Институт Физики им. Киренского

Конференция молодых ученых, аспирантов и студентов. Секция «Физика»

23 марта 2016, Красноярск

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН

Красноярск 2016

Содержание

Князев Ю.В. Магнитная релаксация в Fe_2BO_4 при замещении ионами Co и Mg. 3

Никитин С.Е. Исследование спиновой динамики в монокристалле $YbFeO_3$ с помощью неупругого рассеяния нейтронов. 4

Пятнов М.В. Оптические локализованные состояния в структуре, состоящей из двух противоположно закрученных слоев холестерического жидкого кристалла и металла. 5

Шустин М.С. Модификация магнитных свойств металлоорганических магнетиков при облучении. 6

Морячков Р.В. Малоугловое рентгеновское рассеяние на аптамере RE31 7

Ляпина А.А. Распространение звуковых волн в акустических резонаторах 8

Кузьмин В.И. Влияние скошенного антиферромагнитного порядка на электронную структуру в t-J* модели в рамках кластерной теории возмущений. 9

Красиков А.А. Магнитные свойства наночастиц ферригидрита бактериального происхождения и их трансформация в ходе низкотемпературной термообработки. 10

Тамбасов И.А. Твердофазный синтез тонких оксидных пленок: транспортные и магнитотранспортные свойства. 11

Пилипчук А.С. Связанные состояния в континууме в интегрируемых и неинтегрируемых волноводных структурах. 12

Магнитная релаксация в Fe_2BO_4 при замещении ионами Co и Mg

Ю. В. Князев, науч. рук. к.ф.-м.н., с.н.с. Н. В. Казак
Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН

Оксибораты с общей формулой $M^{2+}M^{3+}BO_4$, кристаллизуются в структуре варвикита и обладают ромбической симметрией (*Pnma*) [1]. Металлические ионы находятся в октаэдрическом окружении кислорода и занимают две неэквивалентные кристаллографические позиции 1 и 2. Ряды из четырёх октаэдров (2-1-1-2) объединяются в ленты (*ribbons*) и распространяются вдоль *b*-оси.

Наиболее интересным представителем семейства варвикитов является Fe_2BO_4, который отличается дальним магнитным порядком и достаточно высокой температурой упорядочения (155 К) [2]. Замещение части ионов Fe на диамагнитный Mg и магнитный Co приводит к возникновению состояния спинового стекла [3]. В данной работе исследования этого состояния были проведены с точки зрения эффекта Мёссбауэра на замещённых образцах $CoFeBO_4$ и $MgFeBO_4$, полученных методом спонтанной кристаллизации из раствора – расплава.

На парамагнитных спектрах поглощения эффекта Мёссбауэра при комнатной температуре удалось показать, что железо находится в трёхвалентном состоянии для обоих образцов. Что было подтверждено с помощью XANES-спектроскопии. При этом оба метода регистрируют практически равновероятное распределение ионов Fe по неэквивалентным позициям.

При T = 6 К спектры поглощения эффекта Мёссбауэра демонстрируют магнитное расщепление и могут быть описаны тремя секстетами с близкими по величине изомерными сдвигами и квадрупольным расщеплением, но разными величинами сверхтонкого поля (447 кЭ для $MgFeBO_4$ и 476 кЭ для $CoFeBO_4$).

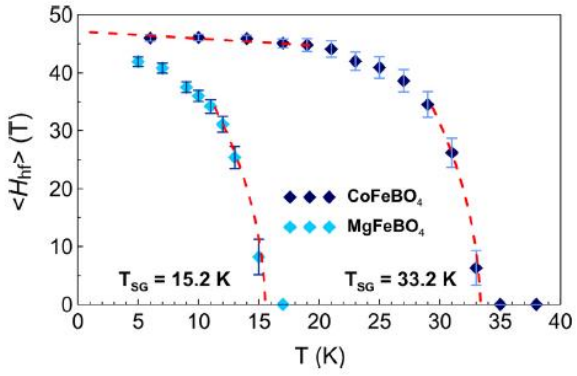

Рис. 1. Температурная зависимость сверхтонкого поля образцов $MgFeBO_4$ и $CoFeBO_4$

В режиме промежуточных температур спектры имеют релаксационный характер, однако, их вид отличен от суперпарамагнитной релаксации и типичен для фрустрированного состояния магнитного момента железа, что характерно для спинового стекла [2]. Уширение магнитных линий происходит из-за флуктуаций константы анизотропии, которая имеет различное значение для позиций M1 и M2 из-за различного магнитного окружения ионов Fe.

