

ЗАСЕДАНИЕ
секции “Магнетизм”
Научного совета РАН по физике
конденсированных сред

7 – 8 декабря 2017 г.

Институт физических проблем им. П. Л. Капицы РАН
(г. Москва, ул. Косыгина, 2)

Программа и аннотации докладов.

Программа

7 декабря, 14 часов

- I. Отчеты о работе секций и подсекций, обсуждение организационных вопросов и др.
- II. Разное.

Научная сессия (все доклады по 15 мин.)

1. Гигантские фотоиндуцированные магнитные поляроны в халькогенидах европия
В. В. Павлов¹, А. П. Усачёв¹, А. Б. Энрикес², Г. Спрингхольц³, П. Х. О. Раппл⁴, Е. Абрамоф⁴
¹Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия
²Институт физики, Университет Сан-Паулу, Сан-Паулу, Бразилия
³Университет Иоганна Кеплера, Линц, Австрия
⁴Национальный институт космических исследований, Сан-Жозе-дус-Кампус, Бразилия
2. Трёхмерные магнетонно-кристаллические структуры
С.А. Никитов, Е.Н. Бегинин, А.В. Садовников, А.Ю. Шараевская, Ю.П. Шараевский
Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН
3. Поверхностные и размерные эффекты в системах наночастиц $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$
Д.А. Балаев^{1,2}, А.А. Дубровский¹, К.А. Шайхутдинов¹, О.А. Баюков¹, А.А. Красилов¹, С.И. Попков^{1,2}, С.С. Якушкин³, Г.М. Бухтиярова³, О.Н. Мартынов³
¹Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, 660036, Красноярск, Россия.
²Сибирский Федеральный университет, 660041, Красноярск, Россия.
³Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН 630090, Новосибирск, Россия
4. Переключение поверхностных магнитных доменов в слабом ферромагнетике YFeO_3
Н. В. Андреева,^{1,2} А. М. Калашникова,¹ А. М. Балбашов,³ Р. В. Писарев,¹ С. Б. Вахрушев,^{1,2} В. В. Шварцман⁴
¹Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, 194021, С.-Петербург, Россия
²Политехнический университет Петра Великого, 195251, С.-Петербург, Россия
³Московский энергетический институт, 111250, Москва, Россия
⁴Университет Дуйсбург-Эссен, 45141, Эссен, Германия
5. Магнитная динамика и спин-фононное взаимодействие в антиферромагнетике Ni_2NbVO_6
М. А. Просников, В. Ю. Давыдов, А. Н. Смирнов, Р. В. Писарев
Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, С. Петербург
Н. А. Любочко, С. Н. Барило
Институт физики твердого тела и полупроводников НАНБ, Минск

8 декабря, 10 часов

Научная сессия (все доклады по 15 мин.)

Магнитные структуры, магнитоэлектрические явления и магнитный резонанс

6. Исследование композитных реологических материалов на основе магнитных и сегнетоэлектрических наполнителей
Макарова Л.А.¹, Алехина Ю.А.¹, Русакова Т.С.¹, Омельянчик А.С.², Родионова В.В.²,
Степанов Г.В.³, Крамаренко Е.Ю.¹, Семисалова А.С.¹, Малышкина О.В.⁴, Перов Н.С.¹
¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
²Балтийский федеральный университет имени И. Канта, Калининград, Россия
³Государственный научный центр ГНИИХТЭОС, Москва, Россия
⁴Тверской государственный университет, Тверь, Россия
7. Магнито-электрические явления в гранулированных ферромагнетиках и магнитных туннельных контактах с сегнетоэлектрическими барьерами
 Удалов О.Г.
Институт физики микроструктур РАН, г. Нижний Новгород
8. Управление магниторезонансными возбуждениями электрическим и магнитным полем в мультиферроэлектрических ферророборатах
 А.М. Кузменко¹, А.А. Мухин¹, В.Ю. Иванов¹, А.Пименов², Д. Заллер², Т. Каин²,
 Л.Вейман², А.М. Шуваев², В. Е. Дём², А.Пименова², Л.Н.Безматерных³, И. А. Гудим³
¹Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Москва
²Institute of Solid State Physics, Vienna University of Technology, Vienna, Austria
³Институт физики им. Л.В.Киренского СОРАН, Красноярск
9. Магнитный резонанс мультиферроика CuCrO₂ в электрическом поле
 С.К. Готовко,^{1,2} Л.Е. Свистов¹
¹Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН
²Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный, Россия

Перерыв 10 мин.

10. Что происходит при нанесении сегнетоэлектрической плёнки на монокристалл манганита
 Р.Ф. Мамин
*Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского КазНЦ РАН Казань
 Казанский (Приволжского) федеральный университет, Казань*
11. Магнитные фазовые переходы и динамическая электрическая поляризация в соединении LaMn₂O₅
В.В. Меньшенин, Н.Н. Гапонцева
Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург
12. Фрустрированное магнитное состояние в соединениях со слоистой кристаллической структурой
Герасимов Е.Г., Мушников Н.В., Терентьев П.Б., Пирогов А.Н., Гавико В.С.,
 Язовских К.А.
Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург
13. Фазовая диаграмма системы с непрерывной симметрией векторного параметра порядка, содержащей дефекты типа «случайная локальная анизотропия»
 А.А. Берзин¹, А.И. Морозов², А.С. Сигов¹
¹Московский технологический университет (МИРЭА), Москва, Россия
²Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный, Московская область, Россия
14. Исследования в сильных импульсных магнитных полях
Ю.Б.Кудасов, В.В.Платонов, И.В.Макаров, Д.А.Маслов, О.М.Сурдин
Саровский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, ул.Духова, 6, Саров, 607186

Спинтроника, магнетизм и сверхпроводимость, теория

15. Особенности перпендикулярной магнитной анизотропии и взаимодействия Дзялошинского-Мория в многослойных пленках
А.В. Огнев
Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия
16. Исследования межслоевых взаимодействий в многослойных пленках $[(\text{CoP})_{\text{soft}}/\text{NiP}/(\text{CoP})_{\text{hard}}/\text{NiP}]_n$
Г.С. Патрин^{1,2}, Я.Г. Шиян^{1,2}, В.П. Фурдык²
¹*Институт физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск,*
²*Сибирский федеральный университет, Красноярск*
17. Магнитные свойства многослойных ферромагнитных пленочных наноструктур
А.В. Свалов, В.О. Васьковский, О.А. Аданаква, Г.В. Курляндская
Уральский федеральный университет, Екатеринбург
18. Электрическая инжекция и детектирование спин-поляризованных электронов в латеральных структурах ферромагнетик-InSb
Виглин Н.А., Устинов В.В., Демокритов С.О., Шориков А.О., Бибенин Н.Г., Ляпилин И.И., Цвелиховская В.М., Павлов Т.Н., Патраков Е.И.
Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург
19. Магнитные металлические сверхрешетки с рекордными значениями магнитосопротивления
Миляев М.А., Наумова Л.И., Банникова Н.С., Криницина Т.П., Проглядо В.В., Устинов В.В.
Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург
20. Процессы управляемого зарождения и пиннинга доменных стенок в планарных ферромагнитных нанопроволоках с плоскостной и перпендикулярной анизотропией
В.Л. Миронов, О.Л. Ермолаева, Е.В. Скороходов
Институт физики микроструктур РАН, г. Нижний Новгород

Перерыв 10 мин.

