

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Готовко Софьи Климентовны «Электронный спиновый резонанс в мультиферроиках», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

по специальности 1.3.10 Физика низких температур.

Диссертационная работа состоит из Введения, четырёх глав, Заключения, списка публикаций автора по теме диссертации, списка используемой литературы и Приложения. Диссертация содержит 117 страниц текста, 26 рисунков и одной таблицы.

Во введении дана общая характеристика работы: обоснована ее актуальность, научная новизна и значимость. Изложены цели и задачи работы, сформулированы положения, выносимые на защиту и указана апробация работы.

В первой главе изложена методика эксперимента и достаточно подробно описаны используемые в работе экспериментальные установки и указаны основные измеряемые параметры.

Во второй главе описывается кристаллографическая структура исследуемого квазидвумерного фрустрированного магнетика CuCrO_2 и его магнитная энергия. На основе этих данных рассмотрена возможность электронного спинового резонанса (ЭСР) в данном магнетике и изучено влияние электрического поля, которое накладывается дополнительно к схеме регистрации магнитного резонанса. Из анализа экспериментальных данных был сделан вывод, что сдвиг линий ЭСР линейно зависит от величины электрического поля, а его знак зависит от направления электрической поляризации в образце.

В третьей главе описаны аналогичные исследования уже квазиодномерного фрустрированного магнетика LiCuVO_4 . Помимо этих исследований в данной главе проведён симметричный анализ магнитной структуры магнетика LiCuVO_4 . Результаты проведённого анализа в совокупности с феноменологической теорией Андреева-Марченко позволили рассчитать частоты ЭСР в присутствии электрического поля, которые хорошо согласуются с экспериментальными значениями.

В четвёртой главе обсуждаются результаты экспериментального изучения и теоретического рассмотрения спектров ЭСР в магнитоупорядоченных фазах кристаллов линарита $\text{PbCuSO}_4(\text{OH})_2$. В рамках теоретического рассмотрения использовались как микроскопический, так и макроскопический подходы, которые позволили предложить так называемую минимальную модель магнитной анизотропии. Здесь же указаны пути дальнейшего усовершенствования предложенной модели, которые должны обеспечить лучшее соответствие для наблюдаемых в эксперименте резонансных частот.

В разделе Заключение приведены в сжатом виде основные результаты диссертационной работы.

Актуальность темы выполненной работы

До работ автора диссертации было известно влияние внешнего магнитного поля на электрические характеристики магнетиков-мультиферроиков CuCrO_2 и LiCuVO_4 . Естественно, проблема обратного влияния внешнего электрического поля на магнитные характеристики этих соединений представляет, прежде всего, фундаментальный интерес, а также может найти своё применение и в прикладных задачах.

Ещё более интересной задачей с фундаментальной точки зрения представляется поиск экзотических магнитных фаз, которые к началу работы автора диссертации были теоретически предсказаны для фрустрированных квантовых цепочек со спином $S = \frac{1}{2}$. В

качестве кандидата на такой объект исследования автором был выбран мультиферроик $\text{PbCuSO}_4(\text{OH})_2$, уникальная фазовая диаграмма которого позволяла надеяться на экспериментальное обнаружение экзотических магнитных фаз.

Основные результаты диссертационной работы и их достоверность.

Основные результаты, в интерпретации автора, с которой я полностью согласен, выглядят следующим образом.

1. Обнаружено влияние электрического поля на частоты магнитного резонанса в квазидомерном антиферромагнетике CuCrO_2 . Экспериментальные результаты подтверждают результаты теоретического анализа, проведённого в рамках макроскопического подхода.
2. Экспериментально изучено влияние электрического поля на спектр ЭСР и магнитную структуру в мультиферроике LiCuVO_4 в спиральной фазе. В области малых полей обнаружен сдвиг линий резонансного поглощения. В поля выше поля спин-переориентационного перехода, где ожидается отсутствие электрической поляризации, обнаружен сдвиг спектра ЭСР, что свидетельствует о значительном влиянии электрического поля на характер спин-переориентационного перехода.
3. Проведён симметричный анализ магнитной структуры LiCuVO_4 . В рамках макроскопической модели описана связь между спонтанной электрической поляризацией в данном веществе и магнитным параметром порядка. Теоретически описан поворот структуры и рассчитан спектр ЭСР в присутствии внешних электрического и магнитного полей.
4. Изучена связанная динамика магнитной системы и электрической поляризации в присутствии внешнего электрического поля для мультиферроиков CuCrO_2 и LiCuVO_4 .
5. Экспериментально показано, что с помощью магнитного поля можно управлять ориентацией спиновой плоскости в соединениях CuCrO_2 и LiCuVO_4 , а с помощью электрического поля можно контролировать вращение спинов в спиновой плоскости.
6. Проведено мультиспектрное исследование спектра ЭСР в квазиодномерном магнетике $\text{PbCuSO}_4(\text{OH})_2$ в области полей вплоть до поля насыщения. Получены основные макроскопические и микроскопические параметры анизотропии. Полученные спектры ЭСР подтверждают, что в низких полях реализуется планарная спиральная структура, а в промежуточных полях при ориентациях полей, близких к направлению вдоль спиновой цепочки реализуется соизмеримая антиферромагнитная фаза. Спектры ЭСР в высоких полях могут быть интерпретированы в рамках фен-фазы,

Достоверность полученных результатов подтверждается, во-первых, согласованием экспериментальных данных с теоретическими предсказаниями, а во-вторых, докладами на девяти профессиональных конференциях, симпозиумах, школах и совещаниях, а также тремя публикациями в очень авторитетном журнале, *Physical Review B*.

