

“Утверждаю”
Директор
ФГБУН “Институт Физических проблем им. П.Л. Капицы РАН”
ул. Косыгина, 2, 119334 Москва

академик
Дмитриев Владимир Владимирович
“ ” _____ 2019

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ НА ДИССЕРТАЦИЮ М. А. ПРОСНИКОВА
“Магнитная и решеточная динамика сложноструктурных антиферромагнитных оксидов 3d
переходных металлов”,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 01.04.07 “Физика конденсированного состояния”

Диссертационная работа М. А. Просникова посвящена экспериментальному исследованию динамики решетки и спиновой динамики антиферромагнитных кристаллов со сложной структурой, обладающих многими типами нормальных колебаний оптических фононов.

Работу отличает особая тщательность оптических спектральных исследований, в которых были обнаружены, идентифицированы и систематизированы динамические моды кристаллов, содержащих порядка десятка атомов в примитивной ячейке, соответственно, количество нормальных мод достигает нескольких десятков. Для исследования были выбраны монокристаллы высокого качества, которые были подготовлены для исследования методом комбинационного рассеяния в оптическом диапазоне путем аккуратной подготовки и полировки граней. Диссертация объемом 117 страниц содержит Введение и 6 глав: Магнитная и решеточная динамика, Экспериментальные и теоретические методы, и четыре главы, посвященные оригинальным результатам. Имеется также Заключение и Список литературы.

Остановимся на оригинальных результатах М. А. Просникова. В каждом из выбранных объектов исследования М. А. Просниковым были обнаружены новые физические особенности динамики диэлектрических магнитных кристаллов. Основные результаты работы М.А. Просникова состоят, на наш взгляд, в следующем:

1) В кристаллах ортобората никеля $\text{Ni}_3(\text{VO}_3)_2$ были обнаружены все 30 Раман-активных мод решеточных колебаний, которые идентифицированы с помощью поляризационных условий их возбуждения и первопринципного расчета частот и симметричного анализа типов нормальных колебаний. Это свидетельствует о высокой профессиональной

квалификации М.А. Просникова как специалиста в области кристаллооптики и физики кристаллов, а также о высоком классе применяемой аппаратуры. Важным обнаруженным динамическим эффектом является изменение правил отбора для возбуждения определенной фоновой моды при антиферромагнитном фазовом переходе, когда ниже точки перехода запрещенное симметрией возбуждение моды V_{2g} становится разрешенным. Это наблюдение резкого изменения динамических свойств позволяет автору обнаружить структурный переход, сопровождающий антиферромагнитное упорядочение с весьма малой величиной структурного искажения, соответствующего понижению симметрии кристалла. Кроме того, важным наблюдением является наблюдение комбинационного рассеяния, обусловленного возбуждением спиновых волн, что может служить в дальнейшем для идентификации спектров спинов спиновых волн и определения величин обменных интегралов.

2) При исследовании вольфрамата никеля $NiWO_4$, магнитная структура которого была изучена в предшествующих исследованиях, М. А. Просникову удалось обнаружить все 18 фоновых мод с четной структурой колебаний и идентифицировать их типы по условиям возбуждения. Важным наблюдением на этом объекте является ужесточение фоновых мод при переходе в антиферромагнитно упорядоченное состояние без изменения правил отбора. Это отличает данный объект исследования от изученного в первой главе, тем, что структурного перехода не происходит. Автору удалось предложить реалистичную модель обменных связей на основании которой были рассчитаны кривые дисперсии спиновых волн. Сравнивая значения сдвигов частоты при комбинационном рассеянии с частотами спиновых волн в центре зоны Бриллюэна, был предложен набор констант обменного взаимодействия и одноионной анизотропии.

