XIV научно-практический семинар «Актуальные проблемы физики конденсированных сред»

Выездная сессия Научного Совета РАН по физике конденсированных сред (ФКС-2026)

Научные чтения, посвященные 70-летию Института физики СО РАН и памяти Леонида Васильевича Киренского

Тезисы

Институт физики им. Л. В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН



5−9 апреля 2026 года, г. Красноярск

ПРОГРАММА

Время	5 апреля	6 апреля	7 апреля	8 апреля	9 апреля
10:00		Кведер В. В.	Эдельман И. С.		
10:30		Шабанов В. Ф.	Коршунов М. М.		
11:00		Муртазаев А. К.	Балаев Д. А.		
11:30		Левченко А. А.	Тимофеев И. В.		
12:00		Левченко О. И.	Рогозин Д. Ю.		
12:30		Страумал Б. Б.	Казак Н. В.		
13:00		**Обед**	**Обед**		
14:00	**День**				**День**
14:30		Овчинников С. Г.	Яковлев И. А.	**Экскурсия**	
15:00	**заезда**	Егорычев В. Ю.	Мицкан В. А.		**отъезда**
15:30		Вальков В. В.	Тарасов А. С.		
16:00			Столяр С. В.		
16:30		**Экскурсия по ИФ СО РАН**	**Возложение цветов**		
17:00					
17:30					
18:30		**Ужин**	**Торжественный ужин**		

XIV НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ СЕМИНАР «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД»

ВЫЕЗДНАЯ СЕССИЯ НАУЧНОГО СОВЕТА РАН ПО ФИЗИКЕ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ (ФКС-2026)

НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ, ПОСВЯЩЕННЫЕ 70-ЛЕТИЮ ИНСТИТУТА ФИЗИКИ СО РАН И ПАМЯТИ ЛЕОНИДА ВАСИЛЬЕВИЧА КИРЕНСКОГО

5–9 апреля 2026 г.

Институт физики им. Л. В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН

г. Красноярск

Программный комитет

Председатель Научного совета РАН по физике конденсированных сред
акад. РАН В. В. Кведер, ИФТТ РАН
Заместитель председателя
чл.-корр. РАН А. А. Левченко, ИФТТ РАН
Ученый секретарь
д.ф.-м.н. Б. Б. Страумал, ИФТТ РАН

Организационный комитет

Председатель
чл.-корр. РАН М. М. Коршунов, ИФ СО РАН
Заместитель председателя
к.ф.-м.н. Е. А. Ковалева, ФИЦ КНЦ СО РАН
Члены оргкомитета:
Е. В. Бондарева, ФИЦ КНЦ СО РАН
Д. А. Иванов, ФИЦ КНЦ СО РАН
Е. А. Ларионов, ФИЦ КНЦ СО РАН
В. В. Соколов, ИФ СО РАН
М. В. Тихомирова, ФИЦ КНЦ СО РАН
Д. С. Цикалов, ИФ СО РАН

Веб-сайт: http://kirensky.ru/ru/info/konferencii/konferencii-2026/cond_matt_ph_2026

СОДЕРЖАНИЕ

Выявление поверхностных и размерных эффектов в свойствах магнитных наночастиц при исследовании процессов намагничивания и перемагничивания в сильных импульсных магнитных полях.
Балаев Д. А., Красиков А. А. 5

Термополевые аномалии намагниченности и флуктуации в топологическом антиферромагнитном изоляторе $MnBi_2Te_4$.
Вальков В. В., Злотников А. О., Гамов А., Федорова Н. А., Томилин Ф. Н. 6

Трехмерный случай в теории гидрофобного эффекта: вариация температуры, пути переноса между фазами и термодинамической функции.
Евстигнеев М. П., Дегтяр А. Д., Гаджи А. В., Лантушенко А. О. 7

Об основных направлениях развития фундаментальных исследований в области физики элементарных частиц в РФ.
Егорычев В. Ю. 8

