



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе
Российской академии наук

Политехническая ул., 26, С.-Петербург, 194021
Телефон: (812) 297-2245 Факс: (812) 297-1017
post@mail.ioffe.ru http://www.ioffe.ru

ИНН 7802072267/КПП 780201001
ОКПО 02698463
ОГРН 1037804006998

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Дубровина Романа Михайловича

«Динамика решетки и спонтанные магнитодиэлектрические явления
во фтороперовскитах», представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния»

В последнее время активно изучаются экспериментально и теоретически перовскиты на основе галогенидов металлов, которые демонстрируют удивительное разнообразие физических явлений, таких как сегнетоэлектричество, магнетизм, мультиферройность. Эти и другие их свойства имеют большой потенциал для применения в фотонике и спинтронике. Диссертация Р. М. Дубровина посвящена экспериментальному исследованию динамики решетки в центре зоны Бриллюэна обширной группы фтороперовскитов с различными кристаллическими структурами и магнитным упорядочением с целью поиска мягких полярных мод и выявления их связи с магнитным упорядочением. Одним из проявлений связи между магнитным упорядочением и динамикой решетки является спонтанный магнитодиэлектрический эффект, четный по магнитному параметру порядка, и приводящий к характерным изменениям диэлектрической проницаемости кристалла при магнитном упорядочении. Этот эффект ранее наблюдался в некоторых магнитных диэлектриках, однако его микроскопические механизмы, как и связь с динамикой решетки, остаются малоизученными, в особенности во фтороперовскитах. Таким образом, представленная диссертационная работа направлена на решение **актуальной** задачи современной физики конденсированного состояния по поиску и исследованию новых мультиферройных материалов. Вместе с тем, работа носит важный **прикладной** характер, поскольку исследованные в данной работе новые материалы могут быть использованы для создания устройств антиферромагнитной спинтроники и для хранения и обработки информации на основе мультиферройных фтороперовскитов, обладающих существенно более низкими диэлектрическими потерями по сравнению с оксидными перовскитами.

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

Из большого числа полученных в работе **новых** результатов отметим те, которые представляются наиболее существенными и вносят принципиально важный вклад в физику фтороперовскитов:

- Впервые проведено систематическое экспериментальное исследование динамики решетки в центре зоны Бриллюэна группы монокристаллов фтороперовскитов, обладающих различными кристаллическими структурами и типами магнитного упорядочения, методами диэлектрической, инфракрасной и терагерцовой спектроскопии с временным разрешением в широком интервале температур, включающем температуры магнитного упорядочения.

- Впервые установлено, что ромбический фтороперовскит NaMnF_3 является «зарождающимся» мультиферроиком, в котором антиферромагнитное упорядочение сосуществует

и взаимодействует с мягкой полярной модой V_{2u} . Это взаимодействие проявляется в спонтанном магнитодиэлектрическом эффекте ниже температуры Нееля.

- Впервые выявлено, что в кубических фтороперовскитах частота низкочастотного поперечного полярного T_{1u} фонона уменьшается при охлаждении, что также проявляется в росте диэлектрической проницаемости. Кроме того, установлена корреляция между величиной уменьшения частоты полярного T_{1u} фонона и значением фактора искажения решётки фтороперовскита, причем, чем меньше фактор искажения, тем больше уменьшается частота, что, свидетельствует о внутренней сегнетоэлектрической неустойчивости кубических фтороперовскитов.

- Впервые экспериментально установлено, что диэлектрическая проницаемость фтороперовскитов испытывает аномалии в виде излом при магнитном упорядочении в результате спонтанного магнитодиэлектрического эффекта, а также выявлены его микроскопические механизмы, связанные с динамической модуляцией обменного взаимодействия колебаниями решетки.

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений поскольку они получены при использовании комплекса современных взаимодополняющих спектроскопических методов исследования, а также системности исследований выполненных на большой группе монокристаллов фтороперовскитов. Сильной стороной диссертации является то, что полученные экспериментальные данные подкреплены теоретическими расчётами. Результаты, полученные автором, вносят существенный вклад в понимание особенностей динамики решетки, в том числе возникающих при магнитном упорядочении, во фтороперовскитах. Кроме того, обнаруженная внутренняя сегнетоэлектрическая неустойчивость, сосуществующая с магнитным порядком, дает потенциальную возможность создания мультиферроиков на их основе.

Характеризуя работу в целом, следует отметить, что она представляет законченное научное исследование, выполненное на высочайшем научном и методическом уровне, новизна, актуальность и достоверность которого не вызывает сомнений. Полученные результаты были доложены на российских и международных конференциях и опубликованы в четырех статьях в ведущих научных журналах по физике конденсированного состояния. В представленных публикациях соискатель является первым автором и автором для корреспонденции, что указывает на его ключевую роль в исследованиях, включенных в диссертацию. Автореферат отражает основное содержание диссертации и содержит основные результаты и выводы.

Вместе с тем, диссертация не лишена некоторых незначительных недостатков:

- Прежде всего, представляется неуместным использовать термин «косвенный обмен» для обозначения типа обменного взаимодействия в данном классе соединений. В научной литературе для обсуждаемого в диссертации типа обмена используется термин сверхобмен.
- При обсуждении зависимости частоты 2LO фонона в KCoF₃, приведённой на рис 20 утверждается, что ниже температуры Нееля для этого фонона наблюдается спин-фононный эффект, а его величина составляет 0.1. Однако, при рассмотрении расчетных зависимостей с учётом спин-фононного взаимодействия и без него можно видеть, что обе зависимости лежат в пределах экспериментальных ошибок.
- На рисунке 21б для магнитодиэлектрической константы ошибочно приведена отрицательная величина вместо положительной. Вместе с тем, необходимо отметить, что в

тексте приведён правильный знак этой константы. Это же замечание относится к рисунку 6 автореферата.

- Наконец, в подписи к рисунку 25 вместо русского союза «и» используется английский «and».

Отмеченные недостатки не являются принципиальными и не влияют на высокую оценку диссертации и общее, весьма приятное впечатление о ней. Высокий уровень экспериментальных исследований и результаты, полученные в диссертации, свидетельствуют о высокой научной квалификации ее автора.

Заключение. Считаю, что диссертационная работа Дубровина Романа Михайловича «Динамика решетки и спонтанные магнитодиэлектрические явления во фтороперовскитах» отвечает 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-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, а ее автор Дубровин Роман Михайлович, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук,

ведущий научный сотрудник лаборатории спиновых и оптических явлений в полупроводниках Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук

Сапега Виктор Федорович

«4» мая 2021 года

Контактные данные:

194021, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26

Тел.: +7 (812) 292-73-42, e-mail: sapega.dnm@mail.ioffe.ru

Подпись В.Ф. Сапеги удостоверяю

Ученый секретарь ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН

к. ф.-м. н. Патров М. И.