Температура установления состояния спинового стекла была определена с помощью температурной зависимости сверхтонкого поля (рис. 1) и составляет 15,2 К и 33,2 К для $MgFeBO_4$ и $CoFeBO_4$ соответственно. Отличие температуры перехода от магнитных данных [4] объясняется отклонением времени релаксации в спин-стекольном состоянии от значения в парамагнитной области.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ (№ 16-32-60049 мол_а_dk, № 16-32-00206 мол_а), Программы СО РАН № II.2P договор 0358-2015-0005)

Литература

[1] A. Apostolov. M. Mikhov. and P.Toholakov. Phys. Stat. Sol. (a) 56. K33 (1979).
[2] Arauzo et al./Journal of Magnetism and Magnetic Materials 392 114–125 (2015)
[3] J. P. Attfiekd et al. J. Mater. Chem., 9, 205–209 (1999).
[4] S. Mшrup, J. Magn. Magn. Mater. 37 39–50 (1983).

Исследование спиновой динамики в монокристалле $YbFeO_3$ с помощью неупругого рассеяния нейтронов.

С.Е. Никитин, науч. рук. к.ф.-м.н., доцент С.И. Попков
Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН
Сибирский Федеральный Университет

В данной работе представлены результаты исследования спиновой динамики в монокристалле $YbFeO_3$ с помощью неупругого рассеяния нейтронов в температурном диапазоне спин-переориентационного перехода. Полный спектр неупругого рассеяния с энергией падающего пучка E=3, 12, 99 meV был получен в Oak Ridge National Laboratory, USA.

Амплитуда и форма магнонных ветвей железной подсистемы остается неизменными, несмотря на спин-переориентационный переход, однако он приводит к перенормализации интенсивностей этих ветвей. Детальное изучение Q-зависимости поляризационного фактора, а также магнитные измерения и расчеты в модели кристаллического поля показали, что спины Yb^{3+} не меняют своего направления при спин-переориентационном переходе. Однако направление молекулярного магнитного поля, которое действует на ионы Yb^{3+} изменяется с продольного в фазе Г2, на поперечное в фазе Г4.

Спектр неупругого рассеяния содержит возбуждения типа континуума вдоль направления (0,0,L), и при этом не имеет дисперсии в направлениях (H,0,0) и (0,K,0). Форма, интенсивность, а также положение этого возбуждения зависит от направления и величины приложенного магнитного поля. Данные спектры могут быть описаны в одномерной модели Изинга-Гейзенберга с общим Гамильтонианом:

$$H = 2J\sum_i \left[\left(S_i^x S_j^x + \varepsilon \left(S_i^y S_j^y + S_i^z S_j^z \right) + H_\parallel \sum_i \left[S_i^x + H_\perp \right] \right) \sum_i \left(S_i^+ + + S_i^- \right) \right]$$

где ε – безразмерный параметр равный 0 в модели Изинга и 1 для изотропной модели Гейзенберга, первый член соответствует обменному взаимодействию между ближайшими ионами Yb^{3+}, второй и третий член отвечают за действие продольного и поперечного магнитного поля, соответственно.

Литература:

1. Hahn, S. E., Podlesnyak, A. A., Ehlers, G., Granroth, G. E., Fishman, R. S., Kolesnikov, A. I., ... & Conder, K. (2014). Inelastic neutron scattering studies of YFeO 3. Physical Review B, 89(1), 014420.

Оптические локализованные состояния в структуре, состоящей из двух противоположно закрученных слоев холестерического жидкого кристалла и металла

М.В.Пятнов, науч. рук. д.ф.-м.н., проф. С.Я. Ветров
Сибирский федеральный университет

В последние годы активно исследуются поверхностные электромагнитные волны в фотонных кристаллах. Даже при нормальном падении можно получить состояние имеющее нулевое волновое число вдоль поверхности и не переносящее энергию. Данное поверхностное состояние называется оптическим таммовским состоянием (ОТС). ОТС может возбуждаться на границе фотонного кристалла и среды с отрицательной диэлектрической проницаемостью. На частоте, соответствующей данному состоянию, возникает узкий пик пропускания. Не так давно была продемонстрирована возможность реализации локализованного состояния, аналогичного ОТС в структуре, включающей холестерический жидкий кристалл (ХЖК) [1]. Изменение поляризации волны при отражении от металла и особые поляризационные свойства ХЖК вынуждают использовать четвертьволновую фазовую пластинку, внедренную между ХЖК и слоем металла. При этом было показано, что на параметры фазоизменяющего элемента и ХЖК накладываются достаточно жесткие условия. Была поставлена задача найти другую возможность реализации состояний, локализованных на границе ХЖК-металл, без использования четвертьволнового слоя. Для этого мы предлагаем использовать ещё один слой холестерика, имеющий противоположную закрутку спирали. В результате, предлагаемая система имеет вид «правозакрученный холестерик – левозакрученный холестерик – металлическая плёнка». В спектре пропускания такой структуры возникает несколько пиков, соответствующих волноводным поверхностным модам (рис.1).

