

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

1-2 декабря 2016 г.

Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН

(г. Москва, ул. Косыгина, 2)

Программа и аннотации докладов.

Программа

1 декабря, 14 часов

- I. Отчеты о работе Секции “Магнетизм”, выступления председателей подсекций, обсуждение организационных вопросов и др.
- II. Разное.

Научная сессия (все доклады по 15 мин.)

1. Аномальные магнитные, электрические, оптические и термодинамические свойства и спиновый кроссовер в редкоземельных кобальтитах.
С.Г. Овчинников
Институт физики СО РАН, Красноярск
2. Эффекты, связанные с низкосимметричной компонентой кристаллического поля в магнетиках $R\text{Fe}_3(\text{VO}_3)_4$: квадрупольная и магнитная киральность в $\text{DyFe}_3(\text{VO}_3)_4$, неэквивалентные R позиции в $\text{EuFe}_3(\text{VO}_3)_4$
М. Н. Попова¹, Б.З. Малкин², К.Н. Болдырев¹, Т.Н. Станиславчук³, Е.П. Чукалина¹, Д.А. Ерофеев^{1,4}, В.Л. Темеров⁵, И.А. Гудим⁵
¹*Институт спектроскопии РАН, 108840 Троицк, Москва*
²*Казанский Федеральный Университет, 420008 Казань*
³*Department of Physics, New Jersey Institute of Technology, Newark, NJ 07102, USA*
⁴*Московский Физико-Технический Институт, 141700 Долгопрудный*
⁵*Институт физики им. Л.В. Куренского СО РАН, 660036 Красноярск*
3. Легкоосный антиферромагнетик $\text{RfFe}_3(\text{VO}_3)_4$ в магнитном поле: бифуркация в терагерцовом спектре, вызванная электрон-фононным взаимодействием
К.Н. Болдырев¹, М.Н. Попова¹, Т.Н. Станиславчук², А.А. Сиренко², Д. Каменский³, Л.Н. Безматерных⁴
¹*Институт спектроскопии РАН, 108840 Троицк, Москва*
²*Department of Physics, New Jersey Institute of Technology, Newark, NJ 07102, USA*
³*High Field Magnet Laboratory, Radboud University, ED Nijmegen, 6525, Netherlands*
⁴*Институт физики им. Л.В. Куренского СО РАН, 660036 Красноярск*
4. Применение мессбауэровского сенсора магнитного поля для исследования сверхпроводимости в сильно сжатом сероводороде с рекордным значением критической температуры
И.А.Троян¹, А.Г. Гаврилюк^{1,2}, И.С. Любутин¹
¹*ФНИЦ Кристаллография и фотоника РАН, 119333 Москва, Россия*
²*Институт ядерных исследований РАН, 117312 Москва, Россия*

5. Исследование конкуренции динамического и статического беспорядка в допированном “треугольном” антиферромагнетике $\text{RbFe}(\text{MoO}_4)_2$.
А.И.Смирнов¹, Т.А. Солдатов¹, Т.Кида², М.Таката², М.Хагивара², О.А. Петренко³,
М.Житомирский⁴, А.Я. Шапиро⁵.
¹*Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН*
²*Университет Осаки*
³*Университет Варвика*
⁴*CEA Grenoble*
⁵*Институт Кристаллографии им. А. В. Шубникова РАН*
6. Полярная нематическая фаза в квазидвумерном антиферромагнетике с треугольной решеткой CuCrO_2 .
Ю.А. Сахратов^{1,2}, Д.Е. Свистов³, P.L. Kuhns¹, H.D. Zhou^{1,4}, A.P. Reyes¹
¹*National High Magnetic Field Laboratory, Tallahassee, Florida 32310, USA*
²*Kazan State Power Engineering University, 420066 Kazan, Russia*
³*P.L. Kapitza Institute for Physical Problems RAS, 119334 Moscow, Russia*
⁴*Department of Physics and Astronomy, University of Tennessee, Knoxville, Tennessee 37996, USA*
7. Существование киральной сверхпроводимости и неколлинеарного магнитного порядка в системе сильно коррелированных фермионов на треугольной решетке
В.В. Вальков, А.О. Злотников
Институт физики СО РАН, Красноярск
8. Фазовая диаграмма $O(n)$ модели с дефектами типа “случайное локальное поле” и справедливость теоремы Имри и Ма
А.А. Берзин¹, А.И. Морозов², А.С. Сигов¹
¹*Московский технологический университет (МИРЭА)*
²*Московский физико-технический институт (государственный университет)*

2 декабря, 10 часов

Научная сессия (все доклады по 15 мин.)

Магнитные структуры, фазовые переходы, мультиферроики, магноника и магнитный резонанс.

9. Параметрическая магнон-фононная неустойчивость в пленочных структурах железит-триевого граната
В.В. Тихонов¹, С.А. Никитов^{1,2}
¹*Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского*
²*Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН*

10. Возбуждение и распространение дипольно-обменных спиновых волн в неоднородных ферритовых микроструктурах.
Е.Н. Бегинин, С.А. Никитов, А.В. Садовников, Ю.П. Шараевский
Саратовский государственный университет, ИРЭ РАН
11. Радиационные потери и темная мода спиновых волн в дискретном микроволноводе
Ю.Н. Барабаненков, С.А. Осокин, С.А. Никитов, Д.В. Калябин
¹*Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского*
²*Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН*
12. Взаимосвязь структуры и свойств в α -, β' - и γ - модификациях $\text{Mn}_3(\text{PO}_4)_2$
О.С. Волкова
Физический факультет МГУ им. М.В Ломоносова, Москва, Россия
13. Гигантская магнитострикция при переходе антиферромагнетик – ферромагнетик в $\text{La}_{0.75}\text{Sm}_{0.25}\text{Mn}_2\text{Si}_2$
Н.В. Мушников, Е.Г. Герасимов, В.С. Гавико, К.А Язовских
Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург

Перерыв 10 мин.

14. Зарождение ЦМД электрическим воздействием
А.П. Пятаков
Физический факультет МГУ им. М.В Ломоносова, Москва, Россия
15. Обнаружение магнитоэлектрического эффекта в редкоземельных лангаситах $\text{Nd}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$
А.А. Мухин¹, В.Ю. Иванов¹, Б.В. Миль²
¹*Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Москва*
²*Физический факультет МГУ им. М.В Ломоносова, Москва, Россия*
16. Магнитоэлектрический датчик постоянных полей – аналог fluxgate магнетометра
Д.А. Бурдин, В.Н. Серов, Ю.К. Фетисов, Л.Ю. Фетисов, Д.В. Чапин, Н.А. Экономов
Московский технологический университет (МИРЭА), Москва
17. Экситоны в центре зоны Бриллюэна в магнитоэлектрике CuV_2O_4
В.В. Меньшенин
Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург.
18. К юбилею слабого ферромагнетизма
А.С. Москвин
Уральский федеральный университет, Екатеринбург

19. Анизотропия электронного спинового резонанса в антиферроквадрупольной фазе CeV_6
А.В. Семенов, М.И. Гильманов, Н.Е. Случанко, В.Н. Краснорусский, Р.Ю. Шицевалова,
В.Б. Филипов, С.В. Демишев
Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия
Московский Физико-Технический Институт, г.Долгопрудный, Россия
Институт проблем материаловедения НАН Украины, Киев, Украина

Перерыв.

14⁰⁰ - продолжение заседания

Спинтроника, спиновая динамика, магнитокалорический эффект, теория

20. Управление анизотропией тонких магнитострикционных пленок FeGa пикосекундной динамической деформацией
А.М. Калашникова¹, Т.Л. Linnik², В.Н. Кац¹, J. Jger³, А.С. Саласюк¹, D.R. Yakovlev³,
А.W. Rushforth⁴, А.В. Акимов⁴, М. Bayer³, А.В. Щербаков¹
¹*Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург, Россия*
²*Department of Theoretical Physics, V.E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, Kyiv, Ukraine*
³*Experimentelle Physik 2, Technische Universitat Dortmund, Dortmund, Germany*
⁴*School of Physics and Astronomy, University of Nottingham, Nottingham, United Kingdom*
21. Магнон-фононное взаимодействие в ферромгнитных нанорешётках
А.С. Саласюк¹, А.В. Рудковская¹, П.А. Неклюдова², А.А. Елистратов², С.В. Соколов²,
А.П. Данилов³, Б.А. Главин⁴, А.В. Акимов⁵, А.W. Rushforth⁵, Д.Р. Яковлев^{1,3}, М. Bayer^{1,3},
А.В. Щербаков¹.
¹*ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург*
²*Институт нанотехнологий микроэлектроники РАН, Москва*
³*Experimentelle Physik IIa, Technische Universitat Dortmund, Dortmund, Германия*
⁴*Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарьова НАН Украины, Киев, Украина*
⁵*School of Physics and Astronomy, University of Nottingham, Ноттингем, Великобритания*
22. Латеральный фото-магнито-вольтаический эффект в Fe/SiO₂/p-Si структуре
Н.В. Волков, М.В. Рауцкий, А.С. Тарасов, А.В. Лукьяненко, С.Н. Варнаков, С.Г. Овчинников
Институт физики им. Л.В. Киренского, Федеральный исследовательский центр “Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук”, Красноярск