21. Влияние магнитных примесей на сверхпроводящее состояние соединений железа
М.М. Коршунов^{1,2}, Ю.Н. Тогушова², О.В. Долгов³
¹*Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, 660036, Красноярск, Россия,*
²*Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия*
³*Физический институт им. Лебедева РАН, Москва*
22. Магнитная восприимчивость сверхпроводников на основе железа
Ю.Н. Тогушова¹, В.А. Шестаков², М.М. Коршунов^{1,2}
¹*Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия*
²*Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, 660036, Красноярск, Россия*
23. Эффекты увлечения в гибридных структурах Pt/YIG/Pt
И.И. Ляпилин, М. С. Окороков
Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург

24. 120-градусное спиновое упорядочение на треугольной решетке в киральных сверхпроводниках и реализация майорановских фермионов

В.В. Вальков, А.О. Злотников, М.С. Шустин

Институт физики им. Л.В. Киренского, ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

25. Случайные блуждания в неупорядоченной решетке, STRW, память и дипольный перенос

Ф.С.Джепаров

Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва

Аннотации докладов

№1

Гигантские фотоиндуцированные магнитные поляроны в халькогенидах европия
В. В. Павлов¹, А. П. Усачёв¹, А. Б. Энрикес², Г. Спрингхольц³, П. Х. О. Раппл⁴, Е. Абрамоф⁴

¹*Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия*

²*Институт физики, Университет Сан-Паулу, Сан-Паулу, Бразилия*

³*Университет Иоганна Кеплера, Линц, Австрия*

⁴*Национальный институт космических исследований, Сан-Жозе-дус-Кампус, Бразилия*

Собственные магнитные полупроводники EuX (X = O, S, Se, Te) обладают уникальными электронными, магнитными, оптическими и магнитооптическими свойствами. В частности, в EuTe и EuSe наблюдается новый тип нелинейных магнитооптических эффектов [1].

Проведено исследование фотоиндуцированного эффекта Фарадея в халькогенидах европия EuX методом оптической накачки и зондирования с использованием непрерывных лазеров и широкополосного источника света [2, 3]. Фотоиндуцированное фарадеевское вращение исследовано как функция интенсивности света, магнитного поля и температуры. Установлено, что при резонансном возбуждении оптического электродипольного перехода $4f^7 5d^0 \rightarrow 4f^6 5d^1$ в EuTe образуются магнитные поляроны с магнитным моментом, превышающим 600 μ_B при температуре $T = 5$ К. Магнитные поляроны – это квазичастицы с высокой степенью ферромагнитного порядка, возникающие благодаря обменному взаимодействию фотовозбуждённого d-электрона и f-электронов. Магнитные поляроны с большой эффективной массой представляют собой сферы радиуса $R \approx 3$ нм в EuTe. С увеличением интенсивности возбуждающего света наблюдается насыщение концентрации магнитных поляронов на уровне около $4,5 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$, что позволяет предположить, что поляроны закреплены на дефектах кристаллической структуры EuTe. В EuSe наблюдаются фотоиндуцированные поляроны с магнитным моментом в несколько раз большим, чем в EuTe. Важно отметить, что в EuSe не происходит насыщения плотности поляронов с увеличением интенсивности светового возбуждения. Теоретический расчёт хорошо подтверждает наблюдаемые в эксперименте зависимости.

Таким образом, продемонстрирован новый подход к оптическому управлению магнитным состоянием в халькогенидах европия, который может быть в принципе применён к любым собственным магнитным полупроводникам, разбавленным магнитным полупроводникам и магнитным диэлектрикам.

- [1] B. Kaminski, M. Lafrentz, R. V. Pisarev, D. R. Yakovlev, V. V. Pavlov, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **103**, 057203 (2009).
- [2] A. B. Henriques, A. R. Naupa, P. A. Usachev, V. V. Pavlov, P. H. O. Rappl, E. Abramof, Phys. Rev. B **95**, 045205 (2017).
- [3] A. B. Henriques, P. A. Usachev, Phys. Rev. B **96**, 195210 (2017).

№2

Трёхмерные магнонно-кристаллические структуры

С.А. Никитов, Е.Н. Бегинин, А.В. Садовников, А.Ю. Шараевская, Ю.П. Шараевский

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

Магнитные пленочные микро- и наноструктуры интенсивно исследуются в качестве возможных кандидатов для создания перспективных устройств спинтроники и магноники. Переносчиками информационных сигналов в таких устройствах, являются магноны или спиновые волны. Важным преимуществом таких носителей по сравнению с традиционной электроникой с переносом зарядов является отсутствие джоулевого нагрева среды. В настоящее время в связи с постоянно растущими требованиями к степени интеграции интегральных схем, в технологии создания устройств полупроводниковой электроники

наблюдается переход от двумерных (планарных) к трехмерным вертикально-интегрированным полупроводниковым структурам. Для сохранения конкурентных преимуществ аналогичный переход должен быть реализован и в магнонике, которая базируется на планарных технологиях и магнитных структурах с «горизонтальными» (в плоскости пленки) связями.

В докладе рассматривается новый класс магнитных структур в которых возможно распространение спиновых волн в трех измерениях и обсуждается концепция трехмерных магнонных кристаллов. В качестве основы для создания такого 3D-кристалла может быть использована ферромагнитная пленка меандрового типа выращенная на поверхности структурированной диэлектрической подложки. Изучаются также свойства системы магнонных кристаллов с «вертикальными» связями. Распространение спиновых волн и образование запрещенных брэгговских зон в таких структурах исследуются с использованием метода конечных элементов и метода матриц передачи.

№3

Поверхностные и размерные эффекты в системах наночастиц $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$

Д.А. Балаев^{1,2}, А.А. Дубровский¹, К.А. Шайхутдинов¹, О.А. Баюков¹, А.А. Красилов¹, С.И. Попков^{1,2}, С.С. Якушкин³, Г.М. Бухтиярова³, О.Н. Мартыанов³

¹Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, 660036, Красноярск, Россия.

²Сибирский Федеральный университет, 660041, Красноярск, Россия.

³Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН 630090, Новосибирск, Россия

Оксид трёхвалентного железа $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ является уникальным по своим свойствам материалом. Он существует в виде наночастиц размерами до $\sim 25\div 50$ nm, которые демонстрируют значительную коэрцитивную силу ~ 20 kOe при комнатной температуре, что открывает перспективы для практического использования. В докладе будет проведён обзор цикла работ, посвящённых сравнительному исследованию магнитных свойств систем на основе наночастиц $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$, различающихся средним размером (от ~ 3 nm до 9 nm). Для частиц, размерами более $\sim 6\div 8$ nm, наблюдается согласие с известными данными: температура перехода в магнитоупорядоченное состояние составляет ~ 500 K, а в интервале $80\div 150$ K проявляются аномалии магнитных свойств, соответствующие магнитному переходу. Обнаружено существенное изменение магнитных свойств наночастиц при уменьшении их размеров до ~ 6 nm. Несмотря на то, что структуру таких частиц по данным электронной микроскопии высокого разрешения и анализу мёссбауэровских спектров можно отнести к ϵ -модификации трёхвалентного оксида железа, в них отсутствует известный магнитный переход в интервале $80\div 150$ K, значительно уменьшается константа кристаллографической магнитной анизотропии, и доминирующую роль играет поверхностная магнитная анизотропия.

[1] D.A. Balaev, et al, Tech. Phys. Lett. **42** (2016) 347–350.

[2] A.A. Dubrovskiy, et al, J. Appl. Phys. **118** (2015) 213901.

[3] S.S. Yakushkin, et al, J. Supercond. Nov. Magn. accepted.

№4

Переключение поверхностных магнитных доменов в слабом ферромагнетике YFeO_3

Н. В. Андреева,^{1,2} А. М. Калашникова,¹ А. М. Балбашов,³ Р. В. Писарев,¹ С. Б. Вахрушев,^{1,2} В. В. Шварцман⁴

¹Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, 194021, С.-Петербург, Россия

²Политехнический университет Петра Великого, 195251, С.-Петербург, Россия

³Московский энергетический институт, 111250, Москва, Россия

⁴Университет Дуйсбург-Эссен, 45141, Эссен, Германия

Создание новых магнитных гетероструктур, чья функциональность определяется свойствами интерфейсов [1], требует глубокого изучения свойств различных магнитных

материалов не только в объеме, но и на поверхности. В настоящей работе мы представляем детальное исследование магнитных свойств на поверхности слабого ферромагнетика YFeO_3 методом магнитно-силовой микроскопии (МСМ) и демонстрируем управление поверхностными магнитными доменами внешним магнитным полем.