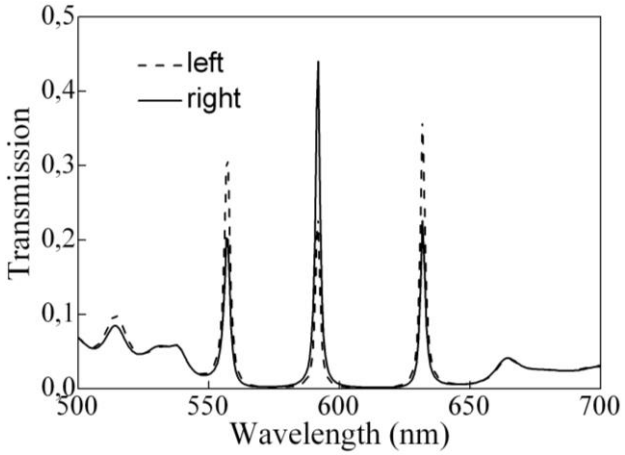

Рис. 1. Спектр пропускания структуры для круговых поляризаций падающего света

Свет любой поляризации падающей волны локализуется с максимумом интенсивности поля на границе металла и ХЖК. Однако, различные поляризации волн, прошедших через ХЖК, приводят к различным коэффициентам пропускания. Показана возможность управления спектром пропускания системы путем варьирования угла между директорами на границе холестериков.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки РФ Сибирскому федеральному университету на выполнение НИР

Литература:

[1] S.Ya. Vetrov, M.V. Pyatnov and I.V. Timofeev, Opt. Lett. 39, 2743 (2014).

Модификация магнитных свойств металлоорганических магнетиков при облучении

М.С. Шустин, науч. рук. д.ф.-м.н., проф. В.В. Вальков
Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН

Органические магнетики представляют собой новый класс магнитов, в которых металлические ионы, представляющие собой магнитный центры системы, окружены крупными органическими лигандами. Присутствие таких лигандов может приводить, с одной стороны, к уменьшению эффективной размерности магнитной структуры соединения, а с другой стороны, к созданию сильной одноионной анизотропии. Вследствие этого, особенности магнитного упорядочения и закономерности намагничивания в молекулярных магнетиках могут существенно отличаться от соответсвующих характеристик в классических магнитах [1]. Одними из наиболее любопытных с точки зрения магнитной структуры являются квазиодномерные сильноанизотропные магнетики catena-[$\{Fe^{II}ClO_4)_2Fe^{III}(bpca)_2]ClO_4$ с магнитной структурой четырехподрешеточного легкоплоскостного феррмимагнетика [2] (далее SCM-catena) , а также $\{[Fe^{III}(Tp^*)(CN)_3]_2Fe^{II}(bpmh)\}2H_2O$ с магнитной структурой типа двойного зигзага (далее SCM-zigzag) [3]. Низкотемпературные свойства данных соединений могут быть эффективно описаны в обобщенных моделей Изинга, однако для них также характерно развитие в системе сильных квантовых флуктуаций. Более того, и SCM-catena и SCM-zigzag демонстрируют сильную модификацию магнитных свойств при приложении внешнего оптического облучения, что привлекает интерес к данным соединениям с точки зрения перспектив создания устройств памяти.

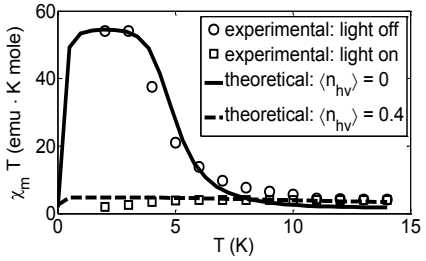

Рис. 1. *Модификация температурной зависимости магнитной восприимчивости SCM-catena*
а) облучения нет: синяя кривая-теория; синие кружки –эксперимент; б) облучение включено: красная кривая-теория; красные кружки - эксперимент.

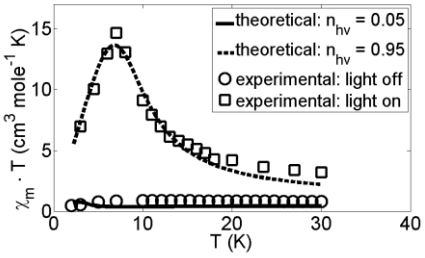

Рис.2. *Модификация температурной зависимости магнитной восприимчивости SCM-zigzag*
а) облучения нет: синяя кривая-теория; синие кружки –эксперимент; б) облучение включено: красная кривая-теория; красные кружки - эксперимент.