Людвигитоподобные оксибораты: особенности кристаллической структуры и магнитные свойства.
Казак Н. В., Гохфельд Ю. С., Жандун В. С., Овчинников С. Г. 9

Научный совет РАН по физике конденсированного состояния. Вводное слово.
Кведер В. В. 10

Квантовая макрофизика: необычная сверхпроводимость и оптические свойства антенного комплекса пурпурных бактерий.
Коршунов М. М., Шестаков В. А., Ковалева Е. А., Бегунович Л. В. 11

Волны и вихри на поверхности классической и квантовой жидкости.
Левченко А. А. 12

Особенности работы информационно-библиотечного центра ИФТТ РАН имени Ю.А. Осипьяна с изданиями из личных коллекций ученых.
Левченко О. И. 13

Сверхпроводимость Кона-Латтинжера в фермионных системах с отталкиванием
Каган М. Ю., Мицкан В. А., Коровушкин М. М. 14

Современные проблемы физики фазовых переходов.
Муртазаев А. К., Рамазанов М. К. 15

Роль ближних магнитных корреляций в формировании электронных свойств ВТСП купратов.
Овчинников С. Г., Кузьмин Е. В., Николаев С. В 16

Донные отложения озер Хакасии и Эвенкии как источник информации о климатических изменениях и природных событиях.
Рогозин Д. Ю. 17

Нагрев магнитных порошков в режиме ферромагнитного резонанса.
Столяр С. В. 18

Фазовые превращения в титановых сплавах при кручении под высоким давлением.
Страумал Б. Б., Горнакова А. С., Мазилкин А. А., Давдян Г. С., Дуонг Л. В. 19

Эпитаксиальные пленки Mn_5Ge_3 на Si(111): магнитная анизотропия, фазовый переход и транспортные свойства.
Тарасов А. С., Комогорцев С. В., Рауцкий М. В., Лукьяненко А. В., Яковлев И. А., Андрющенко Т. А., Соловьев Л. А., Сухачев А. Л., Варнаков С. Н., Овчинников С. Г. 20

Фотонные кристаллы и топологические фазы.
Тимофеев И. В. 21

Эпитаксиальные наноструктуры на основе железа, марганца и хрома: синтез в сверхвысоком вакууме и магнитные свойства.
Лященко С. А., Яковлев И. А., Тарасов А. С., Варнаков С. Н., Максимова О. А., Андрющенко Т. А., Шевцов Д. В., Томилин Ф. Н., Высотин М. А., Овчинников С. Г. 22

ВЫЯВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ И РАЗМЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ В СВОЙСТВАХ МАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССОВ НАМАГНИЧИВАНИЯ И ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ В СИЛЬНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Балаев Д. А.*[a], *Красиков А. А.

Институт физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия,
[a]dabalaev@iph.krasn.ru