Образец представлял собой монокристалл YFeO_3 толщиной 100 мкм, вырезанный перпендикулярно кристаллографическому направлению a . Известно, что в объеме такого кристалла ниже температуры Нееля (650 К) ферромагнитный вектор $\mathbf{M}$ лежит в плоскости образца, а антиферромагнитный $\mathbf{L}$ – по нормали, по оси a (фаза Γ_4) [2]. Измерения методом МСМ проводились при комнатной температуре зондами с магнитомягким покрытием с высоким магнитным моментом. Распределение магнитных свойств на поверхности регистрировалось в присутствии постоянного магнитного поля напряженностью до $\pm 0.6\text{Т}$, приложенного в плоскости образца вдоль направления c .

Во внешнем магнитном поле в МСМ изображениях мы наблюдали ярко выраженную доменную структуру, указывающую на то, что в поверхностном слое имеется отличная от нуля компонента намагниченности, направленная вдоль кристаллографической оси a , т.е. перпендикулярная направлению внешнего магнитного поля и направлению легкого намагничивания в объеме образца. Мы связываем образование таких магнитных доменов с тем, что в приповерхностном слое магнитная анизотропия отличается от объемной [3], и равновесная ориентация вектора $\mathbf{M}$ соответствует углу между ним и осью a меньшему 90° , т.е. наблюдается ориентационный фазовый переход 2-го рода $\Gamma_4 \rightarrow \Gamma_{24}$ (Γ_2). Следует отметить, что в объеме YFeO_3 такой переход может быть индуцирован внешним магнитным полем напряженностью выше 7 Т [4].

При изменении направления внешнего магнитного поля на противоположное наблюдалось переключение направления намагниченности поверхностных доменов с сохранением их структуры. Важно отметить, что поле, необходимое для переключения, соответствовало коэрцитивному полю в объеме образца. Данное наблюдение свидетельствует о том, что направление намагниченности в приповерхностном слое связано с направлением антиферромагнитного вектора в объеме.

[1] R. Sbiaa, et al., Phys. Status Solidi RRL **5**, 413 (2011).

[2] К. П. Белов, А. К. Звездин, А. М. Кадомцева, Р. З. Левитин, *Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках*, М: Наука (1979).

[3] М. И. Каганов, ЖЭТФ **79** 1544 (1980).

[4] S. Jacobs et al., J. Appl. Phys. **42**, 1631 (1971).

№5

Магнитная динамика и спин-фононное взаимодействие в антиферромагнетике Ni_2NbBO_6

М. А. Просников, В. Ю. Давыдов, А. Н. Смирнов, Р. В. Писарев

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, С. Петербург

Н. А. Любочко, С. Н. Барило

Институт физики твердого тела и полупроводников НАНБ, Минск

Орторомбические кристаллы Ni_2NbBO_6 принадлежат к пространственной группе $R\bar{3}m$ (#62) [1], в которых при $T_N = 23.5\text{ К}$ происходит антиферромагнитное (АФМ) упорядочение с АФМ вектором направленным вдоль оси a [2]. Точная магнитная структура кристалла к настоящему времени все еще остается неизвестной. В докладе будут представлены результаты экспериментального исследования магнитной и решеточной динамики с использованием метода рамановского рассеяния. Исследования проводились как в магнитоупорядоченной, так и в парамагнитной фазах. Ниже T_N наблюдались широкие двухмагнитные полосы с ярко выраженными поляризационными и температурными зависимостями. Исследование фононных спектров показало, что многие из фононов проявляют существенный частотный сдвиг при $T < T_N$, что свидетельствует о наличии сильного спин-фононного взаимодействия. Важно отметить, что для различных фононов происходит как их смягчение, так и ужесточение. Проведен детальный теоретический

анализ экспериментальных результатов. Для части предлагаемых магнитных групп проведены расчеты в приближении линейной теории спиновых волн; сравнение рассчитанных кривых дисперсии и плотностей магнитных состояний (mDOS) с экспериментальными данными позволили извлечь константы обмена и одноионной анизотропии.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-52-00127 Бел_а.

[1] G. B. Ansell et al, Acta Crystallographica B **38**, 892 (1982).

[2] G. N. Rao et al, Phys. Rev. B **91**, 014423 (2015).

№6

Исследование композитных реологических материалов на основе магнитных и сегнетоэлектрических наполнителей

Макарова Л.А.¹, Алехина Ю.А.¹, Русакова Т.С.¹, Омелянчик А.С.², Родионова В.В.², Степанов Г.В.³, Крамаренко Е.Ю.¹, Семисалова А.С.¹, Малышкина О.В.⁴, Перов Н.С.¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Балтийский федеральный университет имени И. Канта, Калининград, Россия

³Государственный научный центр ГНИИХТЭОС, Москва, Россия

⁴Тверской государственный университет, Тверь, Россия

В магнитных эластомерах, относящихся к многофункциональным материалам, обнаружены различные эффекты, такие, как магнитореологический [1], магнитодеформационный [2], эффект Пейна [3], эффект памяти формы [4], магнитодиелектрический [5] эффекты. Объясняются они, как правило, взаимодействием магнитных частиц, находящихся в упругой матрице, с внешним магнитным полем и между собой.

Цель настоящей работы заключалась в исследовании особенностей магнитных и электрических свойств композитов с различными магнитными и сегнетоэлектрическими наполнителями в различных полимерных носителях. В частности, было проведено исследование влияния типов магнитного наполнителя и полимера на свойства эластомера, а также исследование магнитоэлектрических преобразований в трехкомпонентных композитных материалах.

Свойства образцов магнитных эластомеров измерены по стандартным методикам при комнатной температуре, ряд измерений проводился в диапазоне температур от 80 до 300К.

В ходе исследований было обнаружено резонансное поведение магнитной проницаемости у эластомеров с частицами феррита бария (10 мкм) во внешних скрещенных магнитных полях при частотах порядка сотен герц. Изучена связь внутренних механических напряжений в эластомере с величиной магнитодиелектрического эффекта, а также впервые наблюдался обратный магнитодеформационный эффект в магнитных эластомерах, в частности, обнаружено влияние деформаций и внешних напряжений на магнитные свойства эластомера. Впервые определены температурные зависимости диэлектрической проницаемости магнитных эластомеров в диапазоне температур от 80 до 300К. Впервые изготовлены реологические композитные материалы на основе силиконового полимера и смеси двух типов наполнителей: магнитных и сегнетоэлектрических частиц. В трехкомпонентных эластомерах впервые обнаружено взаимное влияние электрических и магнитных полей на магнитные и электрические характеристики материала, соответственно, что позволяет классифицировать их как мультиферроики.

[1] Abramchuk S., et al., Polym. Adv. Technol. 2007, Vol. 18, p. 513–518.

[2] Ginder J.M., et al., Int. J. Mod. Phys. B. 2002, Vol. 16, № 17-18. p. 2412–2418.

[3] Sorokin V.V., et al., Soft Matter, 2014, Vol. 10, pp. 8765-8776.

- [4] Stepanov G.V., et al., J. Phys. Condens. Matter. 2008, Vol. 20, No. 20. p. 204121.
 [5] Semisalova A.S., et al., Soft Matter, 2013, Vol. 9, No. 47, p. 11318.

№7

Магнито-электрические явления в гранулированных ферромагнетиках и магнитных туннельных контактах с сегнетоэлектрическими барьерами

Удалов О.Г.