23. Магнитокалорический эффект в в системе магнитных пленок с различными температурами Кюри
С.Н. Вдовичев¹, Е.В. Скороходов¹, А.А. Фраерман¹, J. Chang²
¹*ИФМ РАН*
²*KIST*
24. Поляризационно-зависимые и поляризационно-независимые эффекты при импульсном фотонамагничивании
М.В. Герасимов¹, М.В. Логунов², С.А. Никитов², Ю.Н. Ноздрин³, А.В. Спирин¹, И.Д. Токман³
¹*Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва*
²*Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН*
³*Институт физики микроструктур РАН*
25. Спиновые клапаны с синтетическим антиферромагнетиком: изменение однонаправленной анизотропии и управление функциональными параметрами
В.В. Устинов, М.А. Миляев, Л.И. Наумова, В.В. Проглядо, Т.А. Чернышова, И.Ю. Каменский, Т.П. Криницина
Институт физики металлов УрО РАН, 620137, Екатеринбург, Россия
26. Исследование магнитоупругих свойств ферромагнитных микрочастиц методами магнитополяриметрии, МСМ и ФМР
А.А. Бухараев, Д.А. Бизяев, С.А. Зиганшина, Ю.Е. Кандрашкин, Н.И. Нургазизов, Т.Ф. Ханипов, А.П. Чукланов
Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского КазНЦ РАН

Перерыв 10 мин.

27. Особенности магнитных свойств трехслойных пленок CoNi/Si/FeNi
Г.С. Патрин^{1,2}, Г.Ю. Юркин¹, В.И. Юшков^{1,2}, А.В. Кобяков^{1,2}, К.Г. Патрин^{1,2}, В.А. Комаров², В.П. Фурдык²
¹*Институт физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия.*
²*Сибирский федеральный университет, проспект Свободный, 79, Красноярск, Россия.*
28. Исследования магнитных свойств наногранулярных частиц \square -Fe₂O₃ в сильных импульсных магнитных полях
Д.А. Балаев, И.С. Поперечный, А.А. Красиков, К.А. Шайхутдинов, А.А. Дубровский, С.И. Попков, А.Д. Балаев, С.С. Якушкин, Г.А. Бухтиярова, О.Н. Мартыанов, Ю.Л. Райхер.
¹*Институт физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск*
²*Сибирский федеральный университет, г. Красноярск*
³*Институт механики сплошных сред Уральского отделения РАН, г. Пермь*
⁴*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь*
⁵*Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, г. Новосибирск*
⁶*Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург*

29. Исследования структурных, оптических и магнитных свойств эпитаксиальных плёнок $\text{Fe}_{1-x}\text{Si}_x/\text{Si}(111)$
И.А. Тарасов
Институт физики СО РАН, Красноярск
30. Теория спин-термических эффектов в гибридных структурах металл (полупроводник)/магнитный диэлектрик
И.И. Ляпилин, М.С. Огороков, Н.Г. Бебенин, В.В. Устинов
Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург
31. Связь магнетизма, сверхпроводимости и спин-резонансного пика в соединениях железа
М.М. Коршунов
Институт физики СО РАН, Красноярск
32. Магнитокалорический эффект и магнитная память формы в новых функциональных магнитных материалах в сильных магнитных полях
Э.Т. Дильмиева^{1,2}, А.П. Каманцев^{1,2}, В.В. Коледов^{1,2}, Е.П. Красноперов³, А.В. Маширов^{1,2}, В.Г. Шавров¹, Ю.С. Кошкидько², А.С. Лось², В.И. Нижанковский², К. Рogaцкий², Я. Цвик², И.С. Терешина⁴
¹*ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва.*
²*Международная лаборатория сильных магнитных полей и низких температур, г. Вроцлав, Польша.*
³*МРНЦ Курчатовский Институт, г. Москва*
⁴*МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва*

Аннотации докладов

№1

Аномальные магнитные, электрические, оптические и термодинамические свойства и спиновый кроссовер в редкоземельных кобальтатах.

С.Г. Овчинников

Институт физики СО РАН, Красноярск

№2

Эффекты, связанные с низкосимметричной компонентой кристаллического поля в магнетиках $R\text{Fe}_3(\text{BO}_3)_4$: квадрупольная и магнитная киральность в $\text{DyFe}_3(\text{BO}_3)_4$, неэквивалентные R позиции в $\text{EuFe}_3(\text{BO}_3)_4$

М. Н. Попова¹, Б.З. Малкин², К.Н. Болдырев¹, Т.Н. Станиславчук³, Е.П. Чукалина¹, Д.А. Ерофеев^{1,4}, В.Л. Темеров⁵, И.А. Гудим⁵

¹*Институт спектроскопии РАН, 108840 Троицк, Москва*

²*Казанский Федеральный Университет, 420008 Казань*

³*Department of Physics, New Jersey Institute of Technology, Newark, NJ 07102, USA*

⁴*Московский Физико-Технический Институт, 141700 Долгопрудный*

⁵*Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, 660036 Красноярск*

Известно, что редкоземельные ферробораты $R\text{Fe}_3(\text{BO}_3)_4$, у которых радиус иона R^{3+} меньше, чем ионный радиус Sm^{3+} , с понижением температуры претерпевают фазовый переход из структуры с пространственной группой (ПП) $R32$ в менее симметричную структуру, которой соответствует энантиоморфная пара ПП $P3_121$ и $P3_221$. Недавно в экспериментах по дифракции циркулярно поляризованных рентгеновских лучей в монокристалле $\text{DyFe}_3(\text{BO}_3)_4$ были выявлены домены, отличающиеся правой ($P3_121$) или левой ($P3_221$) геликоидальными структурами электронных квадрупольных моментов ионов Dy^{3+} [1]. Мы показываем, что этот эффект можно объяснить количественно на основании расчета с использованием низкосимметричных параметров кристаллического поля (ПКП), полученных из анализа спектров $f-f$ переходов в ионах Dy^{3+} . Низкосимметричные ПКП позволяют также рассчитать недиагональные компоненты тензора одноионной магнитной восприимчивости ионов Dy^{3+} в парамагнитном ферроборате диспрозия, которые определяют проекцию на плоскость ab магнитного момента диспрозия, индуцированного внешним магнитным полем, направленным вдоль оси c . Эти компоненты сравнимы по величине с магнитными восприимчивостями χ_{\parallel} и χ_{\perp} кристалла $\text{DyFe}_3(\text{BO}_3)_4$. Внутриплоскостная компонента магнитного момента диспрозия при переходе от одного иона к другому поворачивается вокруг направления магнитного поля по (против) часовой стрелке для $P3_121$ ($P3_221$) фазы. Такая киральность локальной магнитной восприимчивости может быть выявлена в экспериментах по рассеянию поляризованных нейтронов в парамагнитном кристалле $\text{DyFe}_3(\text{BO}_3)_4$, помещенном в магнитное поле $B//c$ [2]. Другая особенность $P3_121$ ($P3_221$) фазы два набора обменных расщеплений уровней РЗ иона в случае коллинеарной легкоплоскостной магнитной структуры. Нам удалось детектировать это явление в спектрах высокого разрешения кристалла $\text{EuFe}_3(\text{BO}_3)_4$ [3].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ №14-12-01033. Рост кристаллов (В.Л.Т. и И.А.Г.) был поддержан грантом РФФИ №14-02-00307а.

[1] T. Usui, Y. Tanaka, H. Nakajima, et al., Nature Materials 13, 611 (2014).

[2] M.N. Popova, E.P. Chukalina, K.N. Boldyrev, T.N. Stanislavchuk, B.Z. Malkin, I.A. Gudim,

<http://arxiv.org/abs/1611.07092>; Submitted to Phys. Rev. B.

[3] M.N. Popova, B.Z. Malkin, K.N. Boldyrev, T.N. Stanislavchuk, D.A. Erofeev, V.L. Temerov, and I.A. Gudim, Phys. Rev. B 94, 184418 (2016).

