тел. +7 (495)939-41-38, e-mail: pyatakov@physics.msu.ru

Декан физического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова,  
доктор физико-математических наук,  
профессор

Н.Н. Сысоев