Институт физики микроструктур РАН, г. Нижний Новгород

В работе показано, что в магнитном туннельном контакте (МТК) с сегнетоэлектрическим барьером и гранулированным ферромагнетике (ГФМ) с сегнетоэлектрической матрицей возникает магнито-электрический эффект кулоновской природы (не связанный со спин-орбитальным взаимодействием или стрикционными явлениями). Природа данного эффекта связана с зависимостью диэлектрических свойств указанных систем от внешнего электрического поля. Диэлектрические свойства влияют на кулоновское взаимодействие в системе. Последнее, в свою очередь, влияет на магнитное состояние указанных ГФМ и МТК за счет следующих механизмов: 1) спин-зависимая часть кулоновского взаимодействия (обменное взаимодействие) приводит к связи между магнитными берегами МТК и гранулами ГФМ; 1) кулоновская блокада подавляет туннелирование между гранулами и, соответственно, подавляет магнитное взаимодействие между ними; 3) силы изображения и экранирование поляризации сегнетоэлектрика приводят к модификации барьера между берегами МТК или гранулами ГФМ, что в итоге влияет на взаимодействие между ними.

1. O.G. Udalov, I.S. Beloborodov, Physical Review B 96 (2), 125425 (2017)
2. O.G. Udalov, I.S. Beloborodov, Phys. Rev. B, 95, 045427 (2017)
3. O.G. Udalov, I.S. Beloborodov, Journal of Physics: Condensed Matter 29 (17), 175804 (2017)
4. O.G. Udalov, I.S. Beloborodov, J. Phys.: Condens. Matter 29 155801 (2017)
5. A.M. Belemuk, O.G. Udalov, N.M. Chtchelkatchev, I.S. Beloborodov, Journal of Physics: Condensed Matter 28 (12), 126001 (2016)
6. O. G. Udalov, N.M. Chtchelkatchev, I.S. Beloborodov, Journal of Physics: Condensed Matter 27 (18), 186001 (2015)
7. O. G. Udalov, N. M. Chtchelkatchev, and I. S. Beloborodov, Phys. Rev. B 92, 045406 (2015)
8. O. G. Udalov, N. M. Chtchelkatchev, and I. S. Beloborodov, Phys. Rev. B 89, 174203 (2014)

№8

Управление магниторезонансными возбуждениями электрическим и магнитным полем в мультиферроэлектрических ферроборатах

А.М. Кузменко¹, А.А. Мухин¹, В.Ю. Иванов¹, А.Пименов², Д. Заллер², Т. Каин², Л.Вейман², А.М. Шуваев², В. Е. Дём², А.Пименова², Л.Н.Безматерных³, И. А. Гудим³

¹Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Москва

²Institute of Solid State Physics, Vienna University of Technology, Vienna, Austria

³Институт физики им. Л.В.Киренского СО РАН, Красноярск

Управления магнитными свойствами электрическим полем представляет большой интерес для создания новых функциональных магнитных материалов. В мультиферроэлектрических материалах это можно достичь путем управления их магниторезонансными возбуждениями электрическим и магнитным полями. Мы обнаружили в редкоземельных ферроборатах $RFe_3(BO_3)_4$ магниторезонансные возбуждения чувствительные к приложенному электрическому и магнитному полю. В $SmFe_3(BO_3)_4$ достигнута почти 100% модуляция интенсивности магнитного резонанса во внешних полях в терагерцовой области частот. Наблюдаемые эффекты обусловлены высокой чувствительностью ориентации антиферромагнитно упорядоченных спинов в легкой

плоскости кристалла к приложенному электрическому и магнитному полям, что позволяет контролировать условия возбуждения мод спиновых колебания. Разработана теория, описывающая эти явления.

A. M. Kuzmenko, D. Szaller, Th. Kain, V. Dziom, L. Weymann, A. Shuvaev, Anna Pimenov, A. A. Mukhin, V. Yu. Ivanov, I. A. Gudim, L. N. Bezmaternykh, and A. Pimenov, Phys. Rev. Lett. 2017 (to be published)

№9

Магнитный резонанс мультиферроика CuCrO_2 в электрическом поле

С.К. Готовко,^{1,2} Л.Е. Свистов¹

¹Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН

²Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный, Россия

CuCrO_2 является одним из примеров квазидвумерных антиферромагнетиков ($S = 3/2$) с треугольной кристаллической решёткой. Эксперименты по нейтронному рассеянию показали, что при температуре ниже температуры перехода в кристалле устанавливается трёхмерный компланарный магнитный порядок с волновым вектором $q_{ic} = (0.329, 0.329, 0)$. Исследования образца методами антиферромагнитного резонанса (АФМР), ядерного магнитного резонанса и дифракции нейтронов показали, что в образце реализуется спиральная структура в плоскости, перпендикулярной одной из сторон треугольника. Проекция спиновой плоскости на плоскость треугольной структуры для трех возможных магнитных доменов показана на вставке к Рис.1. Переход в магнитоупорядоченное состояние сопровождается возникновением спонтанной электрической поляризации P , перпендикулярной спиновой плоскости [1]. Согласно [2], основные магнитные и электрические свойства CuCrO_2 объясняются в рамках теории магнитных фазовых переходов Дзялошинского-Ландау. Теория позволяет определить собственные частоты колебаний спиновой плоскости (частоты АФМР). Собственные частоты колебаний зависят не только от приложенного внешнего постоянного магнитного поля H , но также и от приложенного внешнего электрического поля E . Внешнее электрическое поле приводит к сдвигу собственных частот колебаний и, соответственно, к сдвигу резонансного поля H_{res} при измерении на постоянной частоте. В работе исследовано влияние электрического поля на частоту АФМР в кристаллах CuCrO_2 . Так как сдвиг кривых поглощения мал, то в работе использовался модуляционный метод.

Помимо постоянных H и E к образцу прикладывалось переменное электрическое поле $E \sim$ на частоте ~ 300 Гц. Взаимная ориентация приложенных полей и поляризации по отношению к кристаллографическим осям указана на вставке к рис. 1 (верхняя панель). В эксперименте изучалась прошедшая через резонатор сверхвысокочастотная (СВЧ) мощность и амплитуда осцилляций СВЧ мощности на частоте переменного электрического поля. Экспериментальные зависимости измеренные при $T = 4.2$ К и частоте резонатора $\nu = 38.6$ ГГц приведены на рис. 1 (нижняя панель).

Отклик, записанный с помощью синхронного усилителя (зависимость на нижней панели рис. 1), имеет вид производной резонансной кривой. Прошедшая через резонатор СВЧ мощность и ее осциллирующая часть измерены в произвольных, но общих единицах. При смене знака постоянного электрического поля происходит смена электрической поляризации образца и, соответственно, фаза осциллирующего отклика (серая и пунктирная кривые). Измеренные зависимости, представленные на нижней панели рис. 1, знание спектров частотно-полевых зависимостей АФМР и величины спонтанной электрической поляризации позволяют сравнить величины сдвига частот в электрическом поле с теоретическим сдвигом.

Ожидаемая кривая осциллирующей части проходящей СВЧ мощности, полученная дифференцированием линии поглощения, умноженной на коэффициент, полученный в рамках теории [2], показан на нижней панели рис. 1 (синяя кривая). Видно удовлетворительное согласие.