№3

Легкоосный антиферромагнетик $\text{PrFe}_3(\text{BO}_3)_4$ в магнитном поле: бифуркация в терагерцовом спектре, вызванная электрон-фононным взаимодействием

К.Н. Болдырев¹, М.Н. Попова¹, Т.Н. Станиславчук², А.А. Сиренко², Д. Каменский³,
Л.Н. Безматерных⁴

¹*Институт спектроскопии РАН, 108840 Троицк, Москва*

²*Department of Physics, New Jersey Institute of Technology, Newark, NJ 07102, USA*

³*High Field Magnet Laboratory, Radboud University, ED Nijmegen, 6525, Netherlands*

⁴*Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, 660036 Красноярск*

Резонансное взаимодействие между фононным и электронным возбуждениями в конденсированных по редкой земле или переходному металлу соединениях приводит к формированию связанных электрон-фононных мод. Ранее мы наблюдали такую связанную моду в терагерцовых спектрах отражения и эллипсометрии ферробората празеодима [1]. В $\text{PrFe}_3(\text{BO}_3)_4$ взаимодействуют 4f возбуждение редкой земли и колебательная мода кристаллической решетки, имеющие одинаковую симметрию и близкие частоты ($\sim 50 \text{ см}^{-1} = 1.5 \text{ ТГц}$). Возникает связанная электрон-фононная мода, что проявляется в перенормировке частот возбуждений и перекачке интенсивностей. Моделирование температурного поведения спектра дало значение $W = 14.8 \text{ см}^{-1}$ для константы электрон-фононного взаимодействия [1]. В настоящей работе мы исследовали поведение связанной электрон-фононной моды при помещении кристалла во внешнее магнитное поле, направленное вдоль кристаллографической оси c . Регистрировались спектры отражения монокристалла $\text{PrFe}_3(\text{BO}_3)_4$, как в парамагнитной, так и в магнитоупорядоченных фазах (включая спин-флоп фазу), в полях до 30 Т. При $T < T_N$ и $W \neq 0$ в сколь угодно малом поле возникает щель в спектре квазиэлектронных возбуждений (бифуркация). Моделирование на основе теории связанных электрон-фононных мод объясняет это явление и полевое поведение спектра во всем интервале полей (0 – 30 Т). При этом величина электрон-фононного взаимодействия остается неизменной.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ №14-12-01033

[1] K.N. Boldyrev, T.N. Stanislavchuk, A.A. Sirenko, L.N. Bezmaternykh, M.N. Popova, Coupling between phonon and crystal-field excitations in multiferroic $\text{PrFe}_3(\text{BO}_3)_4$, Phys. Rev. B Rapid Comm. **90**, 121101(R) (2014).

[2] K.N. Boldyrev, T.N. Stanislavchuk, A.A. Sirenko, D. Kamenskyi, L.N. Bezmaternykh, M.N. Popova, Bifurcations Observed in the Spectra of Coupled Electron-Phonon Modes in Multiferroic $\text{PrFe}_3(\text{BO}_3)_4$ Subjected to a Magnetic Field, <http://arxiv.org/abs/1609.02125> (submitted to Phys. Rev. Lett.) (2016).

№4

Применение мессбауэровского сенсора магнитного поля для исследования сверхпроводимости в сильно сжатом сероводороде с рекордным значением критической температуры

И.А.Троян¹, А.Г. Гаврилюк^{1,2}, И.С. Любутин^{*1}

¹*ФНИЦ Кристаллография и фотоника РАН, 119333 Москва, Россия*

²*Институт ядерных исследований РАН, 117312 Москва, Россия*

*lyubutinig@mail.ru

Проблема сверхпроводимости с высокими критическими параметрами является одним из главных вызовов современной науки. Работа посвящена исследованию сверхпроводимости в сероводороде, в котором при высоком давлении предсказываются рекордные значения критической температуры (выше 200 К). Нами предложен и реализован способ измерения магнитного поля внутри сверхпроводящего образца H_2S , находящегося при высоком давлении в камере с алмазными наковальнями [1]. В качестве сенсора (датчика) магнитного поля использована фольга олова, обогащенная мессбауэровским изотопом Sn-119. Идея метода основана на многолетних исследованиях по эффекту Мессбауэра на диамагнитных атомах олова в ИК РАН [2]. Использована синхротронная мессбауэровская спектроскопия для детектирования магнитного поля в объеме сверхпроводящего сероводорода, находящегося при давлении 150 ГПа. При этом давлении исследованы значения магнитного поля в сверхпроводящем сероводороде в зависимости от температуры. Установлено, что сильно сжатый сероводород эффективно экранирует магнитный поток до температуры 145 К при величине магнитного поля 0.7 Тесла. Доказано, что этот материал является сверхпроводником второго рода с высокими критическими параметрами [1].

Работа выполнена при поддержке Госконтракта Минобрнауки РФ №14.616.21.0068, а так же грантов РФФИ №16-12-10464 и РФФИ №14-02-00483.

Литература:

[1] I.A. Troyan, A. G. Gavriiliuk, R. Rffer, A. Chumakov, A. A. Mironovich, I. S. Lyubutin, D. Perekalin, Observation of superconductivity in hydrogen sulfide from nuclear resonant scattering, Science 351 (2016) 1303.

[2] И.С. Любутин, «Метод диамагнитного ядерного зонда в исследованиях магнитных свойств кристаллов» Глава в книге "Физическая кристаллография"(сер. Проблемы современной кристаллографии), Изд. НАУКА, М., 1992, (стр. 326-363).

№5

Исследование конкуренции динамического и статического беспорядка в допированном "треугольном" антиферромагнетике $\text{RbFe}(\text{MoO}_4)_2$.

А.И.Смирнов¹, Т.А. Солдатов¹, Т.Кида², М.Таката², М.Хагивара², О.А. Петренко³, М.Житомирский⁴, А.Я. Шапиро⁵.

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

² *Университет Осаки*

³ *Университет Варвика*

⁴ *CEA Grenoble*

⁵ *Институт Кристаллографии им. А. В. Шубникова РАН*

The ground state of the two-dimensional Heisenberg antiferromagnet on a triangular lattice (AFMTL) is strongly degenerated in a molecular field approximation. The selection of the ground state is performed by the so-called order-by-disorder mechanism, implying thermal and quantum fluctuations, lifting a degeneracy, see, e.g. [1]. Even a weak random potential of impurities was shown to prevent these fluctuations and, thus, may be a reason of a cardinal change of the spin structure of AFMTL [2]. We have checked these theoretical principles in experiments with $S=5/2$ AFMTL $\text{RbFe}(\text{MoO}_4)_2$ [3], doped with up to 15 (this means substitution of Rb per K). The susceptibility shows a reduced Néel temperature, but the Néel transition is almost as sharp as in a pure compound. The 1/3-magnetization plateau, being an evidence of a phase, stabilized by dynamic fluctuations, was completely suppressed by doping in correspondence with [2]. The results of a multifrequency ESR study in a range 25-150 GHz reveal a strong change of the antiferromagnetic resonance spectrum - the descending branch observed in pure samples, disappears completely in doped samples, indicating a change of the ground state.

The theoretical analysis of the spectra of the proposed spin configurations is in a correspondence with “Y-type” structure (one sublattice opposite field, two sublattices tilted) for the pure compound, while for the doped samples the spectrum indicates the “anti-Y” structure (one sublattice along field and two - tilted). These facts directly demonstrate, that preventing spin fluctuations by a weak static random potential really results in a drastic change of the spin structure.

[1] A. V. Chubukov, D. I. Golosov, *Journal of Physics: Condensed Matter*, **3**, 69 (1991).

[2] V. S. Maryasin and M. E. Zhitomirsky, *Phys. Rev. Lett.*, **111**, 247201 (2013).

[3] L. E. Svistov et al, *Phys. Rev. B*, **67**, 094434 (2003).

№6

Полярная нематическая фаза в квазидвумерном антиферромагнетике с треугольной решеткой CuCrO_2 .

Ю.А. Сахратов^{1,2}, Л.Е. СВИСТОВ³, P.L. Kuhns¹, H.D. Zhou^{1,4}, A.P. Reyes¹

¹*National High Magnetic Field Laboratory, Tallahassee, Florida 32310, USA*

²*Kazan State Power Engineering University, 420066 Kazan, Russia*

³*P.L. Kapitza Institute for Physical Problems RAS, 119334 Moscow, Russia*

⁴*Department of Physics and Astronomy, University of Tennessee, Knoxville, Tennessee 37996, USA*

Проведены исследования магнитной структуры квазидвумерного антиферромагнетика с треугольной решеткой CuCrO_2 методом ЯМР спектроскопии на ядрах немагнитных ионов меди. В результате этих исследований получена магнитная фазовая диаграмма CuCrO_2 при ориентации поля вдоль оси легкого намагничивания в полях вплоть до 45 Т ($\sim 1/6 H_{\text{sat}}$). Найдены области H-T диаграммы, где реализуется парамагнитная, коллинеарная UUD, трехмерно и двумерно упорядоченные структуры. Обнаружена область H-T диаграммы, где трехмерный порядок отсутствует, и в то же время образец обладает электрической поляризацией, наведенной магнитной системой. В классификации Андреева и Грищука, такая структура является магнитным нематиком p-типа.

№7

Сосуществование киральной сверхпроводимости и неколлинеарного магнитного порядка в системе сильно коррелированных фермионов на треугольной решетке

В.В. Вальков, А.О. Злотников

Институт физики СО РАН, Красноярск

Для системы сильно коррелированных электронов на треугольной решетке продемонстрирована возможность реализации фазы сосуществования сверхпроводимости с киральным типом симметрии параметра порядка и 120 градусного неколлинеарного магнитного упорядочения. Интегральное уравнение самосогласования для сверхпроводящего параметра порядка получено методом диаграммной техники для операторов Хаббарда при учете спирального магнитного упорядочения, обменного взаимодействия в пределах двух координационных сфер, а также межзельного кулоновского отталкивания.

