

ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н. Овчинникова Сергея Геннадьевича
на диссертационную работу
Федянина Анатолия Евгеньевича

«Лазерно-индуцированная динамика спиновых корреляций на частотах двухмагнонных мод в кубических антиферромагнетиках», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

по специальности 1.3.8 — физика конденсированного состояния

Диссертация Федянина Анатолия Евгеньевича – хорошо структурированная и продуманная работа, изложенная на 99 страницах, состоящая из введения, четырех глав с изложением результатов, заключения, и списка литературы.

Актуальность темы диссертации: благодаря лазерному возмущению возможна реализация таких процессов как сверхбыстрое размагничивание, полностью оптическое переключение намагниченности, что может быть использовано в устройствах хранения информации. Дальнейшее развитие информационных технологий тесно связано с увеличением быстродействия при уменьшении геометрических размеров устройств. Одним из перспективных классов материалов с этой точки зрения являются антиферромагнетики, у которых большая частота магнитных возбуждений по сравнению с ферромагнетиками. Было показано, что электрическое поле лазерного излучения способно модулировать величину обменного взаимодействия, определяющего частоты магнитных возбуждений в антиферромагнетиках. В свою очередь, изменение обменного взаимодействия позволяет возбуждать двухмагнонные моды, соответствующих возбуждению пар магнонов с противоположными волновыми векторами. При этом снимается существенное ограничение для оптических методик возбуждения магнонов – закон сохранения импульса, связывающий волновой вектор фотона с волновым вектором возбуждаемой моды. В случае двухмагнонных мод, их суммарный волновой вектор равен нулю, а значит рассеяние света на данной моде разрешено даже если магноны, входящие в пару, имеют крайне высокие волновые вектора. Более того, в силу дисперсионных соотношений для магнонов в антиферромагнетиках, в среднем свет будет испытывать рассеяние чаще всего на магнонах с волновыми векторами вблизи границы зоны Бриллюэна, где частота достигает максимума. Таким образом, такие двухмагнонные моды обладают крайне высокой частотой, лежащей в ТГц области, и могут наблюдаться при спонтанном комбинационном рассеянии света (КРС). Появление лазеров с длительностями импульсов порядка фемтосекунд позволило использовать широкий спектр импульсов для реализации импульсного вынужденного комбинационного рассеяния света (ИВКРС). Выгодным отличием данной методики от КРС оказывается возможность исследовать когерентную динамику как с низкими частотами, так и с высокими, что дает возможность исследовать двухмагнонные моды во временной области при импульсном возбуждении.

Целью данной работы явилось теоретическое описание лазерноиндуцированной динамики спиновых корреляций в кубических диэлектрических антиферромагнетиках на частотах двухмагнонных мод и ее влияния на макроскопические магнитные и оптические свойства кристалла. Исследование хорошо продумано и спланировано, что является безусловной заслугой как диссертанта, так и его научного руководителя. Литературный обзор со списком литературы из 75 ссылок продемонстрировал владение диссертантом современным уровнем исследований по теме диссертации.

В главе 2 разработан метод теоретического описания динамики спиновых корреляций в рамках минимальной модели прозрачного кубического антиферромагнетика. Соискателем показано, как импульсное возмущение обменного взаимодействия электрическим полем фемтосекундного лазера вызывает осцилляции спиновых корреляций для связей вдоль и перпендикулярно электрическому полю импульса. В работе проанализированы поляризационные зависимости импульсов накачки и зондирования в кубических и тетрагональных антиферромагнетиках. Экспериментальные данные из работы [40] для KNiF_3 показывают хорошее согласие с представленной теорией как по величине, так и по симметрии эффекта. Следует отметить, что развитая теория может легко обобщаться на случай центросимметричных кристаллов, таких как фториды переходных металлов, например FeF_2 и CoF_2 .

В главе 3 рассмотрен вопрос о корректном описании одномагнонных и двухмагнонных возбуждений с помощью построенного псевдовектора спиновых корреляций и эффективных полей обменного взаимодействия. Для дополнительной верификации спин-корреляционного подхода в описании сверхбыстрой лазерно-индуцированной магнитной динамики выполнено сравнение результатов расчётов с экспериментальными данными по RbMnF_3 . Показано, что лазерно-индуцированное возмущение обменного взаимодействия можно выразить через изменение вектора эффективного поля, что является прямым аналогом классических моделей для описания возбуждения спиновой динамики в ферромагнетиках. Важно отметить, что получившееся уравнение является дифференциальным уравнением первого порядка, а значит не обладает инерцией. Этот факт еще раз подчеркивает отличие двухмагнонных мод от одномагнонных, так как для одномагнонных мод в антиферромагнетике уравнение движения обязано быть уравнением второго порядка и обладать инерцией. Понимание данной особенности динамики спиновых корреляций при возбуждении двухмагнонной моды позволило определить оптимальные параметры для планирования экспериментов по методике накачки-зондирования.