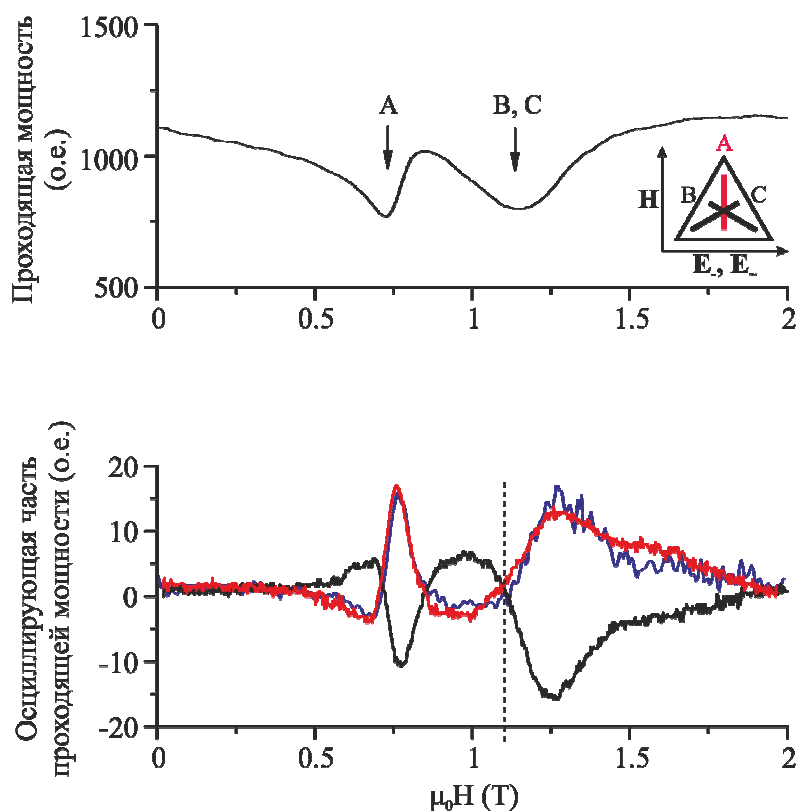


Рис. 1. Верхняя панель: линии поглощения от трёх магнитных доменов. На вставке – взаимная ориентация магнитного и электрического полей и поляризации относительно треугольной структуры.

Нижняя панель: отклики проходящей мощности на $E_{\pm}$ (красная и чёрная кривые соответствуют противоположным направлениям электрической поляризации в образце). Ожидаемый отклик, определенный в рамках теоретической модели (синяя кривая).

$T = 4.2 \text{ K}$, $f = 38.6 \text{ ГГц}$

[1] K. Kimura, H. Nakamura, S. Kimura, M. Hagiwara, T. Kimura, Phys. Rev. Lett. 2009. V. 103. 107201.

[2] V.I. Marchenko, JETP 2014. V. 119. P. 1084.

№10

Что происходит при нанесении сегнетоэлектрической плёнки на монокристалл манганита
Р.Ф. Мамин

Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского КазНЦ РАН Казань
Казанский (Приволжского) федеральный университет, Казань

№11

Магнитные фазовые переходы и динамическая электрическая поляризация в соединении
 LaMn_2O_5

В.В. Меньшенин, Н.Н. Гапонцева

Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург

Определена симметрия основного состояния манганата лантана в антиферромагнитной фазе. Показано, что основное состояние характеризуется двумя неприводимыми представлениями (НП) пространственной группы $P6_{mm}$. Установлено, что первое из этих

представлений является полностью симметричным, а базисной функцией этого представления оказывается z - проекция вектора $\mathbf{C}$ (в обозначениях Дзялошинского), описывающая дальний магнитный порядок ионов Mn в позиции $4f$, тогда как второе представление есть Γ_2 , характеризующее упорядочение спинов ионов Mn в позиции $4h$, базисными функциями которого являются проекции вектора $\mathbf{A}$ на ось y и вектора $\mathbf{G}$ на ось x соответственно. Векторы $\mathbf{G}$, $\mathbf{A}$ меняют знак при перестановке подрешеток под действием операции пространственной инверсии. Таким образом, переход из парамагнитного состояния в антиферромагнитную фазу должен происходить по двум неприводимым представлениям группы симметрии парамагнитного состояния. Были исследованы фазовые переходы в рамках теории Ландау в антиферромагнитную структуру с учетом в термодинамическом потенциале инвариантов до шестой степени по степеням параметров порядка. Найдено точное решение для параметров порядка в результате фазового перехода второго рода, когда оба они отличны от нуля. Определены условия, при которых этот переход реализуется как переход второго рода. Определена линия переходов первого рода и критическая точка. Показано, что в антиферромагнитной фазе вследствие взаимодействия спиновых волн с оптическими фононами может появиться динамическая электрическая поляризация. Благодаря резонансному взаимодействию оптических фононов со спиновыми волнами поляризация может оказаться доступной для экспериментального обнаружения.

[1] В.В. Меньшенин, Н.Н. Гапонцева. ФТТ, 2017, т. 59, вып. 6, с. 865-869.

[2] В.В. Меньшенин, Н.Н. Гапонцева. XVII Всероссийская школа-семинар по проблемам физики конденсированного состояния вещества (СПФКС-17), Екатеринбург, 15-22 ноября, 2016: Тез. докл.-Екатеринбург: ИФМ УрО РАН.- 51 с.

№12

Фрустрированное магнитное состояние в соединениях со слоистой кристаллической структурой

Герасимов Е.Г., Мушников Н.В., Терентьев П.Б., Пирогов А.Н., Гавико В.С., Язовских К.А.

Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург

Обнаружено, что сочетание сильной одноосной анизотропии и конкуренции межслойных и внутрислойных обменных взаимодействий может приводить к формированию фрустрированного магнитного состояния и к разрушению дальнего магнитного порядка в слоях Tb в соединениях $La_{1-x}Tb_xMn_2Si_2$ ($0.2 < x \leq 0.4$). Существование фрустрированного магнитного состояния в слоях редкоземельных ионов в соединениях такого типа обнаружено впервые и подтверждается экспериментами по изучению магнитных свойств монокристаллов и магнитной нейтронографии. Результаты имеют существенное значение для понимания природы и целенаправленного формирования различных типов магнитного упорядочения в магнетиках с естественной и искусственной слоистой структурой.

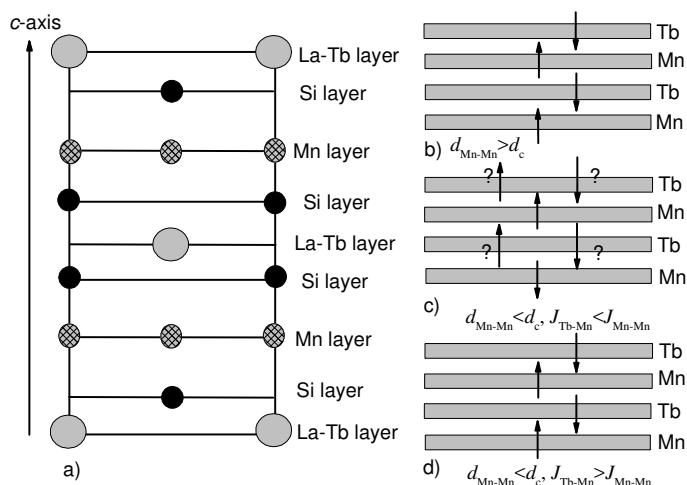


Рисунок. Проекция слоистой кристаллической структуры соединений RMn_2Si_2 в плоскости (011) (а) и возможные типы межслойного магнитного упорядочения при различных значениях параметров межслойного обменного взаимодействия (J_{Tb-Tb} , J_{Mn-Tb}) и внутрислойных расстояний между атомами марганца (d_{Mn-Mn}): $d_{Mn-Mn} > d_c$ (b); $d_{Mn-Mn} < d_c$, $J_{Tb-Tb} < J_{Mn-Tb}$ (c); $d_{Mn-Mn} < d_c$, $J_{Tb-Tb} > J_{Mn-Tb}$ (d).

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 15-12-10015).