№8

Фазовая диаграмма $O(n)$ модели с дефектами типа “случайное локальное поле” и справедливость теоремы Имри и Ма

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

¹*Московский технологический университет (МИРЭА)*

²*Московский физико-технический институт (государственный университет)*

Показано, что теорема Имри и Ма, утверждающая, что в пространстве размерности $d < 4$ введение сколь угодно малой концентрации дефектов типа «случайное локальное поле» в систему с непрерывной симметрией n -компонентного векторного параметра порядка ($O(n)$ -модель) приводит к исчезновению дальнего порядка и появлению неоднородного состояния, несправедлива, если анизотропное распределение направлений случайных локальных полей дефектов в пространстве параметра порядка создает эффективную анизотропию типа «легкая ось». В случае слабо анизотропного распределения полей в пространстве размерности $2 \leq d < 4$ существует критическая концентрация дефектов, при превышении которой неоднородное состояние Имри-Ма может существовать как равновесное. При меньшей концентрации дефектов в системе имеет место дальний порядок. В случае сильно анизотропного распределения полей состояние Имри-Ма полностью подавляется, и состояние с дальним порядком реализуется при любой концентрации дефектов.

№9

Параметрическая магнон-фононная неустойчивость в пленочных структурах железиттриевого граната

В.В. Тихонов¹, С.А. Никитов^{1,2}

¹*Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского*

²*Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН*

Экспериментально обнаружены эффекты магнон-фононной параметрической неустойчивости и автомодуляции магнитостатических и быстрых магнитоупругих волн. Установлено, что неустойчивость вызвана рассеянием исходных волн и стимулируются высокочастотными акустическими резонансами в немагнитной подложке гадолиний-галлиевого граната. Наблюдались неустойчивость первого и второго рода (трех- и четырехволновые процессы). Выявлены их особенности и условия существования. Установлено, что магнон-фононная неустойчивость имеет не только нижние, но и верхние пороги. При достижении верхнего порога неустойчивость исчезает. Существование верхних порогов обусловлено наличием нескольких сценариев параметрической неустойчивости. Волны становятся устойчивыми при достижении нижних порогов двух конкурирующих сценариев.

№10

Возбуждение и распространение дипольно-обменных спиновых волн в неоднородных ферритовых микроструктурах.

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

Саратовский государственный университет, ИРЭ РАН

В докладе представлены результаты теоретического и экспериментального исследования процессов возбуждения и характеристик распространения пакетов дипольно-обменных спиновых волн в микроструктурах на основе пленок железо-иттриевого граната. Обнаружено, что в исследуемых микроструктурах неоднородность внутреннего статического магнитного поля обеспечивает эффективную генерацию и волноводное распространение спиновых волн с волновыми числами до $6 \times 10^4 \text{ см}^{-1}$. Проведены исследования частотных зависимостей фазовых и групповых скоростей спиновых волн. Показано, что динамикой и амплитудами волновых пакетов можно эффективно управлять изменением направления внешнего магнитного поля в плоскости ферритовой микроструктуры.

№11

Радиационные потери и темная мода спиновых волн в дискретном микроволноводе
Ю.Н. Барабаненков, С.А. Осокин, С.А. Никитов, Д.В. Калябин

¹ *Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского*

² *Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН*

Теоретически исследовано распространение спиновой волны в дискретном волноводе, образованном цилиндрическими ферромагнитными включениями в ферромагнитной пленке с отличной от материала включений намагниченностью насыщения. Показано, что в таких структурах существует резонансная частота, для которой возбуждение передается на большое расстояние вдоль цепочки включений. Для такого режима распространения исследование радиационных потерь проводилось методом Т-оператора рассеяния, и показано что вклад в радиационные потери всей цепочки включений определяется единственным включением, на которое падает возбуждающая спиновая волна, независимо от остальных включений. Такой режим распространения соответствует так называемой темной моде. Проведены исследования зависимости резонансной частоты от геометрических параметров структуры и условий, которыми можно контролировать радиационные потери в волноводе.

№12

Взаимосвязь структуры и свойств в α -, β' - и γ - модификациях $\text{Mn}_3(\text{PO}_4)_2$

О.С. Волкова

Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия

№13

Гигантская магнитострикция при переходе антиферромагнетик – ферромагнетик
в $\text{La}_{0.75}\text{Sm}_{0.25}\text{Mn}_2\text{Si}_2$

Н.В. Мушников^{*}, Е.Г. Герасимов, В.С. Гавико, К.А. Язовских

Институт физики металлов им. М.Н.Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург

^{*} *mushnikov@imp.uran.ru*

Установлено, что переход антиферромагнетик ферромагнетик (AF-F), наблюдаемый в интерметаллиде $\text{La}_{0.25}\text{Sm}_{0.75}\text{Mn}_2\text{Si}_2$ при увеличении температуры либо при приложении магнитного поля, сопровождается большой положительной объемной магнитострикцией $\omega = \Delta V/V = 2.8 \times 10^{-3}$, а также сильной анизотропной деформацией решетки, отрицательной вдоль кристаллографической с-оси и положительной в базисной плоскости кристалла. Показано, что магнитострикция связана с изменением межслойного Mn-Mn обменного взаимодействия при переходе. В области малых магнитных полей и объемная и анизотропная магнитострикции пропорциональны квадрату намагниченности. Экспериментальные значения констант магнитоупругой связи хорошо согласуются с оценками на основе термодинамических соотношений. Вблизи температуры спонтанного перехода индуцированный магнитным полем переход AF-F может быть реализован в относительно небольших магнитных полях.

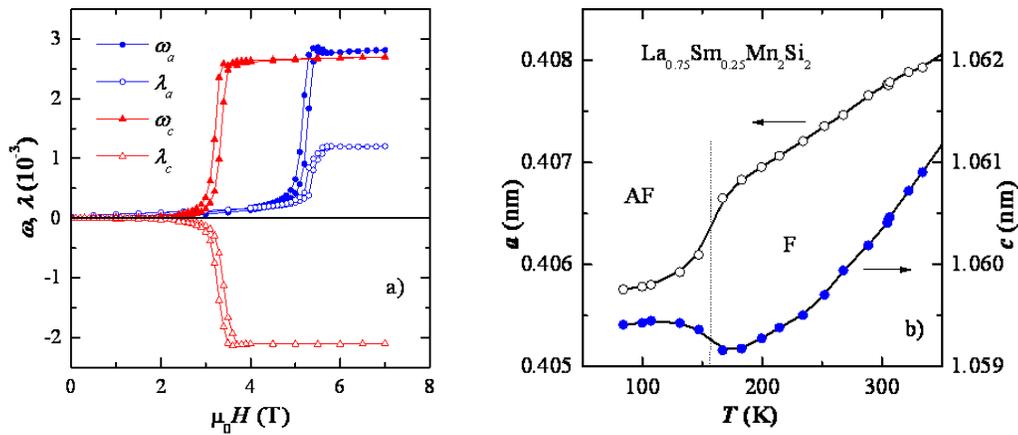


Рис. 1. (а) Полевые зависимости объемной (ω) и анизотропной (λ) магнитострикции монокристалла $\text{La}_{0.25}\text{Sm}_{0.75}\text{Mn}_2\text{Si}_2$ при приложении магнитного поля вдоль с-оси (треугольники) и в базисной плоскости (кружки). (б) Температурная зависимость параметров решетки вблизи области спонтанного AF-F перехода.

Публикации:

1. N.V. Mushnikov, E.G. Gerasimov. Magnetostriction of $\text{La}_{0.75}\text{Sm}_{0.25}\text{Mn}_2\text{Si}_2$ compound. J. Alloys and Compounds, 2016, v. 676, p. 74-79.
2. N.V. Mushnikov, E.G. Gerasimov, E.V. Rosenfeld, P.B. Terentyev, V.S. Gaviko. Magnetic phase transitions in layered intermetallic compounds. J. Magn. Magn. Mater., 2012, v. 324, p. 3410-3412.

№14

Зарождение ЦМД электрическим воздействием

А.П. Пятаков

Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

№15

Обнаружение магнитоэлектрического эффекта в редкоземельных лангаситах $\text{Nd}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$

А.А. Мухин¹, В.Ю. Иванов¹, Б.В. Миль²

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

²*Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

Представлены результаты исследований магнитоэлектрического эффекта в монокристаллах магнитно фрустрированного соединения с решеткой Кагоме $\text{Nd}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$, обладающего нецентросимметричной кристаллической структурой (пространственная группа $R\bar{3}21$) и не испытывающего магнитного упорядочения вплоть до самых низких температур. Впервые обнаружена индуцированная магнитным полем электрическая поляризация как в базисной ab плоскости, так и вдоль оси третьего порядка c . Установлено, что поляризация вдоль оси a в слабых магнитных полях при произвольном направлении поля H квадратична по H и описывается двумя магнитоэлектрическими восприимчивостями в соответствии с тригональной симметрией кристалла. В сильных магнитных полях при низких температурах проявляется насыщение магнитоэлектрического эффекта, приводящее к отклонению поляризации от квадратичной зависимости и асимметрии кривых $P_a(H_a)$ и $P_a(H_b)$. Поляризация вдоль оси c в слабых магнитных полях также описывается соотношениями, полученными из симметричного анализа, и пропорциональна

четвертой степени магнитного поля. При низких температурах (~ 2 К) в поле 5 Т поляризация достигает значений ~ 250 мкКл/м², сравнимых с величинами поляризации в ферро- и алюмоборатах. Разработана теория магнитоэлектрических эффектов Nd₃Ga₅SiO₁₄ на основе спингамильтониана в локальных низкосимметричных (C₂) позициях ионов Nd³⁺ с учетом допускаемого симметрией магнитоэлектрического взаимодействия, которая позволяет количественно описать наблюдаемые магнитные, температурные и ориентационные зависимости поляризации. Установлена важная роль низкосимметричного магнитоэлектрического вклада от трех типов локальных позиций Nd³⁺ в формировании аномально высокой макроскопической поляризации вдоль оси *c*.