В главе 4 сравниваются спектры двухмагнонных мод при спонтанном (КРС) и импульсном вынужденном комбинационном рассеянии света (ИВКРС). Соискателем выведено аналитическое выражение для двухмагнонных спектров в обоих типах экспериментов по КРС и ИВКРС и показано, что в обоих случаях магноны с края зоны Бриллюэна вносят наибольший вклад в измеренные спектры. Выведенные Китамурой (ссылка [18]) в рамках однозонной модели Хаббарда для моттовских изоляторов выражения для диэлектрической проницаемости в результате их обобщения в диссертации А.Е.Федянина приобретают дополнительный диагональный вклад, обусловленный магнитным упорядочением. Сопоставление развитой в диссертации теории и полученных результатов расчета спектров КРС и ИВКРС в главе 4 для кубических антиферромагнетиков KNiF_3 и тетрагональных FeF_2 и NiF_2 показывает хорошее согласие по смещению максимумов спектров ИВКРС относительно КРС.

Вопросы и замечания:

1. Исследуемые в данной диссертации спектры КРС и ИВКРС, как утверждает соискатель, обусловлены возбуждением двух магнонов на краях зоны Бриллюэна, наиболее сильно связанных обменным взаимодействием, и модуляция этой обменной связи и приводят к наблюдаемым особенностям спектров КРС и ИВКРС. Возникает вопрос-как бы выглядели спектры КРС и ИВКРС, если бы модуляцию обменного взаимодействия можно было бы варьировать заданным извне способом?. Может быть, в других антиферромагнетиках обменное взаимодействие настолько сильное, что не меняется от накачки?
2. Обзор литературы по основным механизмам лазерно-индуцированной динамики спиновых корреляций далеко не полон, в основном представлены работы по спонтанному и импульсному вынужденному комбинационному рассеянию света. Между тем, при фемтосекундной накачке магнитный ион в возбужденном состоянии может менять не только величину, но и знак обменного взаимодействия, что было показано для FeVO_3 в

работе [Mikhaylovskiy R.V., Huisman T.J., Gavrichkov V.A., Polukeev S.I., Ovchinnikov S.G., Afanasiev D., Pisarev R.V., Rasing Th., and Kimel A.V. Resonant pumping of *d-d* crystal field electronic transitions as a mechanism of ultrafast optical control of the exchange interactions in iron oxides// Physical Review Letters, 2020, **125**, 157201. DOI: 0.1103/PhysRevLett.125.157201].

3. В списке литературы нет единого порядка. Часть ссылок начинается со списка авторов, потом название статьи, а другие начинаются с названия, потом автор.

4. Очень много описок и грамматических ошибок. Текст не вычитан как следует. Соискателю необходимо тщательнее относиться к грамотному изложению своих результатов. Большею частью такие ошибки только слегка раздражают, но иногда они приводят к невозможности понять смысл авторских фраз. При сравнении расчетов с экспериментом на рис.3.2 видно согласие характерных частот колебаний эллиптичности, но не обсуждаются явно выраженные биения эллиптичности на рис.3.2(a,b), которые отсутствуют на расчетных данных 3.2(c). Также следует указать на несоответствие рис.3.2d, который в подписи к нему называется (г). Еще пример: модуляция амплитуд осцилляций эллиптичности показана на рис. 2.4 (c,d), а в тексте на стр. 44 указаны 2.4 (b,c).

Тем не менее мои замечания не касаются принципиальных положений диссертации, но все таки пожелание соискателю в будущем тщательнее описывать свои результаты и научиться вычитывать свои тексты до их публикации.

В целом, следует отметить перспективность развитого метода исследования терагерцовой магнитной динамики в антиферромагнетиках. Полученные результаты открывают новые возможности для экспериментального исследования терагерцовой магнитной динамики в антиферромагнитных материалах. Результаты автора опубликованы в трех публикациях в солидных и уважаемых журналах.

В заключение: считаю, что диссертационная работа Федянина Анатолия Евгеньевича «Лазерно-индуцированная динамика спиновых корреляций на частотах двухмагнонных мод в кубических антиферромагнетиках» отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 "Физика конденсированного состояния" согласно Положению о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, а ее автор Федянин Анатолий Евгеньевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук."

Официальный оппонент Овчинников Сергей Геннадьевич, д.ф.м.н., профессор, руководитель научного направления «Магнетизм» Института Физики им.Л.В.Киренского – обособленного подразделения Федерального Исследовательского Центра «Красноярский Научный Центр Сибирского Отделения РАН», 660036, Красноярск. Академгородок 50/38, тел. +79835766048, электронная почта sgo@iph.krasn.ru