Оценка научной новизны исследования и практическая значимость полученных результатов

Все полученные результаты являются абсолютно новыми, по крайней мере, на момент представления диссертации. Выводы, сделанные автором на основе своих экспериментов и анализов их результатов, позволяют уверенно говорить о последствиях влияния электрического поля на мультиферроики CuCrO_2 и LiCuVO_4 . Эта информация, в свою очередь, позволяет более осознанно подходить к исследованиям аналогичных материалов в будущем. Кроме того, автору удалось существенно ограничить область обнаружения

экзотических мультипольных состояний в линарите $\text{PbCuSO}_4(\text{OH})_2$, что позволяет надеяться на окончательный успех в этом поиске. Также следует отметить демонстрацию управления магнитной структурой исследуемых соединений электрическим и магнитным полями.

Замечания.

1. Исследования проводились в широком диапазоне СВЧ-излучения: от 20 ГГц до 140 ГГц. При этом, в диссертации написано, что используется объёмный прямоугольный резонатор. Однако, ничего не сказано, использовался ли в работе набор различных резонаторов или был только один резонатор. Хотелось бы, во-первых, чётко представлять геометрические параметры резонаторов, а во-вторых, понимать, как проводилась их настройка.
2. У меня осталось недопонимание относительно выражения для магнитной энергии (2.7). Почему слагаемые, учитывающее анизотропию магнитной восприимчивости, выпадает при направлении магнитного поля параллельно к спиновой плоскости? Кроме того, одним из следствий этого выражения является линейная асимптотика с наклоном, пропорциональным $(\chi_{\parallel}/\chi_{\perp} - 1)^{1/2}$. Но как тогда быть в случае, когда выражение в скобках имеет отрицательный знак? Следовало бы оговорить такую возможность.
3. На рисунке 2.4 изображены спектр поглощения в случае прямого детектирования и этот же спектр при модуляции электрического поля в случае синхронного детектирования на частоте модуляции электрического поля (верхняя и средняя панели). Между амплитудой электрического поля и возникающей за счёт него добавкой к магнитному полю имеется линейная зависимость. Тогда почему сигнал поглощения от домена А на средней панели не является производной от соответствующего сигнала на верхней панели? Надо было пояснить это несоответствие.
4. Осталось не понятным, почему никак не прокомментированы разные наклоны у прямых на нижней панели рисунка 3.5. Из выводов, сделанных в диссертационной работе, следует, что наклоны должны быть одинаковыми.
5. Следовало пояснить, почему формы кривых на средней и нижней панелях рисунка 3.6 не соответствуют производной от сигнала поглощения, показанного на верхней панели, в то время как при другой ориентации внешнего поля (см. рис. 3.7) синхронное детектирование даёт форму сигнала, соответствующую производной от сигнала поглощения, как и должно быть при малой, по сравнению с шириной линии поглощения, амплитуде модуляции магнитного поля.
6. На мой взгляд следует более осторожно говорить о величинах масштабирующего коэффициента при сравнении сигналов прямого детектирования и синхронного детектирования с модуляцией электрического поля. В идеале, конечно, зная точно коэффициенты усиления регистрирующих систем в обоих случаях и, что ещё более сложно, обеспечив одинаковую величину магнитной компоненты СВЧ поля в многомодовом резонаторе, можно вычислить такой коэффициент. Но в диссертации эти вопросы не были рассмотрены.
7. В тексте диссертации несколько раз встречается, что в работе имеет место управление доменной структурой образца. При этом демонстрируется просто подавление доменной структуры. Всё-таки эти два процесса не тождественны.

Все эти замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы в целом. Диссертация С. К. Готовко является самостоятельным законченным

исследованием, выполненным на современном уровне и имеющим большое научное и практическое значение.

Оформление диссертации соответствует предъявляемым требованиям. Автореферат и публикации по теме диссертации с достаточной полнотой отражают ее содержание. Текст диссертации и автореферата демонстрируют хороший грамматический уровень С. К. Готовко. Основные результаты проведенных исследований представлены в 3 печатных работах в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ и индексируемых в WOS и Scopus, и в докладах на девяти профессиональных конференциях, симпозиумах, школах и совещаниях.

Диссертационная работа С. К. Готовко удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК Российской Федерации, к кандидатским диссертациям, предусмотренным пп.9 и 10 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор, Готовко Софья Климентовна, безусловно, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.10 Физика низких температур.

Официальный оппонент

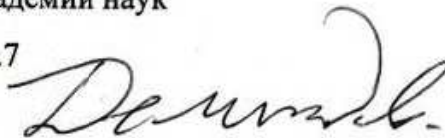
Демидов Виктор Владимирович

доктор физико-математических наук, (01.04.11 – “Физика магнитных явлений”), доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории исследования свойств магнитных и оптических микро- и наночастиц №191

ФГБУН Институт радиотехники и электроники

им. В.А. Котельникова Российской академии наук

125009 Москва, ул. Моховая, 11, корп.7



(Демидов В. В.)

Тел. +7(915)237-98-80

e-mail: demidov@cplire.ru

26.09.2022

Подпись Демидова В. В. удостоверяю

Ученый секретарь ИРЭ им.В.А. Котельникова РАН

кандидат физ.-мат. наук



(И.И. Чусов)