Работа выполнена при поддержке РФФ (проект 16-12-10531)

№16

Магнитоэлектрический датчик постоянных полей – аналог fluxgate магнетометра
Д.А. Бурдин, В.Н. Серов, Ю.К. Фетисов, Л.Ю. Фетисов, Д.В. Чашин, Н.А. Экономов
Московский технологический университет (МИРЭА), Москва

Для измерения магнитных полей применяют разные физические эффекты, в том числе: явление электромагнитной индукции; эффект Холла в полупроводниках, магнитосопротивление, оптический эффект Фарадея и т.д. Для измерений слабых полей $10^{-4} - 1$ Ое распространены fluxgate (FG) магнетометры, использующие особенности намагничивания ферромагнетика во внешнем поле [1]. В последнее время разрабатывают датчики на основе магнитоэлектрического (МЭ) эффекта в композитных структурах ферромагнетик-пьезоэлектрик (ФМ-ПЭ), возникающего из-за комбинации магнитострикции и пьезоэффекта [2]. Однако, МЭ датчики не могут измерять постоянные и низкочастотные поля с $f < 1$ Гц из-за токов утечки в ПЭ слое.

Нами предложен и реализован новый тип МЭ датчика постоянных магнитных полей, использующий нелинейную зависимость магнитострикции ФМ слоя структуры от поля и являющийся аналогом FG магнетометра. Принцип действия МЭ датчика поясняет рис.1. Структура ФМ-ПЭ помещена в переменное поле накачки $h \cos(2\pi ft)$ с частотой f и большой амплитудой $h \sim H_S$, где H_S поле насыщения магнитострикции $\lambda(H)$ ФМ слоя. В результате периодической деформации ФМ слоя $S(t)$ структура генерирует четные гармоники напряжения $u(2f)$, $u(4f)$ и т.д. При приложении измеряемого поля $H < h$, из-за нарушения симметрии, появляются нечетные гармоники напряжения $u(f)$, $u(3f)$ и т.д. Показано, что амплитуда нечетных гармоник есть линейная функция поля $u(f) \sim qH$ и $u(3f) \sim rH$ (где $q = \partial\lambda/\partial H$ и $r = \partial^3\lambda/\partial H^3$ - производные магнитострикции по полю при $H=0$), что и используется для измерения постоянного поля. На рис. 2 изображена конструкция МЭ датчика, содержащего пьезоволоконный композит (Smart materials), помещенный между двумя слоями аморфного металла (Metglas) внутри катушки накачки. При поле накачки $h = 6$ Э с частотой $f = 1$ кГц датчик показал чувствительность $u(f)/H = 0.4$ В/Э и позволял регистрировать минимальные поля до 0.1 мЭ (см. Рис. 3). Изготовлен измерительный прибор на основе такого датчика. Оценки показали, что характеристики МЭ датчика могут быть улучшены на 2-3 порядка за счет оптимизации конструкции, частоты накачки и снижения шумов. МЭ датчики описанного типа могут составить конкуренцию fluxgate магнетометрам.

- [1] P. Ripka, Advances in fluxgate sensors. Sens. Actuators A Physics, 2003, v. 106, p. 8.
- [2] C.-W. Nan, M.I. Bichurin, S. Dong, D. Wiehland, G. Srinivasan, JAP, 2008, v. 103, 031101.
- [3] D.A. Burdin, D.V. Chashin, Y.K. Fetisov et al, J. Phys. D. Appl. Physics, 2016, 49, 375002.

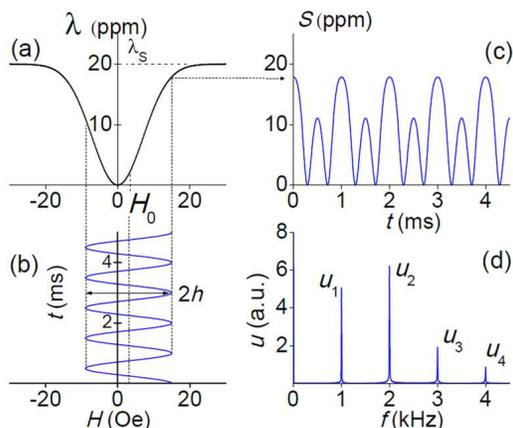


Рис.1 Рисунок, поясняющий принцип работы МЭ датчика постоянных полей: $\lambda(H)$ - магнитострикция ФМ слоя при $f = 1$ kHz. В – спектр частот генерируемого сигнала.

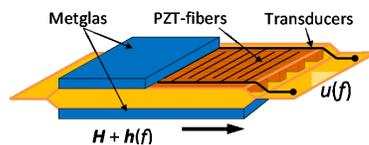


Рис.2 Конструкция МЭ датчика.

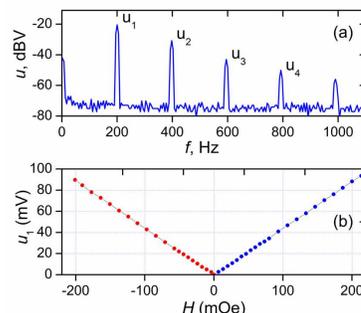


Рис.3 Спектр частот (а) и зависимость выходного сигнала от поля H .

№17

Экситоны в центре зоны Бриллюэна в магнитоэлектрике CuV_2O_4

В.В. Меньшенин*

Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург.

*menshenin@imp.uran.ru

Проведен теоретико-групповой анализ возможности возбуждения экситонов в антиферромагнитной соизмеримой структуре соединения CuV_2O_4 в центре зоны Бриллюэна. Для анализа этой возможности была определена локальная магнитная группа упорядоченных ионов меди и точечная магнитная группа симметрии этого соединения в антиферромагнитной фазе. Показано, что точечная магнитная группа не содержит антиунитарных элементов, как предполагалось в более ранних работах, а включает плоскость отражения, являющуюся нечетным элементом симметрии. Найдено расщепление энергетических уровней ионов меди за счет кристаллического поля и спин-орбитального взаимодействия. Определена симметрия операторов перехода электронов, характеризующих экситонные возбуждения и найдены ориентации электрических и магнитных полей линейно поляризованных электромагнитных волн, которые генерируют эти возбуждения. Практическое значение этой работы связано с тем, что из её результатов вытекает невозможность внесения в это соединение кристаллической киральности магнитным полем.

№18

К юбилею слабого ферромагнетизма

А.С. Москвин

Уральский федеральный университет, Екатеринбург

Сто лет назад, 1 декабря 1916 г. была опубликована статья Т. Смита (Т. Townsend Smith, Phys. Rev. **8**, 721 (1916)) “Магнитные свойства гематита” (The magnetic properties of hematite) с результатами исследования “паразитного” ферромагнетизма гематита. Спустя сорок лет, в 1956 г. А.С. Боровик-Романов и М.П. Орлова своей знаменитой статьей (ЖЭТФ, 4(10), 1956), а вслед за ними И.Е. Дзялошинский положили начало широким экспериментальным и теоретическим исследованиям нового явления - слабого ферромагнетизма и нового взаимодействия - антисим-

метричного обмена. В докладе представлен краткий исторический обзор и современное состояние теории антисимметричного обмена и других обменно-релятивистских взаимодействий.

№19

Анизотропия электронного спинового резонанса в антиферроквадрупольной фазе CeB_6
А.В. Семенов, М.И. Гильманов, Н.Е. Случанко, В.Н. Краснорусский, Р.Ю. Шицевалова,
В.Б. Филипов, С.В. Демишев

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

Московский Физико-Технический Институт, г.Долгопрудный, Россия

Институт проблем материаловедения НАН Украины, Киев, Украина

Электронный спиновый резонанс (ЭСР) в сильно-коррелированных металлах- чрезвычайно редко наблюдаемое физическое явление, поскольку спиновые флуктуации, типичные для этого класса материалов, приводят к сильному уширению резонансной линии. В этом отношении, обнаружение ЭСР в CeB_6 предоставляет уникальную возможность исследования магнитного состояния иона Ce^{3+} в антиферроквадрупольной (АФК) фазе этого соединения. Мы применили оригинальную высокочастотную ($f=60$ ГГц) методику ЭСР для получения температурных и угловых зависимостей g -фактора, ширины линии и осциллирующей намагниченности M_0 . Анализ экспериментальных данных показал, что существующая в настоящее время теория ЭСР в АФК фазе, разработанная для основного состояния Γ_8 иона Ce^{3+} не позволяет описать как величину g -фактора, так и его угловую зависимость. Кроме этого, обнаружено, что приложение магнитного поля вдоль направления $[100]$ вызывает сильное (более двух раз) уширение линии ЭСР по сравнению с другими кристаллографическими направлениями, а также приводит к аномальной температурной зависимости g -фактора и осциллирующей намагниченности M_0 . Для этого направления наблюдается удивительный эффект превышения (более чем на 20 величин M_0 над статической намагниченностью $M_0 > M_{stat}$, которое имеет место при $T^* \sim 2.5$ К. Мы считаем, что необычная физическая картина ЭСР в CeB_6 обусловлена сильным воздействием спиновых флуктуаций, которые наиболее сильно выражены в направлении $[100]$.