В данной работе с использованием техники трансфер-матрицы описывается экспериментально наблюдаемая модификация температурной зависимости магнитной восприимчивости соединений SCM-catena и SCM-zigzag (рис. 1,2) при облучении, исходя из известных микроскопических представлений о магнитной структуре соединений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты №№ 15-42-00372_р_сибирь, 16-02-00073)

Литература:

[1] C. Coulon, H. Miyasaka, R. Cl'erac, Struct Bonding 122, 163 (2006)
[2] T. Kajiwara, H. Tanaka, and M. Yamashita, Pure Appl. Chem. 80, 2297 (2008)
[3] T. Liu et.al., Nat. Commun., 4, 2826 (2013)

Малоугловое рентгеновское рассеяние на аптамере RE31

Р.В. Морячков, науч. рук. к.ф.-м.н., А.Э. Соколов
Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН

В последнее время всё больший интерес вызывает метод малоуглового рассеяния (МУР) в применении к исследованиям структуры биомолекул. Отличные результаты показывает группа Дмитрия Свергуна из Европейской лаборатории молекулярной биологии, Гамбург, Германия. Они разработали специальный пакет программ по обработке результатов МУР под названием ATSAS на основе теории моделирования структуры исследуемого вещества по данным МУР [1].

В настоящей работе представлены результаты измерений на станции ДИКСИ в НИЦ «Курчатовский институт» и последующее моделирование структуры макромолекулы с помощью программы GNOM.

Образцом являлся водный раствор с аптамером RE31 (5′-GTGACGTAGGTTGGTGTGGTTGGGGCGTCAC-3′), представляющим собой небольшой фрагмент ДНК (порядка 30 нуклеотидных остатков), собранный в модифицированную G-квадруплексную структуру в присутствии ионов K^+ [2]. Растворы с аптамерами были предоставлены с концентрациями 66 мг/мл, 33мг/мл, 16 мг/мл и 6,2 мг/мл д.б.н. В.А. Спиридоновой из НИИ физико-химической биологии им. А.Н. Белозёрского, МГУ им. М.В.Ломоносова.

По результатам эксперимента были получены графики интенсивности рентгеновского излучения от угла рассеяния (Рис.1), на основе которых были проведены качественная оценка результатов и моделирование структуры макромолекулы методом Монте-Карло путём итерационного подбора модели и пересчёта картины рассеяния на её основе до получения кривой, повторяющей результат эксперимента.

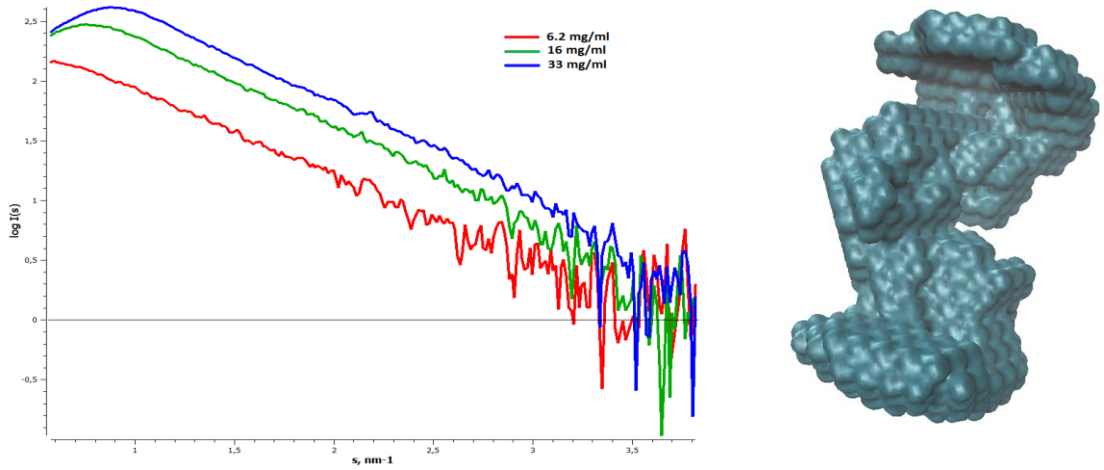

Рис. 1. График зависимости интенсивности рентгеновского излучения от угла рассеяния и компьютерная модель структуры макромолекулы, полученная с помощью программы GNOM.

Полученный результат дал возможность определить надатомную структуру молекулы.

Работа выполнена при поддержке Министерства Образования и науки России (Соглашение No.14.607.21.0104 (RFMEFI60714X0104))

Литература:

[1] Свергун Д.И., Фейгин Л. А. Рентгеновское и нейтронное малоугловое рассеяние. 1986, Москва, Наука.