3) Среди исследованных в диссертации кристаллов ниобат-борат никеля Ni_2NbVO_6 выделяется тем, что обладает весьма сложной структурой примитивной ячейки, содержащей 40 атомов, что обеспечивает наличие 120 фоновых мод, из которых в условиях эксперимента принципиально разрешены к наблюдению 60. В экспериментах М.А. Просникова обнаружены 57 из этих 60, что безусловно характеризует качество этих экспериментов как весьма высокое. М. А. Просников с соавторами проанализировал температурную эволюцию частот этих мод при переходе в антиферромагнитное состояние и обнаружил, в отличие от предыдущих соединений, описанных выше, эффекты как ужесточения, так и смягчения фоновых мод, объясняемых спин-фононным взаимодействием. Обнаружены магнитные моды рассеяния, относящиеся к возбуждению пар магнонов, что позволило уточнить параметры спектра магнонов и произвести оценку константы анизотропии.

4) В последнем соединении, свинцово-железном борате $PbFeVO_4$, особенностью описания магнитного вклада в спектр комбинационного рассеяния является конструирование сети обменных взаимодействий с привлечением обменного взаимодействия магнитных ионов, вплоть до третьего ближайшего соседа. Тем самым, в этой части диссертации продемонстрирована возможность эффективного определения параметров сети обменных взаимодействий по результатам комбинационного рассеяния света. Интересным эффектом в этом соединении является также пересечения спектров резонансной фоновой моды и двухмагнонной полосы поглощения, проявляющееся в виде широкого пика частот рассеянного света.

Перечисленные избранные результаты М.А. Просникова свидетельствуют о том, что в диссертации описаны тонкие оптические эксперименты, характеризующие решеточную и спиновую динамику сложных антиферромагнитных систем, включая эффекты взаимодействия решеточной и спиновой подсистем. Автор владеет достаточно сложным

аппаратом современного теоретического анализа на основе симметричного подхода к динамике решетки кристаллов, а также средствами анализа структуры упорядоченных магнитных фаз и расчета спектров магнитных возбуждений. На основе теоретической части работы М.А. Просников добился достаточно полного теоретического описания наблюдаемых сложных многокомпонентных спектров и обнаружил их хорошее соответствие с экспериментом. Безусловно, эти экспериментальные и теоретические результаты служат убедительным основанием для очень высокой оценки диссертационной работы М.А. Просникова.

Тем не менее, в диссертационной работе имеется ряд недостатков, которые хотелось бы отметить:

1. Во-первых, экспериментальной методике уделено очень мало внимания. Такие вопросы, как устройство оптических окон в криостате, спектральная разрешающая способность и контраст спектрометра, необходимые для регистрации слабого рассеянного сигнала со слабо сдвинутой частотой на фоне сильного паразитного несмещенного сигнала при анализе рассеянного света, никак не обсуждаются. Конечно, следовало бы привести и другие конкретные характеристики эксперимента, такие, как диаметры оптических пучков, типы и характеристики применяемых поляризаторов, тип и диапазон лазера – источника излучения. Очевидно, что эти характеристики имели решающее значение для успеха экспериментальной работы, но они не описаны в тексте диссертационной работы. Чувствительность оптических приемников также никак не охарактеризована, их тип не указан, время накопления сигналов не упомянуто. Мощность падающего и рассеянного излучения не указаны. Конечно, освещение этих вопросов намного способствовало бы увеличению ценности данной диссертации для новых студентов и аспирантов и интересующихся достижениями современной оптики. Общие вопросы постановки эксперимента, такие, как термализация образца и система стабилизации и измерения температуры также следовало бы описать в работе.

2. В диссертации много внимания уделяется симметричному анализу возможных спиновых структур в упорядоченной фазе. Для этого используется компьютерный подход на основе метода теории групп и метода неприводимых представлений. При этом используются программные пакеты. В то же время из текста диссертации неясно, имеют ли эти методы связь с классическими методами симметричного анализа магнитных структур, развитыми на основе теории Ландау фазовых переходов второго рода в работах И.Е. Дзялошинского и Е.А. Турова. Основополагающая работа И.Е. Дзялошинского не упоминается в диссертации, а книга Е.А. Турова только упомянута, но о связи применяемых автором методов симметричного анализа с методами, описанными в книге Е.А. Турова не сообщается.