№20

Управление анизотропией тонких магнитострикционных пленок FeGa пикосекундной динамической деформацией

А.М. Калашникова¹, Т.Л. Linnik², В.Н. Кац¹, J. Jger³, А.С. Саласюк¹, D.R. Yakovlev³, A.W. Rushforth⁴, А.В. Акимов⁴, М. Bayer³, А.В. Щербаков¹

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

²*Department of Theoretical Physics, V.E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, Kyiv, Ukraine*

³*Experimentelle Physik 2, Technische Universitat Dortmund, Dortmund, Germany*

⁴*School of Physics and Astronomy, University of Nottingham, Nottingham, United Kingdom*

Магнитокристаллическая анизотропия (МКА) играет важнейшую роль в формировании таких свойств магнитоупорядоченных структур, как направление легкого намагничивания, коэрцитивность, частоты магнитной прецессии и др. Так как МКА обусловлена спин-орбитальным взаимодействием и непосредственно связана с симметрией и параметрами решетки, то создание статических и динамических механических напряжений в магнитном образце позволяет изменять МКА посредством обратной магнитострикции и управлять таким образом его магнитными свойствами. Продемонстрированная недавно возможность модулировать МКА и возбуждать прецессию намагниченности за счет пикосекундных импульсов деформации, инжектированных в магнитную пленку [1], стимулировала интерес к сверхбыстрым магнитострикционным эффек-

там [2-5].

Мы представляем детальное экспериментальное исследование двух альтернативных подходов [6,7] к реализации управления МКА основанного на пикосекундной обратной магнитострикции в тонкой магнитной пленке магнитострикционного сплава $\text{Fe}_{81}\text{Ga}_{19}$, выращенной на *низкосимметричной* подложке (311)-GaAs. Выбор такого объекта обусловлен тем, что в низкосимметричных магнитных пленках динамическая деформация имеет наряду с продольной сдвиговую составляющую [8], что существенно влияет на динамические изменения МКА и расширяет возможности [6] по управлению магнитным состоянием таких структур по сравнению с традиционно используемыми высокосимметричными.

Мы демонстрируем, что, с одной стороны, сверхбыстрое изменение МКА может быть индуцировано импульсами деформации, инжектированными в пленку (пикосекундное акустическое возбуждение) [7]. С другой стороны, мы впервые показываем экспериментально, что динамическая деформация, возникающая в самой магнитной пленке под воздействием фемтосекундного лазерного импульса (прямое оптическое возбуждение) и характеризуемая сложным временным профилем, также может эффективно модулировать МКА [6]. В обоих случаях динамическое изменение МКА позволяет индуцировать прецессию намагниченности. Важно отметить, что при оптическом возбуждении сверхбыстрое изменение МКА является результатом не только индуцированной деформации, но и нагрева решетки. Мы впервые показываем, что именно в низкосимметричных магнитных пленках эти два вклада в пикосекундное изменение МКА могут быть разделены. Интересно, что прецессия намагниченности, возникающая за счет этих двух вкладов, характеризуется разными параметрами, т.е. оптически-индуцированная динамическая деформация создает дополнительную степень свободы для управления состоянием магнитных структур на пикосекундных временах.

Работа, выполненная в ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН, поддержана РФФ (грант 16-12-10485).

[1] A.V. Scherbakov, et al., Phys. Rev. Lett. **105**, 117204 (2010).

[2] J.-W. Kim, et al., Phys. Rev. Lett. **109**, 166601 (2012).

[3] D. Afanasiev, et al., Phys. Rev. Lett. **112**, 147403 (2014).

[4] J.V. Jäger, et al., Phys. Rev. B **92**, 020404(R) (2015).

[5] J. Janušonis, et al., Sci. Rep. **6**, 29143 (2016).

[6] V.N. Kats, et al., Phys. Rev. B **93**, 214422 (2016).

[7] T.L. Linnik, et al., submitted; arXiv:1611.06599.

[8] T.L. Linnik, et al., Phys. Rev. B **84**, 214432 (2011).

№21

Магнон-фононное взаимодействие в ферромгнитных нанорешётках

А.С. Саласюк¹, А.В. Рудковская¹, П.А. Неклюдова², А.А. Елистратов², С.В. Соколов²,

А.П. Данилов³, Б.А. Главин⁴, А.В. Акимов⁵, А.W. Rushforth⁵, Д.Р. Яковлев^{1,3}, М. Bayer^{1,3},
А.В. Щербаков¹.

¹ ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург

² Институт нанотехнологий микроэлектроники РАН, Москва

³ Experimentelle Physik IIa, Technische Universität Dortmund, Дортмунд, Германия

⁴ Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарьова НАН Украины, Киев,
Украина

⁵ School of Physics and Astronomy, University of Nottingham, Ноттингем,
Великобритания

В работе, исследующей взаимодействие когерентных монохроматических фононов и магнонов в

планарных ферромагнитных нанорешётках, показана возможность фононной накачки прецессии намагниченности, которая в условиях резонанса совпадения частот фононной и магнитной мод демонстрирует высокие спектральную амплитуду и добротность.

Исследованные структуры наноструктурированные плёнки галфенола (ферромагнитного сплава железа и галлия) толщиной 100 нм, в которых в микронной области вытравлены параллельные канавки шириной 40 нм с периодом следования 150 нм, формирующие одномерную планарную решетку. Фемтосекундный лазерный импульс возбуждает в такой нанорешетке упругую волну с широким набором колебательных (фононных) мод в области частот от 10 до 100 ГГц. Одна или несколько мод остаются локализованными в области нанорешетки, а их спектральный состав и добротность определяются структурными параметрами: ориентацией и глубиной формирующих нанорешетку канавок. Динамическая деформация наравне с оптически индуцированными термическими изменениями магнитной анизотропии приводят к возбуждению прецессии намагниченности, которая в эксперименте фиксируется с временным и микронным пространственным разрешением методом накачка-зондирование.

Показано, что амплитуда, спектральный состав и время жизни прецессии намагниченности существенно зависят от ориентации нанорешетки и внешнего магнитного поля относительно кристаллографических осей ферромагнитной пленки. При их определенной взаимной ориентации - решетка вдоль [100], магнитное поле вдоль [110]) - фононный вклад в возбуждение прецессии становится доминирующим. В этом случае характер прецессии намагниченности определяется локализованной долгоживущей фононной модой: прецессия затухает дольше 3 нс, ее спектр характеризуется узкой спектральной линией на частоте фононной моды, максимальная спектральная амплитуда достигается при ее перекрытии с контролируемым внешним магнитным полем спектральным положением ферромагнитного резонанса. В исследуемых структурах это условие выполнялось в области полей ~ 100 мТл с частотой прецессии ≈ 15 ГГц. Изменив направление внешнего магнитного поля относительно структуры можно добиться, напротив, выключения механизма фононной накачки. Тогда спектральный состав прецессии намагниченности и его зависимость от величины внешнего магнитного поля определяются исключительно магнитными свойствами нанорешетки, например, эффектом квантования магнитных мод.

Таким образом, в исследованных ферромагнитных нанорешетках, изменяя направление и/или величину внешнего магнитного поля, становится возможным в очень широких пределах контролировать спектральный состав, амплитуду, затухание прецессии намагниченности. Исследованные структуры могут стать технологической основой для сверхкомпактных генераторов переменных магнитных полей микроволновой области частот.

№22

Латеральный фото-магнито-вольтаический эффект в Fe/SiO₂/p-Si структуре
Н.В. Волков, М.В. Рауцкий, А.С. Тарасов, А.В. Лукьяненко, С.Н. Варнаков, С.Г. Овчинников
*Институт физики им. Л.В. Киренского, Федеральный исследовательский центр
"Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук", Красноярск*

Продemonстрирован сильный рост чувствительности латерального фотовольтаического эффекта (LPE) к магнитному полю в Fe/SiO₂/p-Si структуре при понижении температуры. Для $T > 30$ К основным механизмом влияния магнитного поля является действие силы Лоренца на неравновесные носители заряда. Когда $T < 30$ К, величина и знак LPE определяются конкуренцией дрейфового, и диффузионного потоков носителей заряда. Основным механизмом влияния магнитного поля здесь сдвиг в поле акцепторных состояний в p-Si по отношению к уровню Ферми. Этот сдвиг, в конечном счете, при одновременном действии оптического излучения уменьшает величину электрического поля барьера Шоттки, увеличивая вклад в LPE от диффузии

электронов в объем полупроводника. Полученные результаты проливают свет на возможные механизмы влияния магнитного поля и показывают пути увеличения как самой величины ЛРЕ, так и чувствительности эффекта к магнитному полю. Результаты могут быть концептуально полезны для разработки сенсоров, чувствительных одновременно к оптическому излучению и магнитному полю.