Распространение звуковых волн в акустических резонаторах

А.А. Ляпина, науч. рук. д.ф.-м.н., проф. А.Ф. Садреев
Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН

Задачи о распространении звука в акустических трехмерных волноводах являются сложными и требуют больших вычислительных ресурсов. В других областях физики, например, таких как электронный транспорт, фотонные кристаллы, микроволновые волноводы, используется метод эффективного неэрмитового Гамильтониана [1], позволяющий рассчитать трансмиссионные свойства таких систем и определить наличие в них связанных состояний в континууме (ССК). Метод основан на проектировании всего пространства на собственные состояния закрытого резонатора и позволяет ограничиться небольшим количеством резонансных собственных мод. В данном случае мы адаптировали метод эффективного гамильтониана к акустическому транспорту через трехмерный резонатор с коаксиальным и не коаксиальным подведением волноводов к нему [2].

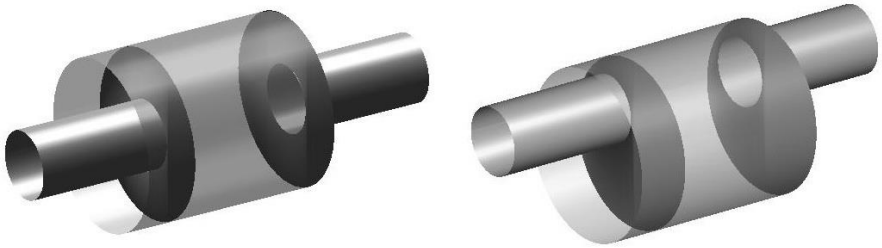

Рис. 1. Акустические структуры типа «волновод-резонатор»

Метод был развит как в непрерывной, так и в дискретной форме. Было показано, что благодаря проектированию полного Гильбертова пространства на внутренние состояния резонатора, метод имеет хорошую сходимость в отличие от типичных для акустики mode-matching подходов. Показано, что в континуальном случае эффективный Гамильтониан может быть усечен до некоторого небольшого числа собственных мод закрытого резонатора, чьи собственные частоты сопоставимы с частотой падающей волны. При такой трактовке, метод эффективного Гамильтониана аналогичен теории связанных мод, которая, однако, не учитывает радиационные сдвиги. То есть метод эффективного Гамильтониана в такой формулировке является улучшенной теорией связанных мод.

Для трехмерных акустических систем типа резонатор-волновод была рассчитан трансмиссия в зависимости от частоты инжектирумего звука и размеров резонатора, как в случае коаксиального подвода волноводов к резонатору, так и в случае не коаксиального [3]. В обоих случаях были обнаружены особенности – точки пересечения единицы проводимости с нулем – явление коллапса резонанса Фано. Эти особенности возникают из-за полной деструктивной интерференции двух вырожденных мод одной симметрии. В результате некоторая комбинация этих мод является связанным состоянием в континууме, то есть локализованным решением с дискретной частотой, находящимся в зоне распространения волновода. Был также предложен способ постановки эксперимента на основе данных вычислений – при помощи подвижного поршня внутри резонатора, как показано на рис.1.

Литература:

[1] Almas F Sadreeev and Ingrid Rotter // J. Phys. A: Math. Gen. 36, 11413-11433 (2003).
[2] Dmitrii N Maksimov, Almas F Sadreev, Alina A Lyapina and Artem S Pilipchuk // Wave Motion, 52-66 (2015).
[3] Alina A Lyapina, Dmitrii N Maksimov, Artem S Pilipchuk and Almas F Sadreev // J. Fluid Mech., 370-387 (2015).

Влияние скошенного антиферромагнитного порядка на электронную структуру в t-J модели в рамках кластерной теории возмущений*

В.И. Кузьмин, науч. рук. д.ф.-м.н., проф. С.Г.Овчинников
Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН

Электронная структура рассчитывалась в двумерной t-J* модели со скошенным во внешнем магнитном поле антиферромагнитным упорядочением спиновых моментов в рамках кластерной теории возмущений. В случае нулевого внешнего поля получена эволюция поверхности Ферми с допированием *n*-типа, находящаяся в хорошем согласии с экспериментальными данными [1,2] по купратным сверхпроводникам (см. рис. 1). Показано, что учет ближних корреляций может приводить к немонотонной зависимости распределения спектрального веса на уровне Ферми от внешнего магнитного поля. При дырочном допировании такие изменения можно ожидать при экспериментально достижимых полях, в отличие от случая электронного допирования.

