

Отзыв

официального оппонента на диссертацию Просникова Михаила Алексеевича "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"

Развитие спинтроники и технологический прогресс в этой области инициировал поиск и фундаментальные исследования новых антиферромагнетиков с высокими частотами магнитных возбуждений, необходимых для малого времени переключения. В этой связи **актуальность** выбранной соискателем темы диссертации не вызывает сомнения.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 117 страниц, включая 34 рисунка и 10 таблиц. В работе приведены результаты экспериментальных исследований динамики решетки в антиферромагнитных оксидах 3d-металлов, а именно, в ортоборате никеля, вольфрамите никеля, ниобате-борате никеля, и свинцово-железном борате. Все выбранные соединения объединяет одно важное свойство – сильная фонон-магнонная связь, что по-разному проявляется в фононных спектрах и, по сути, является основным предметом исследований.

Экспериментальные методы исследований – ИК и Рамановская спектроскопия. Кроме того, для всех соединений выполнен стандартный симметричный анализ, исходя из известной пространственной группы в парамагнитной области и известного волнового вектора магнитной структуры, с помощью программ с Bilbao Crystallographic Server и кода ISODISTORT. В рамках известной или предполагаемой магнитной структуры для всех составов проведено моделирование магнонного спектра в приближении линейной теории спиновых волн с помощью программы SpinW.

Ниже следуют основные физические результаты, полученные в ходе исследований. Все результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы, являются **оригинальными и новыми**.

1. В **ортоборате никеля** $\text{Ni}_3(\text{BO}_3)_2$ наблюдался богатый спектр связанных решеточных и магнитных возбуждений. Показано, что изменение правил отбора комбинационного рассеяния света ниже температуры Нееля вызвано магнитоструктурным переходом, что подтверждено симметричным анализом. Предполагается, что структурная нестабильность связана с наличием обменных фрустраций.

2. Для **вольфрамата никеля** NiWO_4 проведен симметричный анализ возможных магнитных структур. Поскольку магнитная структура известна, ограничиваясь тремя обменными интегралами, и фиксируя известный магнитный момент, выполнены расчеты спектров магнитных возбуждений с помощью программы SpinW. Экспериментальными величинами, по которым производилась минимизация обменного гамильтониана, были частоты магнитных мод из Рамановских спектров. В результате получены константы обменного взаимодействия и кристаллической анизотропии. Эта анизотропия ответственна за снятие вырождения моды антиферромагнитного резонанса в нулевом магнитном поле.

Анализ динамики решетки показал взаимодействие спин-решеточное взаимодействие, которое проявилось в виде ужесточения наблюдаемых фононных мод, и которое было интерпретировано диссертантом как магнитострикционный эффект с изменением объема ячейки.

3. **Ниобат-борат никеля** Ni_2NbBO_6 исследован по стандартной, апробированной схеме: спектры Рамановского рассеяния, моделирование магнетонного спектра программой SpinW, симметричный анализ возможных магнитных структур. К сожалению, волновой вектор магнитной структуры неизвестен, поэтому симметричный анализ выполнен в предположении $\mathbf{k} = 0$.

Анализ спектров Рамановского рассеяния показал наличие нетривиального спин-фононного взаимодействия, которое проявляется, как в виде смягчения, так и ужесточения фононных мод, при переходе в магнитоупорядоченную фазу. Необычным является тот факт, что в зависимости от выбранной фононной моды эффект обладает разными знаками или полностью отсутствует. Это наблюдение было интерпретировано как вклад различных мод в модуляцию соответствующих сверхобменных взаимодействий.

На основании обменных констант, известных из литературы, рассчитаны спектры спиновых волн и плотность магнетонных состояний, позволившие отнести некоторые моды к двухмагнетонному рассеянию, что определено по характерной форме плотности магнетонных состояний ниже температуры Нееля. Следует отметить, что экспериментальное наблюдение "полос" в спектре, и их интерпретация как проявление двухмагнетонного рассеяния, является одним из самых интересных результатов диссертации.