№23

Магнитокалорический эффект в в системе магнитных пленок с различными температурами Кюри

С.Н. Вдовичев¹, Е.В. Скороходов¹, А.А. Фраерман¹, J. Chang²

¹*ИФМ РАН*

²*KIST*

№24

Поляризационно-зависимые и поляризационно-независимые эффекты при импульсном фотонамагничивании

М.В. Герасимов¹, М.В. Логунов², С.А. Никитов², Ю.Н. Ноздрин³, А.В. Спири¹, И.Д. Токман³

¹*Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва*

²*Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН*

³*Институт физики микроструктур РАН*

Экспериментально исследованы процессы импульсного фотонамагничивания монокристаллического ферромагнетика (феррита-граната) и ферромагнетика с доменной структурой. Предложен и продемонстрирован способ выделения в сигнале фотонамагничивания двух вкладов: зависящего от направления циркулярной поляризации лазерного импульса и не зависящего от ее направления. Показано, что импульсы фотонамагничивания, отражающие поляризационно-зависимый и поляризационно-независимый вклады, отличаются по форме, и более чем на два порядка по длительности. Форма импульсов для обоих вкладов не изменяется при изменении магнитного поля. Имеет место только зависимость амплитуды импульсов фотонамагничивания от магнитного поля: для поляризационно-зависимого вклада она является четной функцией, а для поляризационно-независимого вклада нечетной функцией магнитного поля. Выявлена и описана взаимосвязь между поляризационно-зависимым и поляризационно-независимым эффектами, с одной стороны, и движением доменных границ, изменением намагниченности насыщения ферромагнетика, с другой стороны. Показано, что поляризационно-зависимый эффект при фотонамагничивании под действием лазерного импульса с циркулярной поляризацией определяется движением доменных границ [1]. Отметим, что ранее в экспериментах по фотонамагничиванию не было зарегистрировано движение доменных границ под действием одиночного лазерного импульса, наблюдалось только изменение структуры неподвижной доменной границы [2].

[1]. M.V. Gerasimov, M.V. Logunov, A.V. Spirin et al., Phys. Rev. B 94, 014434 (2016).

[2]. B. Pfau, S. Schaffert, L. Mller et al., Nature Comm. 3, 1100 (2012).

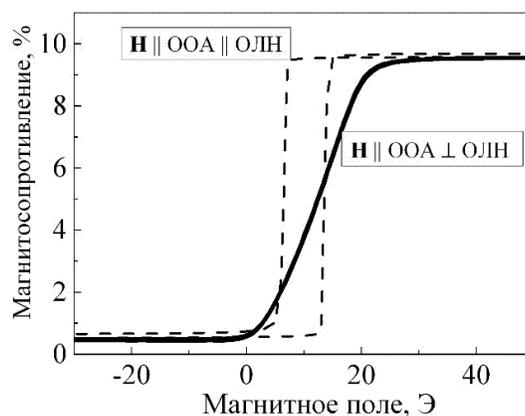
Спиновые клапаны с синтетическим антиферромагнетиком: изменение однонаправленной анизотропии и управление функциональными параметрами

В.В. Устинов, М.А. Миляев, Л.И. Наумова, В.В. Проглядо, Т.А. Чернышова, И.Ю. Каменский, Т.П. Криницина

Институт физики металлов УрО РАН, 620137, Екатеринбург, Россия

Методом магнетронного напыления синтезированы спиновые клапаны

Ta/NiFe/CoFe/Cu/CoFe/Ru/CoFe/FeMn/Ta. Исследованы закономерности появления одно- и двухфазного спин-флоп состояния в синтетическом антиферромагнетике CoFe/Ru/CoFe. Разработаны способы изменения анизотропии спинового клапана путем термомагнитной обработки в спин-флоп состоянии. Достигнуты значения функциональных параметров спинового клапана (температурной стабильности магнитосопротивления, гистерезиса и магниторезистивной чувствительности) не уступающие мировому уровню.



Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема “Спин”, номер госрегистрации 01201463330), при финансовой поддержке программы УрО РАН (проект №15-9-2-22), Министерства образования и науки РФ (грант №14.Z50.31.0025), РФФИ (проект №16-02-00061).

Полный список публикаций по представленной работе:

1. Миляев М.А., Наумова Л.И., Проглядо В.В., Чернышова Т.А., Благодатков Д.В., Каменский И.Ю., Устинов В.В. Температурная стабильность спиновых клапанов на основе синтетического антиферромагнетика и сплава $Fe_{50}Mn_{50}$. ФММ, 2015, т. 116, с. 1129-1136.
2. Наумова Л.И., Миляев М.А., Чернышова Т.А., Проглядо В.В., Банникова Н.С., Криницина Т.П., Устинов В.В. Безгистерезисные спиновые клапаны с синтетическим антиферромагнетиком и управляемой магниторезистивной чувствительностью. Естественные и технические науки, 2015, т. 10, с. 92-96.
3. Наумова Л.И., Миляев М.А., Чернышова Т.А., Проглядо В.В., Банникова Н.С., Криницина Т.П. Формирование спин-флоп фазы в спиновых клапанах с синтетическим антиферромагнетиком. Наноинженерия, 2015, т. 12, с. 15-19.
4. Миляев М.А., Наумова Л.И., Чернышова Т.А., Проглядо В.В., Кулеш Н.А., Патраков Е.И., Каменский И.Ю., Устинов В.В. Спин-флоп состояния в синтетическом антиферромагнетике и изменения однонаправленной анизотропии в спиновых клапанах на основе FeMn. ФММ, 2016, т. 117, с. 1227-1233.

5. Milyaev M., Naumova L., Chernyshova T., Proglyado V., Kamensky I., and Ustinov V. Spin-flop in synthetic antiferromagnet and anhysteretic magnetic reversal in FeMn-based spin valves. IEEE Transactions on Magnetics, 2016 Issue: 99, с. 1 - 5.

№26

Исследование магнитоупругих свойств ферромагнитных микрочастиц методами магнитополяриметрии, МСМ и ФМР

А.А. Бухараев, Д.А. Бизяев, С.А. Зиганшина, Ю.Е. Кандрашкин, Н.И. Нургазизов, Т.Ф. Ханипов, А.П. Чукланов

Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского КазНЦ РАН

Использование магнитоупругого эффекта для создания запоминающих ячеек и логических элементов микро- и наноэлектроники с минимальным энергопотреблением связано с появлением нового научного направления - стрейнтроники (от английского “strain” деформация) [1, 2].

В наших исследованиях магнитоупругих явлений применялось три дополняющих друг друга метода: магнитополяриметрия (МОКЕ на основе магнитооптического эффекта Керра), МСМ - магнитно-силовая микроскопия, ФМР ферромагнитный резонанс. МОКЕ - для измерения петель гистерезиса и азимутальной зависимости коэрцитивной силы. С помощью МСМ in situ исследовалась трансформация доменной структуры в механически напряженных микрочастицах в присутствии дополнительного внешнего поля. На основе угловой зависимости положения резонансной линии ФМР определялись наведенное эффективное поле магнитоупругой анизотропии и намагниченность насыщения. Эти данные затем использовались для моделирования МСМ изображений с помощью программы ООММФ и сравнения их с экспериментальными МСМ изображениями.

Исследовались микрочастицы пермаллоя с латеральными размерами 25×25 кв.мкм и 7×7 кв.мкм и толщинами от 15 до 30 нм, сформированные путем напыления металла на подложки в сверхвысоком вакууме через маску в виде сетки. При таком способе микрочастицы равномерно покрывали площадь образца не менее 10 кв.мм, что позволило успешно проводить не только МСМ, но и ФМР и МОКЕ измерения. В качестве подложек использовались тонкие покровные стекла и пластины кристаллического кремния.

Механические напряжения в микрочастицах на стекле и кремнии создавались путем напыления частиц на предварительно упруго изогнутые подложки по методике, описанной в наших недавних публикациях [3, 4].

Особое внимание было уделено формированию и повороту однородной намагниченности в микро- и наночастицах при одновременном воздействии наведенных упругих деформаций и внешнего магнитного поля. Продемонстрировано, что при сжатии микрочастиц происходит существенное снижение порога формирования в них однородной намагниченности под воздействием внешнего магнитного поля. Актуальность результатов этих исследований обусловлена возможностью их использования при создании устройств типа «спиновый клапан».

[1] M. Barangi and P. Mazamder / IEEE Nanotechnology Magazine. (2015), V. 9, P.15.

[2] А.П.Пятаков / Бюллетень Российского магнитного общества (МАГО), (2016). Т. 17, №1. С.2.

[3] Бизяев Д.А., Бухараев А.А. и др. / Магнитоупругий эффект в микрочастицах пермаллоя // ПЖТФ, 2016, Т. 42, С. 24-32.

[4] Chuklanov P., Nurgazizov N. I., et al., / Investigation of strain-induced magnetization change in ferromagnetic microparticles // Journal of Physics: C., 2016, V.714, P.012006.

Особенности магнитных свойств трехслойных пленок CoNi/Si/FeNi

Г.С. Патрин^{1,2}, Г.Ю. Юркин¹, В.И. Юшков^{1,2}, А.В. Кобяков^{1,2}, К.Г. Патрин^{1,2}, В.А. Комаров², В.П. Фурдык²

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

²Сибирский федеральный университет, проспект Свободный, 79, Красноярск, Россия.