3. По поводу симметричного анализа имеется также следующее замечание. Автор применяет этот метод для описания спиновых структур тех соединений, для которых структура магнитного упорядочения (величина и направление магнитных моментов в узлах кристаллической решетки) уже была известна из предшествующих экспериментальных работ то есть для NiWO_4 и PbFeBO_4 или *ab initio* расчетов для Ni_2NbVO_6 . Наиболее интересно было бы применить мощные компьютерные методы симметричного анализа для предсказания неизвестной пока еще магнитной структуры $\text{Ni}(\text{BO}_3)_2$ и попробовать уточнить эту структуру с использованием данных о магнитном комбинационном рассеянии, полученных в экспериментах М.А. Просникова. Однако, этого почему-то не сделано и возможность такого анализа в этом, наиболее интересном случае, не обсуждается.

4. Имеется замечание терминологического характера. Автор употребляет термин “обменная структура” для определения системы сети обменных взаимодействий. В то же время, в литературе до недавнего времени этот термин употреблялся для описания спиновой структуры, то есть совокупности магнитных моментов в узлах решетки, которая

реализуется в обменном приближении чисто гейзенберговского гамильтониана. По мере чтения работы, конечно, становится понятным, что имеет в виду автор, но в начале чтения это новое использование старого термина приводит к неясности изложения.

5. Для всех наблюдаемых фононных мод в диссертации указывается тип симметрии данного колебания. Однако нет ни одного примера описания конкретного устройства хотя бы одной из нормальных мод. Хотелось бы увидеть описание конкретного движения конкретных атомов и ионов на примере одного или нескольких типов нормальных мод фононных колебаний

6. Приведенные значения обменных интегралов и констант анизотропии, полученные из подгонки частот наблюдаемых мод комбинационного рассеяния к спектрам спиновых волн приедены в диссертации с очень высокой точностью, лучше 1 % (см, например, величины J_1 , J_2 , J_3 в Таблице 5). Однако, реальная ошибка этих результатов не обсуждается и не приводится.

Указанные недостатки носят, в основном, редакционный характер и никоим образом не снижают ценности полученных автором прекрасных результатов и не влияют на обоснованность положений, выносимых автором на защиту. Положения, выносимые автором на защиту, не вызывают сомнений. Основные результаты работы опубликованы в ведущих физических журналах, доложены на конференциях, апробированы на авторитетных научных семинарах.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа М.А. Просникова полностью отвечает требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года (№ 842), ред. От 02.08.20116, а ее автор Просников Михаил Алексеевич заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 “физика конденсированного состояния”.

Диссертация М.А. Просникова может быть использована в научных исследованиях, проводимых в области магнетизма и физики кристаллов в ФТИ РАН им А.Ф. Иоффе, ИОФ РАН им. А.М. Прохорова, ФИ РАН им П.Н. Лебедева, ИФТТ РАН, ИФ СО РАН им. Л.В. Киренского, КФТИ РАН им. Е.К. Завойского, ИФМ УрОРАН им М.Н. Михеева, МГУ им М.В. Ломоносова, МФТИ, СПбГУ, ПИЯФ им Б.П. Константинова, ИКРАН им Л.В. Шубникова, РНЦ Курчатовский Институт, Казанском (Приволжском) Федеральном Университете, Балтийском Федеральном Университете им. И. Канта, Владивостокском Федеральном Университете, Южном (Ростовском) Федеральном Университете, Санкт-Петербургском государственном университете “ЛЭТИ”.

Данный отзыв заслушан и утвержден на заседании Ученого Совета ИФП РАН им П.Л. Капицы 23 января 2019г, протокол № 673.

Отзыв составил

Ведущий научный сотрудник

Института физических проблем им. П. Л. Капицы РАН

Проф. Смирнов Александр Иванович

Федеральное государственное учреждение науки

Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН

119334 Москва, ул. Косыгина, 2

Тел+74991370998, www.kapitza.ras.ru, smirnov@kapitza.ras.ru