1. Gerasimov E.G., Mushnikov N.V., Terentev P.B., Yazovskikh K.A., Gaviko V.S. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2017, v. 422, p. 237-242.
2. Gerasimov E.G., Mushnikov N.V., Terentev P.B., Pirogov A.N. Journal of Alloys and Compounds, 2018, v. 731, p. 397-402.
3. Gerasimov E.G., Mushnikov N.V., Pirogov A.N., Yazovskikh K.A. MISM 2017, Moscow, 2017, Book of abstract, p.803.
4. Gerasimov E.G., Mushnikov N.V., Terentev P.B., Yazovskikh K.A. SCES 2017, Prague, 2017.
5. Мушников Н.В., Герасимов Е.Г., Гавико В.С., Терентьев П.Б. Международная конференция «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах», Махачкала, 2017: Сб. трудов., с.6.

№13

Фазовая диаграмма системы с непрерывной симметрией векторного параметра порядка, содержащей дефекты типа «случайная локальная анизотропия»

А.А. Берзин¹, А.И. Морозов², А.С. Сигов¹

¹Московский технологический университет (МИРЭА), Москва, Россия

²Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный, Московская область, Россия

Анизотропное распределение направлений случайных легких осей дефектов индуцирует глобальную анизотропию типов «легкая ось» либо «легкая плоскость» в пространстве параметра порядка системы с непрерывной симметрией. Найдены условия существования состояния с дальним порядком и неоднородного состояния Имри-Ма в зависимости от концентрации дефектов, а также типа и величины глобальной анизотропии.

№14

Исследования в сильных импульсных магнитных полях

Ю.Б.Кудасов, В.В.Платонов, И.В.Макаров, Д.А.Маслов, О.М.Сурдин

Саровский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, ул.Духова, 6, Саров, 607186

Представлены измерительные методики и результат работ в сильных импульсных магнитных полях до 50 Тл: циклотронный резонанс в гетероструктурах КРТ и их транспортные свойства, методика измерения малых углов вращения плоскости поляризации в импульсных магнитных полях. Обсуждаются перспективы создания установки 60-Тл диапазона.

№15

Особенности перпендикулярной магнитной анизотропии и взаимодействия Дзялошинского-Мория в многослойных пленках

А.В. Огнев

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

№16

Исследования межслоевых взаимодействий в многослойных пленках

$[(\text{CoP})_{\text{soft}}/\text{NiP}/(\text{CoP})_{\text{hard}}/\text{NiP}]_n$

Г.С. Патрин^{1,2}, Я.Г. Шиян^{1,2}, В.П. Фурдык²

¹*Институт физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск,*

²*Сибирский федеральный университет, Красноярск*

В работе представлены результаты исследований многослойных магнитных пленок композиции $[(\text{CoP})_{\text{soft}}/\text{NiP}/(\text{CoP})_{\text{hard}}/\text{NiP}]_n$, полученных методом химического осаждения, для двух серий с толщинами немагнитной прослойки $t_{\text{NiP}} = 2, 4$ нм. Были выполнены измерения магнитостатических свойств в зависимости от числа блоков n в структуре и температуры. Установлено, что форма петли намагничивания зависит не только от числа блоков в структуре, но и от толщины немагнитной прослойки. При этом форма петли, характерная для магнитных пружин, имеет место в обоих случаях.

Также экспериментально исследованы магниторезонансные свойства многослойных структур $[(\text{CoP})_{\text{soft}}/\text{NiP}/(\text{CoP})_{\text{hard}}/\text{NiP}]_n$. Обнаружено, что нанесение на магнитный слой $(\text{CoP})_{\text{soft}}$ немагнитного аморфного слоя NiP индуцирует появление интерфейсной перпендикулярной анизотропии. В структуре с $n = 1$ наблюдается два пика поглощения, тогда как увеличение числа блоков в многослойной структуре с $t_{\text{NiP}} = 2$ нм приводит к появлению третьего пика поглощения. Такое поведение связывается с образованием неколлинеарной трех подрешеточной магнитной структуры. Данные объясняются в предположении, что между магнитомягким и магнито жестким слоями существует ферромагнитное взаимодействие, а между ближайшими слоями одной из подсистем реализуется антиферромагнитное взаимодействие.

Вопрос о механизмах, приводящих к дальнедействующим взаимодействиям в многослойной структуре, пока остается открытым, и это является задачей ближайших исследований.

№17

Магнитные свойства многослойных ферромагнитных пленочных наноструктур

А.В. Свалов, В.О. Васьковский, О.А. Аданакова, Г.В. Курляндская

Уральский федеральный университет, Екатеринбург

Исследованы свойства многослойных пленок $[\text{Gd-Co/Ti}]_n$, $[\text{Tb-Co/Ti}]_n$, $[\text{Tb-Co}/\text{Al}_2\text{O}_3]_n$, полученных ионно-плазменным распылением. Толщина магнитных слоев изменялась в интервале от 12 нм до 0,8 нм, толщина немагнитных прослоек была постоянной и составляла 2 нм.

Периодическая структура многослойных плёнок была подтверждена с помощью малоугловой рентгеновской дифракции и высокоразрешающей просвечивающей электронной микроскопии.

Для всех типов пленок было обнаружено, что ход температурной зависимости намагниченности образцов изменяется при варьировании толщины магнитных слоёв. Кроме того, выявлено активное влияние на магнитные свойства пленок материала немагнитных прослоек. Для пленок $[\text{Gd-Co/Ti}]_n$ экспериментальные зависимости $M(T)$ удалось удовлетворительно описать в рамках модели молекулярного поля с учетом влияния размерного фактора и уменьшения магнитного момента подрешётки Co вследствие

изменения электронной структуры атомов Co за счёт электронов прослоек Ti (эффект переноса заряда).

В пленках $[\text{Tb-Co}/\text{Al}_2\text{O}_3]_n$ влияние материала прослойки обусловлено окислением тербия за счет атомов кислорода, содержащихся в соединении Al_2O_3 .

№18

Электрическая инжекция и детектирование спин-поляризованных электронов в латеральных структурах ферромагнетик-InSb

Виглин Н.А., Устинов В.В., Демокритов С.О., Шорилов А.О., Бебенин Н.Г., Ляпилин И.И., Цвелиховская В.М., Павлов Т.Н., Патраков Е.И.

Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург

Получены аналитические выражения для электрического отклика ферромагнитного контакта на спиновое возмущение в полупроводнике с произвольным законом дисперсии электронов и произвольной степенью вырождения электронного газа. Реализована схема нелокального электрического детектирования поляризованных по спину электронов в невырожденном полупроводнике InSb с ферромагнитными контактами Fe или $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}$ с использованием эффекта Ханле, позволившая определить длину спиновой диффузии, время спиновой релаксации в InSb, параметр эффективности токовой инжекции и величину поляризации электронного газа под инжектором как функцию инжекционного тока.

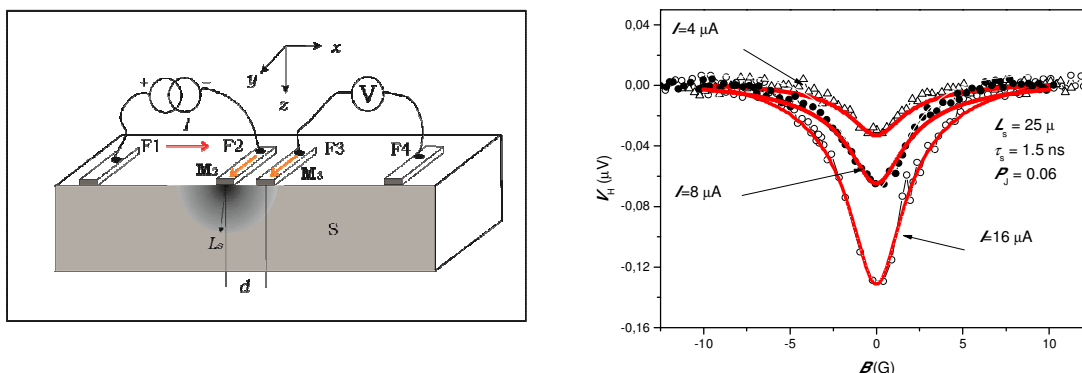


Рис. Слева: схема устройства для электрического детектирования спин-поляризованных электронов. Справа: графики экспериментально полученных сигналов эффекта Ханле для различных токов. Сплошные линии – теоретически рассчитанные напряжения для этих же токов.