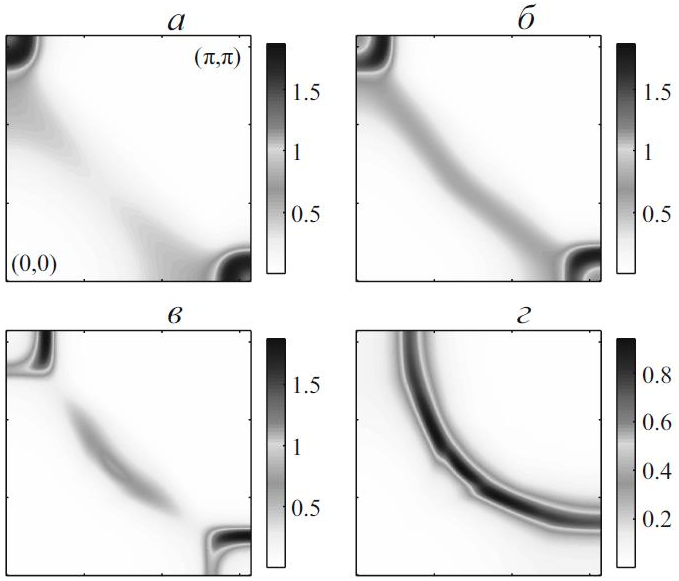

Рис. 1. Распределение спектрального веса на уровне Ферми в первом квадранте зоны Бриллюэна при нулевом внешнем поле в случае электронного допирования и параметров, типичных при моделировании электронной структуры соединения $Nd_{2-x}Ce_xCuO_4$ [2]. Электронное допирование n=0.05 (а), n=0.1 (б), n=0.15 (в), n=0.2 (г).

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 14-12-00061).

Литература:

[1] N.P. Armitage, F. Ronning, D. H. Lu and et al., Phys. Rev. Lett. **88**, 257001 (2002).
[2] M. Ikeda, T. Yoshida, A. Fujimori and et al., Phys. Rev. B **80**, 014510 (2009).

Магнитные свойства наночастиц ферригидрита бактериального происхождения и их трансформация в ходе низкотемпературной термообработки

А.А. Красиков, науч. рук. д.ф.-м.н., проф. Д.А. Балаев
Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН

Исследованы магнитные свойства наночастиц ферригидрита, продуцируемых бактериями *klebsiella oxitoca* в процессе их жизнедеятельности. Исходный порошок, содержащий наночастицы в органической оболочке, был подвергнут низкотемпературной термообработке при $T = 160^0C$ продолжительностью до 240 часов. Частицы бактериального ферригидрита проявляют суперпарамагнитное поведение, их характерная температура блокировки T_B возрастает с увеличением времени термообработки от 26 K до 80 K [1]. Анализ кривых намагничивания M(H) (с учётом функции распределения по магнитным моментам и антиферромагнитного вклада) позволил сделать вывод о том, что в ходе низкотемпературного отжига возрастает средний магнитный момент на одну частицу. Последнее указывает на увеличение размеров наночастиц, что, возможно, осуществляется путём их частичной агломерации в процессе отжига. Из сопоставления оценок размеров частиц и величин T_B была установлена нелинейность зависимости температуры блокировки от объёма частиц, описанная моделью учитывающей как объёмную, так и поверхностную магнитную анизотропию. В рамках этой модели были определены значения констант объёмной и поверхностной анизотропий ($K_V \approx 1.7\times10^5$ erg/cm^3, $K_S \approx 0.055$ erg/cm^2) [2].

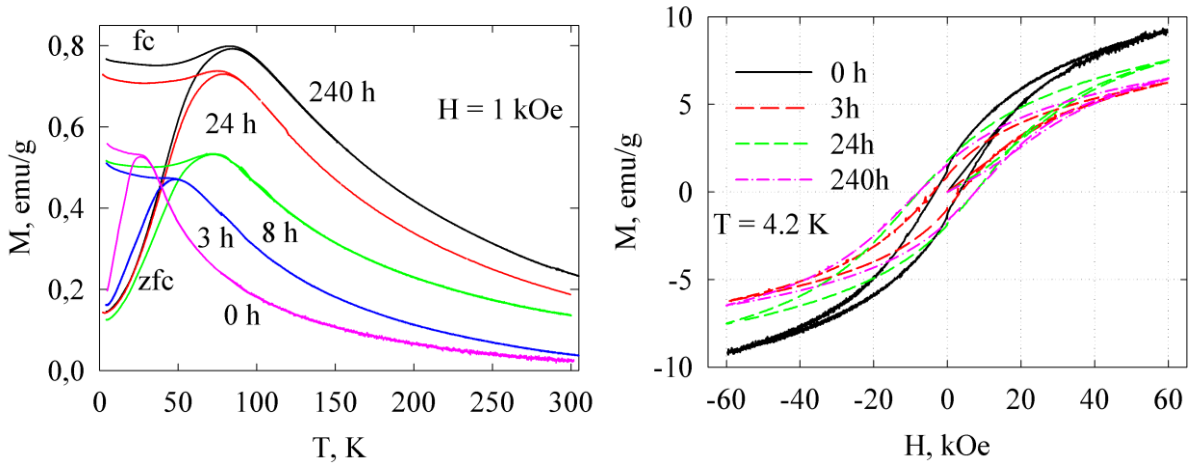

Рис. 1. Температурные и полевые зависимости намагничивания наночастиц ферригидрита.