Методом ионно-плазменного распыления впервые синтезированы пленки композиции CoNi/Si/FeNi (базовый вакуум составлял $10^{-7} - 10^{-8}$ Тор.). Содержания никеля в слое CoNi составляло 19.5, а в слое FeNi было 83 ат. $t_h = 53$ nm, а толщина магнитомягкого слоя (FeNi) $t_s = 72$ nm для всех пленок. Толщина немагнитного полупроводникового слоя была переменной и менялась в диапазоне $t_{Si} = 0 - 15$ nm. Измерения намагниченности проводились на установке MPMS-XL и на магнитооптической установке NanoMOKE-2 в диапазоне температур от гелиевых до комнатной. Электронно-микроскопические исследования (режим cross-section) показали наличие резкой границы раздела между слоем кремния и обоими магнитными слоями. Также было получено, что пленка CoNi была поликристаллической и находилась в гексагональной фазе. Анизотропия в плоскости пленки индуцировалась при охлаждении в магнитном поле во процессе напыления.

Магнитные измерения показали, что в данной системе отношение коэрцитивных сил отдельных магнито жесткого (CoNi) и магнитомягкого (FeNi) слоев составляет более двух порядков. Ситуация заметно меняется, когда из этих слоев складывается сэндвич. В этом случае имеем, что кривая намагничивания имеет вид наложения двух петель. Однако, это не алгебраическая сумма исходных кривых. Внутренняя петля уширена по сравнению с исходной магнитомягкой кривой, а внешняя кривая заметно сужена. Введение немагнитной полупроводниковой прослойки кремния делает ситуацию еще более необычной. В зависимости от толщины немагнитной прослойки форма кривой намагничивания заметно меняется. По крайней мере, отчетливо видно, что коэрцитивная сила зависит от толщины кремния осциллирующим образом. Обращает на себя внимание и то, что высота высококополевой ступеньки зависит от толщины кремниевой прослойки. Обнаружено, что на температурной зависимости коэрцитивной силы в низкотемпературной её части ($T \sim 5$ K) наблюдается наличие максимума, однако, чтобы объяснить эти данные одной только конкуренции анизотропий в разных слоях явно недостаточно. Это дает основание считать, что межслоевой обмен зависит от толщины немагнитного слоя, и он существенно влияет на формирование магнитного состояния.

Исследования магнитных свойств наногранулярных частиц \square -Fe₂O₃ в сильных импульсных магнитных полях

Д.А. Балаев, И.С. Поперечный, А.А. Красиков, К.А. Шайхутдинов, А.А. Дубровский, С.И. Попков, А.Д. Балаев, С.С. Якушкин, Г.А. Бухтиярова, О.Н. Мартьянов, Ю.Л. Райхер.

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

²Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

³Институт механики сплошных сред Уральского отделения РАН, г. Пермь

⁴Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь

⁵Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, г. Новосибирск

⁶Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

Исследована динамика намагниченности наночастиц \square -Fe₂O₃ со средним размером 9 нм. Из сравнения петель гистерезиса, полученных в квазистатических и импульсных магнитных полях

с амплитудами до 200 кЭ и длительностями 8-32 мс следует, что эффективная коэрцитивная сила значительно увеличивается при увеличении скорости изменения магнитного поля. В качестве теоретического объяснения такого поведения применяется модель, учитывающая суперпарамагнитные эффекты, а также тот факт, что магнитная анизотропия наночастиц наряду с объемным вкладом, включает поверхностный вклад, который является существенным, когда размер частиц становится меньше 10 нм. Из экспериментальных данных установлено значение поверхностной анизотропии нанодисперсных \square -Fe₂O₃.

№29

Исследования структурных, оптических и магнитных свойств эпитаксиальных плёнок Fe_{1-x}Si_{x}/Si(111)

И.А. Тарасов

Институт физики СО РАН, Красноярск

№30

Теория спин-термических эффектов в гибридных структурах металл (полупроводник)/магнитный диэлектрик

И.И. Ляпилин, М.С. Окорокков, Н.Г. Бебенин, В.В. Устинов

Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург

Методом неравновесной статистической физики исследован спиновый транспорт (спиновый эффект Зеебека) поперек интерфейса в структурах: металл/ферромагнитный изолятор. Рассмотрено приближение эффективных параметров, когда каждая из взаимодействующих подсистем (электронная спиновая, магнонная, фононная) характеризуется своей эффективной температурой. Построены макроскопические уравнения, описывающие распространение спин-волнового тока в диэлектрике, обусловленный как отклонением спиновой подсистемы от равновесия, так и наличием неоднородного температурного поля в ферромагнитном диэлектрике, учитывающие как диффузионный характер распространения магнонов, так и процессы связанные с их релаксацией, ответственные за спиновый пампинг и торк эффект.

Предложен и рассмотрен резонансный метод возбуждения электронной спиновой подсистемы полем (переменным электрическим полем или полем звуковой волны) на возбуждение спин-волнового тока в структурах металл (полупроводник)/магнитный диэлектрик. Показано, что резонансное возбуждение электронной спиновой подсистемы приводит к созданию неравновесной магнонной аккумуляции на границе интерфейса, ответственной за генерацию спин-волнового тока в магнитном диэлектрике. Развита последовательная микроскопическая теория спинового транспорта поперек интерфейса в условиях резонансного возмущения электронной спиновой подсистемы и термического возмущения магнитной подсистемы. Найдены явные выражения для кинетических коэффициентов в виде корреляционных функций, определяющих как диффузионные, так и релаксационные процессы. Показано, что резонансное возбуждение спиновой подсистемы электронов проводимости приводит к резонансной генерации спин-волнового тока в непроводящем ферромагнетике находящегося в неоднородном температурном поле.

Работа выполнена по теме “Спин” 0120463330; при поддержке гранта Министерства образования Российской Федерации (Грант 16-02-00044, Грант 14.Z50.31.0025), и проекта (15-17-2-17).

Публикации:

1. I. I. Lyapilin, M. S. Okorokov, V. V. Ustinov, Physical Review B. 91, 195309 (2015). Spin effects induced by thermal perturbation in a normal metal/magnetic insulator system

2. I. I. Lyapilin, M.S. Okorokov, N. G. Bebenin, Appl. Magn. Reson. 47. 1179-1191 (2016). Resonant excitation of the spin-wave current in hybrid structures
3. И. И. Ляпилин, М.С. Окорокров, ФТП 50, 1537-1542 (2016). Динамическая генерация спин-волнового тока в гибридных структурах.
4. I. I. Lyapilin, M.S. Okorokov, N.G. Bebenin, JMMM (in press 2017). Dynamical excitation of the spin-wave current in metal/magnetic dielectric structure
5. I. I. Lyapilin, M.S. Okorokov, V.V. Ustinov, J. Low Temper. (in press 2017). Dynamic spin-current generation in hybrid structures by sound wave.

№31

Связь магнетизма, сверхпроводимости и спин-резонансного пика в соединениях железа

М.М. Коршунов

Институт физики СО РАН, Красноярск

№32

Магнитокалорический эффект и магнитная память формы в новых функциональных магнитных материалах в сильных магнитных полях

Э.Т. Дильмиева^{1,2}, А.П. Каманцев^{1,2}, В.В. Коледов^{1,2}, Е.П.Красноперов³, А.В.Маширов^{1,2}, В.Г.Шавров¹, Ю.С. Кошкидько², А.С. Лось², В.И.Нижанковский², К. Рогацкий², Я. Цвик², И.С.Терешина⁴

¹*ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва.*

²*Международная лаборатория сильных магнитных полей и низких температур, г. Вроцлав, Польша.*

³*МРНЦ Курчатовский Институт, г. Москва*

⁴*МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва*

Начиная с 1999 года в Лаборатории сильных магнитных полей и низких температур, г. Вроцлав совместно с Лабораторией магнитных явлений в микроэлектронике ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН проводились исследования по изучению новых магнитных функциональных материалов в сильных магнитных полях до 140 кЭ. В этих работах впервые были изучены:

- магнитоуправляемый термоупругий мартенситный фазовый переход и магнитный эффект памяти формы (МЭПФ) в сплавах Гейслера Ni-Mn-Ga;

- двухсторонний МЭПФ в композитных рекордных по миниатюрности микроактюаторах Ni-Mn-Ga/Pt.

- прямой и обратный магнитокалорический эффект (МКЭ) в адиабатических и квазиизотермических условиях в ряде веществ и сплавов: Gd, Ni-Mn-Ga, Ni-Mn-In, Fe-Rh, Mn-As и пр.

За последние 5 лет были разработаны новые методы и получены следующие основные научные результаты:

1) Разработана новая методика прямого измерения МКЭ одновременно в адиабатических ΔT_{ad} и квази-изотермических ΔQ_{is} условиях в сильных магнитных полях. Методика отработана на перспективных материалах для магнитного охлаждения.

2) Разработана методика расчета работы магнитного поля δA и коэффициента эффективности процесса термодинамического цикла, на основе прямого одновременного измерения намагниченности и изменения температуры магнетиков в сильном магнитном поле в термодинамических циклах, моделирующих реальные .

3) Разработана новая методика прямого измерения МКЭ в импульсных магнитных полях при помощи нового волоконно-оптического датчика температуры с высоким разрешением по времени (менее 1 мс).

Обсуждаются перспективы развития этих работ и проблемы на этом пути.