1. В.В.Устинов, Н.Г.Бебенин, И.И.Ляпилин, Письма в ЖЭТФ 2014, т.99, №6, с.375-377.
2. Н.А.Виглин, В.В.Устинов, В.М.Цвелиховская, Т.Н.Павлов. Письма в ЖЭТФ 2015, т.101, №2, с.118-123.
3. N.A. Viglin, V.V. Ustinov, S.O. Demokritov, A.O. Shorikov, N.G. Bebenin, V.M. Tsvetikhovskaya, T.N. Pavlov, E.I. Patrakov, submitted to Phys. Rev. B.

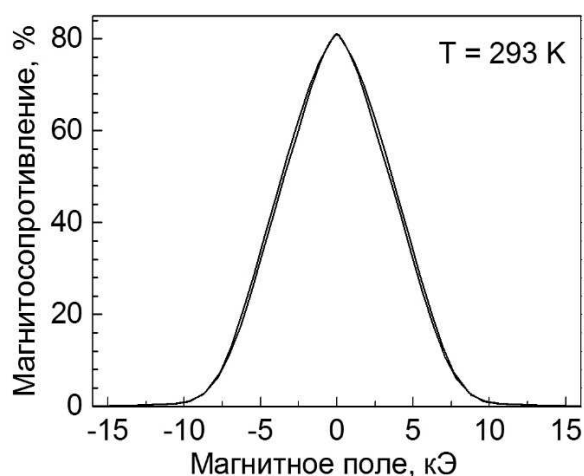
№19

Магнитные металлические сверхрешетки с рекордными значениями магнитосопротивления Миляев М.А., Наумова Л.И., Банникова Н.С., Криницина Т.П., Проглядо В.В., Устинов В.В.

Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург

Исследовано влияние различных материалов буферного слоя на структуру, магнитные и магниторезистивные свойства обменно-связанных сверхрешеток на основе сплавов 3-d металлов и меди. Установлено, что при использовании составного буферного слоя $\text{Ta}/(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_{60}\text{Cr}_{40}$ в сверхрешетках на основе тройных ферромагнитных сплавов $\text{Ni}_{65}\text{Fe}_{15}\text{Co}_{20}/\text{Cu}$ и $\text{Ni}_{76}\text{Fe}_{10}\text{Co}_{14}/\text{Cu}$ наблюдаются высокое совершенство текстуры $\langle 111 \rangle$,

слабый гистерезис и значения магнитосопротивления в 17–20%, превышающие достигнутый за рубежом уровень для аналогичных сверхрешеток со слабым межслойным обменным взаимодействием и полями магнитного насыщения около 100 Э. Для сверхрешеток с сильным обменным взаимодействием $[\text{CoFe}(15\text{\AA})/\text{Cu}(9\text{--}10\text{\AA})]_{24}$, изготовленных методом магнетронного напыления с использованием указанного составного буферного слоя, получено магнитосопротивление $(\Delta R/R_s)_{\text{max}}=81\%$ при комнатной температуре (см. рисунок). Данная величина магнитосопротивления, измеренная при протекании тока в плоскости слоев, является рекордной для всех типов исследованных ранее металлических сверхрешеток с эффектом гигантского магнитосопротивления. При охлаждении образца до температур жидкого гелия магнитосопротивление увеличивается до значения 165%. Созданные сверхрешетки с оптимизированными функциональными характеристиками используются отечественными предприятиями радиоэлектронной промышленности для разработки новых изделий магнитоэлектроники и спинтроники.



1. Ustinov V.V., Milyaev M.A., Naumova L.I. ФММ, 2017, v.118, №13, p. 1300-1359.
2. Н.С. Банникова, М.А. Миляев, Л.И. Наумова, Т.П. Криницина, Е.И. Патраков, В.В. Проглядо, Т.А. Чернышова, В.В. Устинов. ФТТ, 2016, т. 58, вып. 10, с. 1940–1946.
3. Н.С. Банникова, М.А. Миляев, Л.И. Наумова, В.В. Проглядо, Т.П. Криницина, И Ю. Каменский, В.В. Устинов. ФММ, 2015, т. 116, № 10, с. 1040–1046.

№20

Процессы управляемого зарождения и пиннинга доменных стенок в планарных ферромагнитных нанопроволоках с плоскостной и перпендикулярной анизотропией
В.Л. Миронов, О.Л. Ермолаева, Е.В. Скороходов

Институт физики микроструктур РАН, г. Нижний Новгород

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований эффектов управляемого зарождения и пиннинга/депиннинга доменной стенки (ДС) в планарной ферромагнитной нанопроволоке (НП), обусловленных взаимодействием намагниченности НП с полями рассеяния различных магнитных затворов на основе наночастиц (НЧ).

1. В системе, состоящей из НП с плоскостной анизотропией и магнитного затвора в виде двух НЧ, расположенных параллельно НП, реализуется асимметричный потенциал пиннинга ДС, что позволяет реализовать логическую ячейку с переключаемой логической функцией «ИЛИ» / «Исключающее ИЛИ» [1].
2. В системе, представляющей собой НП и затвор в виде четырех НЧ, расположенных под углом 45° к оси НП, продемонстрирована возможность переконфигурирования полей

рассеяния затвора, позволяющего реализовать логическую ячейку с переключаемой логической функцией «И» / «ИЛИ-НЕ» [2].

3. Показано, что применение двухслойной НП позволяет реализовать магнитные состояния, соответствующие логическим «1», «0» и «-1» троичной логики. Для системы, состоящей из двухслойной НП и затвора в виде двух двухслойных НЧ, показана возможность реализации магнитной логической ячейки, выполняющей операцию «конъюнкция» троичной логики [3].
4. Проведено микромагнитное моделирование особенностей перемагничивания и пиннинга ДС в планарной гибридной системе, представляющей собой НП с перпендикулярной намагниченностью (анизотропия типа «легкая ось») и расположенную на ее поверхности НЧ специальной V-образной формы (с анизотропией типа «легкая плоскость»). Продемонстрирована возможность реализации различных магнитных логических ячеек, выполняющих функции «НЕ», «ИЛИ», «ЕСЛИ-ТО», «И-НЕ».

[1] V.L. Mironov, O.L. Ermolaeva, E.V. Skorohodov, IEEE Transactions on Magnetics 52(12), 1100607 1-7 (2016).

[2] О.Л. Ермолаева, Е.В. Скороходов, В.Л. Миронов, Физика Твердого Тела, 58(11) 2145-2148 (2016).

[3] О.Л. Ермолаева, В.Л. Миронов, Физика Твердого Тела, 59(11), 2163 – 2168 (2017).

[4] O. L. Ermolaeva, V. L. Mironov, submitted to IEEE Transactions on Magnetics (2017).

№21

Влияние магнитных примесей на сверхпроводящее состояние соединений железа

М.М. Коршунов^{1,2}, Ю.Н. Тогушова², О.В. Долгов³

¹Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, 660036, Красноярск, Россия,

²Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

³Физический институт им. Лебедева РАН, Москва

Исследовано влияние магнитных примесей на параметр порядка и критическую температуру перехода в сверхпроводящее состояние в двузонной модели пниктидов и халькогенидов железа. Показано, что с увеличением концентрации примесей может возникать переход в состояние с другой структурой параметра порядка.