4. Для **свинцово-железного бората** температурная зависимость частот фононов выявила их нетривиальное поведение при магнитном упорядочении, что свидетельствует о сильной фонон-магнетонной связи. Кроме того, в спектрах рассеяния в магнитоупорядоченной фазе обнаружены необычные магнитные возбуждения. Вычисления дисперсии магнетонов с использованием линейной теории спиновых волн позволили идентифицировать эти моды как оптический магнетон и двухмагнетонное возбуждение.

Следует отметить, что для свинцово-железного бората в отличие от других исследованных соединений выражение для частот магнетонов получено аналитически, а не численно. По результатам экспериментов определены константы обменного взаимодействия и кристаллической анизотропии.

У меня есть ряд вопросов физического характера.

1. Откуда взят магнитный момент для NiWO_4 для расчета программой SpinW?
2. Почему не определена магнитная структура Ni_2NbBO_6 , в чем проблема?
3. Какие основания полагать, что в Ni_2NbBO_6 реализуется волновой вектор $\mathbf{k} = 0$?
4. Почему теоретико-групповой анализ ограничен только максимальными, центро-симметричными и неполярными подгруппами.

Диссертация не свободна от недостатков.

В частности, практически нигде не приводятся экспериментальные ошибки, например, при сравнении эксперимента и расчета: Таблица 1 на стр. 39 или Таблица 5 на стр. 64.

В целом текст диссертации неплохо структурирован, однако стиль изложения оставляет желать лучшего. Много "изобретенных" определений. Например, "сложноструктурные оксиды". Или, "двухосная анизотропия" – это анизотропия в плоскости? Присутствуют кальки с английского, например, "пинхол", "пробировать", "фиттинг". Некоторые фразы просто непонятны для неспециалистов: например, что такое "тройной режим с вычитанием дисперсии"? Однако указанные замечания не снижают научной значимости и общей положительной оценки диссертационной работы.

Закключение. Выполнено экспериментальное исследование магнитной и решеточной динамики антиферромагнетиков $\text{Ni}(\text{BO}_3)_2$, Ni_2NbBO_6 , NiWO_4 , PbFeBO_4 с использованием комбинационного рассеяния света, предложены обменные модели с оценками параметров обменного взаимодействия, проведены расчеты спектров спиновых волн и симметричный анализ магнитных структур. Полученные результаты вносят существенный вклад в понимание решеточной и магнитной динамики оксидных антиферромагнетиков, и, несомненно, будут востребованы.

Основные результаты работы опубликованы в высокорейтинговых журналах, таких как *Physical Review B* и *Journal of Physics: Condensed Matter*, доложены на международных и российских конференциях. Основные выводы и результаты диссертационной работы научно обоснованы и их следует считать достоверными.

Уровень проведенных исследований достаточно высокий, использованы современные теоретические подходы, экспериментальные наблюдения подкреплены симметричным анализом и расчетами в приближении линейной теории спиновых волн. Диссертант успешно использует разные взаимодополняющие экспериментальные методы: поляризационная Рамановская спектроскопия, ИК-спектроскопия, измерение теплоемкости и магнитной восприимчивости и другие. Очевидно, что соискатель хорошо владеет темой.

Публикации полностью отражают основные результаты работы. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

Диссертационная работа "Магнитная и решеточная динамика сложноструктурных антиферромагнитных оксидов 3d переходных металлов" полностью удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, и соответствует п. 9 "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013. Автор диссертации, Просников Михаил Алексеевич, заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – "физика конденсированного состояния".

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ

Голосовский Игорь Викторович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Отделения нейтронных исследований, ФГБУ "Петербургский Институт Ядерной Физики им. Б. П. Константинова", Национального исследовательского центра "Курчатовский Институт", г. Гатчина

Контактные данные:

Почтовый адрес: 188300, Ленинградская обл., г. Гатчина, Орлова роща, д. 1

Телефон: +7 921 344 54 72

Электронная почта: golosovsky_iv@pnpi.nrcki.ru

18 февраля 2019.

/ Голосовский И. В. /