Литература:
[1] Д.А. Балаев, А.А. Красиков, А.А. Дубровский, О.А. Баюков, С.В. Столяр, Р.С. Исхаков, В.П.Ладыгина, Ярославцев Р.Н., Письма ЖТФ 41, (вып.14), 88 (2015).
[2] D.A. Balaev, A.A. Krasikov, A.A. Dubrovskiy, S.I. Popkov, S.V. Stolyar, O.A. Bayukov, R.S. Iskhakov, V.P. Ladygina, R.N. Yaroslavtsev, J. Magn. Magn. Mater., accepted to publication, doi:10.1016/j.jmmm.2016.02.059

Твердофазный синтез тонких оксидных пленок: транспортные и магнитотранспортные свойства

И.А. Тамбасов, науч. рук. д.ф.-м.н., с.н.с. В.Г. Мягков.
Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН

В настоящее время нами разработан физико-химический подход для создания новых оксидных нанокомпозитных тонких пленок. Этот подход основан на твердофазных реакциях. С помощью такого подхода были успешно синтезированы нанокомпозитные пленки оксида индия [1], Fe – In_2O_3[2], Fe_3O_4 – ZnO [3] и Fe – ZrO_2[4], Co – ZrO_2 [5]. Представленные нанокомпозитные тонкие пленки имеют определённые структурные особенности, которые могут влиять на транспортные и магнитотранспортные свойства. Например, в пленках оксида индия впервые был обнаружен эффект индуцированного при помощи ультрафиолета переход металл – полупроводник, который являлся обратимым [6]. По этой причине, исследования электронного транспорта и магнитотранспорта в нанокомпозитных пленках являются актуальными.

На рисунке 1 представлена полевая зависимость магнитосопротивления пленки оксида индия при различных температурах.

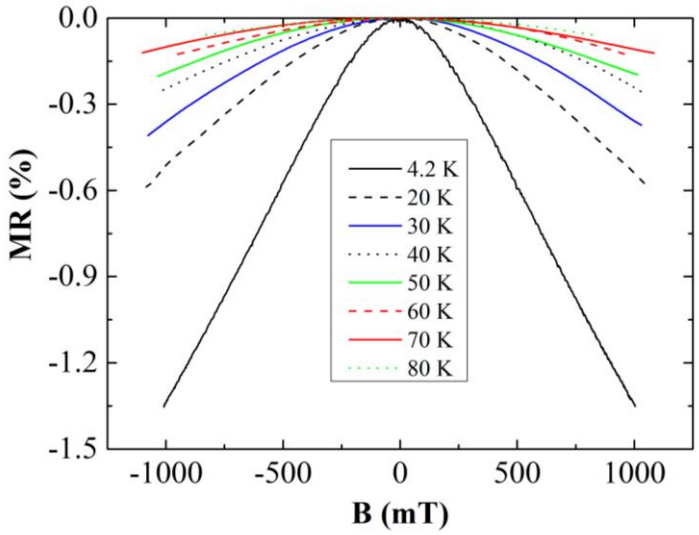

Рис. 1. Магнитосопротивление тонкой In_2O_3 пленки в зависимости от магнитного поля в температурном диапазоне 4.2 – 80 K

Литература

[1] Тамбасов И. А., Мягков В. Г., Иваненко А. А., Немцев И. В., Быкова Л. Е., Бондаренко Г. Н., Михлин Ю. Л., Максимов И. А., Иванов В. В., Балашов С. В., Карпенко Д.С. Структурные и оптические свойства тонких пленок In2O3, полученных автоволновым окислением // *Физика и техника полупроводников*. – 2013. – Т. 47, № 4. – С. 546-550.

[2] V.G. Myagkov, I.A. Tambasov, O.A. Bayukov, V.S. Zhigalov, L.E. Bykova, Y.L.Mikhlin, M.N. Volochaev, G.N. Bondarenko. Solid State Synthesis and Characterization of ferromagnetic nanocomposite Fe-In2O3 thin films // *Journal of Alloys and Compounds* –2014. –vol. 612. – p.184-194

[3] Быкова Л.Е., Мягков В.Г., Тамбасов И.А., Баюков О.А., Жигалов В.С., Полякова К.П., Бондаренко Г.Н., Немцев И.В., Поляков В.В., Патрин Г.С., Великанов Д.А. Твердофазный синтез нанокомпозита ZnO-Fe3O4: структурные и магнитные свойства // *Физика твердого тела*. 2015. Т. 57, № 2. С. 366 -370.