№22

Магнитная восприимчивость сверхпроводников на основе железа

Ю.Н. Тогушова¹, В.А. Шестаков², М.М. Коршунов^{1,2}

¹Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

²Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, 660036, Красноярск, Россия

Показано, что возникающий в магнитной восприимчивости спин-резонансный пик является характерным признаком сверхпроводящего состояния со знакопеременным параметром порядка. Исследована зависимость частоты и ширины пика от различных параметров системы в многоорбитальных моделях пниктидов железа.

№23

Эффекты увлечения в гибридных структурах Pt/YIG/Pt

И.И. Ляпилин, М. С. Огороков

Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург

Исследование спинового эффекта Зеебека (СЭЗ) в гибридных структурах Pt/YIG показало, что в них реализуется новый тип спинового тока, связанный с возбуждением спин-волнового тока в магнитном диэлектрике. Температурная зависимость коэффициента СЭЗ является немонотонной, максимум которой лежит в диапазоне 50-100К и, как показали

исследования, зависит также от напряженности магнитного поля и размеров образца. Наблюдавшиеся особенности не могут быть описаны в рамках стандартной модели эффекта увлечения магнонов фононами.

Анализ СЭЗ в Pt/YIG структурах показал, что в них реализуются две группы магнонов: «термические» и «инжектированные». Энергия «термических» магнонов $\propto k_B T$ «Инжектированные» магноны, энергия которых ($\Delta_s \gg k_B T$) (Δ_s — энергии спиновой аккумуляции электронов проводимости металла, создаваемой, посредством спинового эффекта Холла), реализуются вследствие неупругого рассеяния спин-поляризованных электронов Pt на локализованных спинах в окрестности интерфейса. Эволюция к равновесию «инжектированных», «термических» магнонов и фононов в условиях СЭЗ определяется механизмами их релаксации, а взаимодействие между потоками приводит к эффекту увлечения.

Нами предложена и развита «расширенная модель» эффекта увлечения, в основе которой взаимодействие между собой трех потоков: «термических», «инжектированных» магнонов и фононов. Рассмотрено приближение эффективных параметров, когда каждая из рассматриваемых подсистем описывается эффективной температурой и скоростью дрейфа потока. Показано, что в отличие от «обычного» эффекта увлечения, определяемого магнон-фононным и фонон-фононным рассеянием, взаимодействие между «термическими» и «инжектированными» магнонами вносит определяющий вклад в эффект увлечения, условиях СЭЗ в данных структурах. Показана возможность проявления нового эффекта магнон-фононного узкого «горла».

Работа выполнена при поддержке программы Спин 0120146330 (Проект 15-17-2-17, Грант 14Z50.31.0025 и RFBR грант 16-02-00044).

1. I.I. Lyapilin M.S. Okorokov, arXiv:1706.02154v1
2. I.I. Lyapilin M.S. Okorokov, EPJ (in press)
3. I.I. Lyapilin M.S. Okorokov, PRB (in press).

№24

120-градусное спиновое упорядочение на треугольной решетке в киральных сверхпроводниках и реализация майорановских фермионов

В.В. Вальков, А.О. Злотников, М.С. Шустин

Институт физики им. Л.В. Киренского, ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

В работе показано, что неколлинеарное спиновое упорядочение на треугольной решетке в сильно коррелированных системах может сосуществовать с киральной $d+id$ сверхпроводящей фазой только в том случае, если это упорядочение является 120-градусным. Возможность сосуществования таких двух параметров порядка обеспечивает реализацию майорановских краевых состояний, поскольку неколлинеарность спиновой структуры индуцирует смешивание спиновых состояний, аналогично спин-орбитальному взаимодействию. Это расширяет номенклатуру топологических сверхпроводников, в которых предсказываются майорановские моды [1-4].

Для неколлинеарного спинового упорядочения определен топологический инвариант Z_2 в киральном сверхпроводнике. Найдены условия реализации топологически нетривиальных фаз и топологически защищенных майорановских мод. Установлена связь между Z_2 инвариантом и целочисленным топологическим инвариантом Z основного состояния 2D решетки при учете неколлинеарного магнетизма.

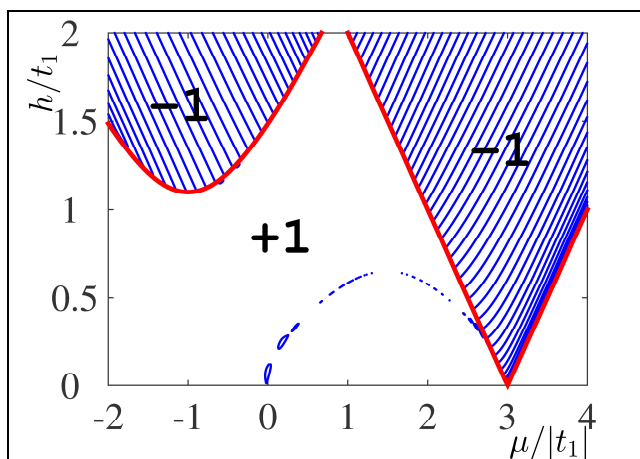


Рис.1 Линии реализации майорановских нулевых мод и топологических фаз с различными значениями Z_2 , h – обменное поле, μ – химпотенциал

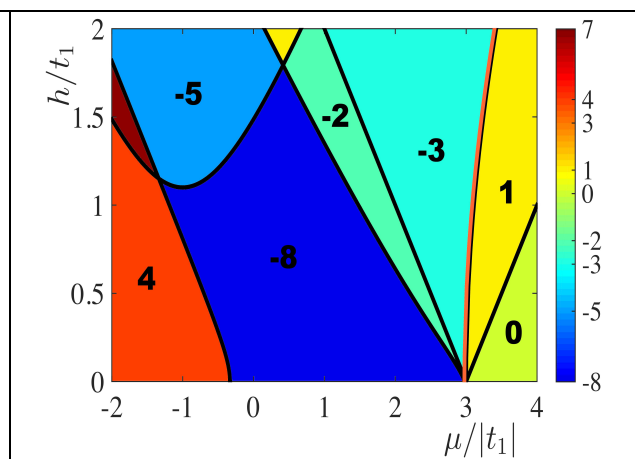


Рис.2 Диаграмма топологических фаз со значениями инварианта Z на диаграмме в переменных h – обменное поле, μ – химпотенциал

В рамках t - J - V -модели показано, что при учете сильных электронных корреляций нетривиальная топология фазы сосуществования киральной сверхпроводимости и 120-градусного магнитного порядка сохраняется.

Работа частично поддержана РФФИ (грант № 16-02-00073-а).

1. A.Yu. Kitaev, Physics-Uspekhi, 44, Suppl. 131 (2001).
2. J.D. Sau, R.M. Lutchyn, S. Tewari, S. Das Sarma, Phys. Rev. Lett. 104, 040502 (2010).
3. L. Fu, C.L. Kane, Phys. Rev. Lett., 100 096407 (2008).
4. I. Martin, A.F. Morpurgo, Phys. Rev. B 85, 144505 (2012).
5. V.V. Val'kov, A.O. Zlotnikov, arXiv:1707.04422 (2017), submitted to JMMM.

№25

Случайные блуждания в неупорядоченной решетке, CTRW, память и дипольный перенос
Ф.С.Джепаров

Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва

Краткий обзор применение теории CTRW (continuous time random walks) к дипольному прыжковому переносу. Представлены корректные версии вывода уравнений CTRW. Продемонстрировано существование различных форм ядер памяти. Проведено исправление ядер памяти Шера-Лэкса в рамках подхода с геометрической памятью и в соответствии с главным членом концентрационного разложения. Построено приближенное решение для автокорреляционной функции. Описано современное состояние численного моделирования и экспериментальных измерений деполаризации бета-активных ядер.