

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации А.Л. Фрейдмана «Экспериментальное исследование прямого и обратного магнитоэлектрического эффекта в монокристаллах $\text{HoAl}_3(\text{BO}_3)_4$ и $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$ », представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 физика конденсированного состояния

Материалы, проявляющие магнитоэлектрический эффект, являются объектом пристального внимания со стороны большого количества исследователей. В первую очередь это обусловлено возможностями их практического использования в таких устройствах как различные датчики тока и магнитного поля, как основа для создания оперативной памяти, логических элементов. Начиная с открытия в 2003 году высокой ферроэлектрической поляризации в пленках BiFeO_3 , тема исследования магнитоэлектрического эффекта является одним из популярных направлений в физике конденсированного состояния.

Несмотря на большое количество работ, посвященных данной теме, природа магнитоэлектрического эффекта изучена не в полной мере. Кроме того, в материалах, проявляющих магнитоэлектрический эффект, например, в оксиборатах редкоземельных металлов, наблюдается ряд сопутствующих интересных явлений, таких как магнитодиэлектрический эффект. Важно отметить, что несмотря на большое количество экспериментальных работ, посвященных исследованию магнитоэлектрического эффекта в боратах, до сих пор исследователи ограничивались феноменологическим описанием наблюдаемых явлений, и не было предложено теории магнитоэлектрического эффекта, объясняющей механизм формирования магнитоэлектрического эффекта в этих соединениях. Между тем именно наличие проработанной теоретической модели, по-видимому, является одним из ключевых факторов для создания новых типов соединений, обладающих, в том числе, большими значениями магнитоэлектрического эффекта при высоких температурах.

Затруднения в построении теоретической модели могут быть связаны и с недостатком экспериментального материала. Во многих случаях авторы экспериментальных исследований оксиборатов редкоземельных металлов ограничиваются экспериментальным изучением прямого магнитоэлектрического эффекта (ME_H -эффекта), в то время как обратный эффект (изменение намагниченности во внешнем электрическом поле) гораздо реже является предметом изучения. В связи с этим представленная работа, посвященная исследованию прямого и обратного магнитоэлектрического эффекта в монокристаллах $\text{HoAl}_3(\text{BO}_3)_4$ и $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$, является актуальной с точки зрения прикладной и фундаментальной науки.

Успех автора представленной работы обусловлен использованием оригинальной экспериментальной методики, позволившей проводить измерения как прямого, так и обратного магнитоэлектрического эффекта в широком диапазоне температур, в магнитном поле до 70 кЭ.

Автором работы впервые проведены измерения обратного магнитоэлектрического эффекта для монокристаллов $\text{HoAl}_3(\text{BO}_3)_4$ и $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$, что является важным шагом в понимании магнитоэлектрических свойств боратов. Созданная автором работы экспериментальная установка для измерения прямого и обратного магнитоэлектрических эффектов не ограничивает свою область применения исследованием боратов, но также может быть применена для исследования широкого спектра соединений. Автором предложена теоретическая модель, описывающая качественно механизм магнитоэлектрического эффекта в соединении $\text{HoAl}_3(\text{BO}_3)_4$. Наблюдаемые в экспериментах эффекты автор объясняет при помощи взаимодействия электронной 4f-подоболочки иона Ho^{3+} с ближайшим кислородным окружением. Построение модели стало возможным благодаря всестороннему исследованию магнитоэлектрических свойств монокристалла $\text{HoAl}_3(\text{BO}_3)_4$, прямого и обратного магнитоэлектрического эффекта и зависимости диэлектрической проницаемости от магнитного поля.

Исследование автором монокристаллического образца $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$ также являлось всесторонним, и именно измерение зависимости обратного магнитоэлектрического эффекта от величин внешних магнитного и электрического полей, а также температуры позволило обнаружить магнитоэлектрический отклик на частоте в два раза превышающей частоту прикладываемого электрического поля (вторая гармоника). Согласно выводам автора можно предположить, что в данном случае наблюдается сочетание явлений пьезоэффекта и электрострикции.

Автореферат написан ясным языком и содержит необходимые детали экспериментов, что позволяет убедиться в надежности полученных результатов.

Вместе с этим после прочтения автореферата возникло несколько вопросов, которые не затрагивают основные выводы диссертации и касаются деталей полученных результатов и особенностей проведенных экспериментов.

1. Основным выводом по третьей главе является построение качественной модели. Автор рассматривает взаимодействие магнитного момента подболочки 4f иона гольмия с внешним магнитным полем, в результате которого наблюдается перераспределение электронной плотности иона гольмия, что в свою очередь, приводит к изменению электростатических взаимодействий с соседними ионами кислорода. Сделанный автором вывод опирается на наличие сильного спин-орбитального взаимодействия. Подобная модель, однако, не учитывает влияния соседних ионов кристаллической решетки. В теории кристаллического поля для ионов f-элементов оказывается необходимым учитывать взаимодействие электрона с соседними ионами кристаллической решетки, так как электростатические силы со стороны соседних ионов по своей величине могут превышать энергию спин-орбитального взаимодействия. Другими словами, для расчета электронного состояния для f-элементов необходимо переходить от модели ионной связи к модели ковалентной связи, в которой электронная плотность будет уже распределена по нескольким узлам кристаллической решетки. Хотелось бы узнать, в конкретном случае для соединения $\text{HoAl}_3(\text{BO}_3)_4$

- проводил ли автор оценки величины электростатических взаимодействий (кристаллического поля) электронной оболочки иона гольмия с соседними ионами?
2. Несмотря на то, что в целом автореферат написан ясным языком, в тексте все же встречаются опечатки и неуместные жаргонизмы, делающие чтение если не более сложным, то точно более напряженным. Например:

стр. 4 «...Не смотря на большое количество работ...»

стр. 11-12 «...что связано с пьезоэлектричеством, разрешенным группой R32...»

стр. 13 «...магниодиэлектрический...»

стр. 14 «...взаимодействия кристаллического поля с орбитой...»

На стр. 9 автор употребляет выражение: «...метод не является прямым и требует колировки...». Термин «колировка» обозначает процедуру прививки плодовых деревьев. Если не относить это выражение к простой опечатке, то представляется вероятным, что автор не раскрывает в автореферате всех подробностей работы, проделанной в данном направлении.

Высказанные замечания определенно носят частный характер. Представленная А.Л. Фрейдманом работа на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук свидетельствует о высоком научном уровне и квалификации соискателя, а ее автор, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07. - физика конденсированного состояния.

Зам. директора
Института катализа СО РАН,
д.х.н.

Научный сотрудник ИК СО РАН
к.ф.-м.н.

Подпись д.х.н. О.Н. Мартьянова и
к.ф.-м.н. С.С. Якушкина заверяю
Ученый секретарь ИК СО РАН
д.х.н.

О.Н. Мартьянов

С.С. Якушкин

Д.В. Козлов