[4] V.G. Myagkov, L.E. Bykova, O.A. Bayukov, V.S. Zhigalov, I.A. Tambasov, S.M. Zharkov, A.A. Matsynin, G.N. Bondarenko, Solid State Synthesis and Characterization of Fe-ZrO2 Ferromagnetic Nanocomposite Thin Films, *Journal of Alloys and Compounds* –2015. –vol. 636. – pp.223-228.

[5] V.G.Myagkov, V.S. Zhigalov, L.E. Bykova, S.M. Zharkov, A.A. Matsynin, M.N. Volochaeva, I.A. Tambasov, G.N. Bondarenko. Thermite synthesis and characterization of Co-ZrO2 ferromagnetic nanocomposite thin films. Journal of Alloys and Compounds –2016. –vol. 665. – pp. 197-203.

[6] I.A.Tambasov, V.G Maygkov, A.S. Tarasov, A.A. Ivanenko, L.E. Bykova, I.V. Nemtsev, E.V. Eremin, E.V. Yozhikova. Reversible UV induced metal-semiconductor transition in In2O3 thin films prepared by autowave oxidation // *Semiconductor science and technology* . –2014. –vol. 29. – p.082001.

Связанные состояния в континууме в интегрируемых и неинтегрируемых волноводных структурах

А.С. Пилипчук, науч. рук. д.ф.-м.н., проф. А.Ф. Садреев
Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН

При подключении волноводов к резонатору он становится открытым, а его собственные состояния, находящиеся в зоне распространения волноводов становятся резонансными состояниями. Согласно Фридриху и Винтгену [1], если два резонансных состояния пересекают друг друга как функция некоего непрерывного параметра системы, ширина одного из этих состояний может обратиться в нуль. Таким образом, оно становится связанным состоянием в континууме (ССК), то есть волна локализуется внутри резонатора. Существует эквивалентное объяснение этого явления: при варьировании параметра резонатора может произойти вырождение его собственных состояний с одинаковой симметрией. Тогда связь суперпозиционного состояния $\Psi = \alpha_1\psi_+ \alpha_2\psi$ с континуумом может обратиться в нуль за счет варьирования коэффициентов $\alpha 1$ и $\alpha 2$ [2]. Механизм Фридриха-Винтгена полной деструктивной интерференции двух резонансных состояний хорошо изучен на примере большого количества различных волноводных структур. Однако, вырождение может происходить только в интегрируемых системах. Подавляющее же большинство реальных систем является неинтегрируемыми, в которых интерференционный механизм формирования ССК не работает.

ССК в неинтегрируемых системах рассматривались на примере «мягкого» биллиарда Синая. Показано, что, несмотря на отсутствие вырождения собственных уровней энергии резонатора, ССК в системе все же могут реализовываться за счет обращения в нуль интеграла перекрывания некоей собственной функции закрытого биллиарда с распространяющимся решением волновода при варьировании высоты потенциала.

ССК в интегрируемых системах исследовались на примере т.н. Z- и П-образных квантовых волноводов с управляющим потенциалом, расположенным поперек области рассеяния. Показано, что Z- и П-образные волноводы имеют отличия в проводимости, которые наиболее сильно проявляются при небольшом расстоянии между сгибами и сглаживаются по мере его увеличения. Это объясняется тем, что в П-образном волноводе сгибы имеют одну киральную последовательность, а в Z-образом – обратную, из-за чего вихри потоков вблизи сгибов имеют разное направление вращения для разных типов волноводов. Показано, что ССК в таких системах могут реализовываться посредством двух различных механизмов: первый тип может возникать как при положительном, так и при отрицательном значениях управляющего потенциала за счет механизма Фабри-Перо, второй – за счет механизма полной деструктивной интерференции Фридриха-Винтгена. Также показано, что с помощью управляющего потенциала можно гибко настраивать константы связи между проводами и областью рассеяния, нужным образом изменяя ширины резонансов, вплоть до их обращения в нуль.

Все вычисления проводились с помощью метода неэрмитового эффективного Гамильтониана [3], который прекрасно себя зарекомендовал в такого рода задачах.

Литература:

[1] Friedrich E and Wintgen D 1985 Phys. Rev. A 32 3231
[2] Sadreev A. F., Bulgakov E. N. and Rotter I., 2006 Phys. Rev. B 73 235342
[3] Dittes F. M., 2000 Phys. Rep. 339 215