Известно, что магнитные свойства наночастиц магнитоупорядоченных веществ могут кардинально отличаться от свойств их «объёмных» аналогов, благодаря влиянию поверхностных и размерных эффектов. Поэтому для систем магнитных наночастиц критически важным является изучение их магнитных свойств и определение их «внутренней» магнитной структуры, а также выявление поверхностных и размерных эффектов, которые приводят к «новым» (отличающимся от «объёмных» аналогов) свойствам. Стандартно используемые установки по исследованию магнитных свойств имеют ряд ограничений по величине и/или скорости изменения внешнего поля, и в ряде случаев получаемой на стандартных установках информации оказывается недостаточно для установления магнитной структуры частиц и определения роли поверхностных и размерных эффектов. Примером являются наночастицы антиферромагнитных (АФМ) материалов, для которых интерпретация кривых намагничивания M(H) в стандартно используемом диапазоне поля до 60–90 kOe может приводить к некорректным выводам. В докладе дан краткий обзор исследований систем АФМ наночастиц (оксида никеля NiO и ферригидрита $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$) [1,2], в которых, помимо стандартных измерений намагниченности, проведены измерения и интерпретация кривых намагничивания в сильных (до 250 kOe) импульсных магнитных полях. Аргументируется, что для корректной интерпретации магнитных свойств систем АФМ наночастиц важен учёт высокополевого (более 100 kOe) участка зависимостей M(H). Анализируются закономерности формирования дополнительных магнитных подсистем в АФМ наночастицах из-за влияния размерных эффектов. Также, приводятся результаты исследований динамического магнитного гистерезиса с помощью методики сильных импульсных полей систем наночастиц ε-Fe_2O_3 и $CoFe_2O_4$ [3]. Указанные материалы обладают большой коэрцитивной силой и высокими полями необратимого поведения намагниченности (десятки килоЭрстед). Поэтому в стандартно используемых установках типа «петлескопа» регистрируемая петля магнитного гистерезиса является только частной петлёй, и информация, извлекаемая из таких исследований, является некорректной для анализа влияния частоты перемагничивающего поля на коэрцитивную силу. Показано, что анализ зависимостей коэрцитивной силы от скорости перемагничивания dH/dt (величина dH/dt пропорциональна эффективной частоте перемагничивающего поля) позволяет непротиворечиво выявить такой поверхностный эффект, как возрастание магнитной анизотропии наночастиц из-за вклада поверхностной магнитной анизотропии и получить оценки констант поверхностной магнитной анизотропии.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Красиков А. А., Балаев Д. А. // Письма в ЖЭТФ. – 2023. – Т. 163. С. 115.
[2] Krasikov A. A., et al. // Journal of Magnetism and Magnetic Material. – 2024. – V. 592. P. 171781.
[3] Balaev D. A., et al. // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2021. – V. 54. P. 275003.

ТЕРМОПОЛЕВЫЕ АНОМАЛИИ НАМАГНИЧЕННОСТИ И ФЛУКТУАЦИИ В ТОПОЛОГИЧЕСКОМ АНТИФЕРРОМАГНИТНОМ ИЗОЛЯТОРЕ $MnBi_2Te_4$

Вальков В. В. [a], ***Злотников А. О., Гамов А., Федорова Н. А., Томилин Ф. Н.***

Институт физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия,
[a]vvv@iph.krasn.ru

Изучение магнитных свойств ван-дер-ваальсового топологического изолятора $MnBi_2Te_4$ показало, что при температурах, меньших 24.5K, в материале реализуется антиферромагнитное упорядочение А-типа. При этом спины ионов марганца, находящихся в одном слое упорядочены ферромагнитно, тогда как спины в соседних плоскостях ориентированы в противоположных направлениях. Благодаря одноионной анизотропии (ОА) типа «легкая ось» магнитные моменты направлены перпендикулярно слоям ионов марганца.

При экспериментальных исследованиях было обнаружено аномальное поведение намагниченности $MnBi_2Te_4$ до, и после спин-флоп перехода [1], не укладывающееся в рамки феноменологического описания. Это определило постановку задачи по отысканию механизма указанных аномалий.

В работе на основе атомного представления и диаграммной техники для операторов Хаббарда развита квантовая теория сильно анизотропного антиферромагнетика с S=5/2 на треугольной решетке. Показано, что отмеченные выше аномалии в поведении намагниченности обусловлены квантовыми эффектами, индуцируемыми тригональной компонентой ОА [2]. При учете этих эффектов построена фазовая диаграмма, определяющая области реализации допустимых конфигураций магнитной структуры [3].

Другое направление исследований связано с природой ОА в $MnBi_2Te_4$. Дело в том, что основное состояние иона марганца в данном материале соответствует орбитальному синглету, для которого в главном приближении нет спин-орбитального взаимодействия, и, поэтому, параметр ОА должен равняться нулю.

Для решения задачи о возникновении ОА в $MnBi_2Te_4$ учтены зарядовые флуктуации, индуцирующие примешивание возбужденных состояний ионов марганца и теллура. При расчетах принималась во внимание кристаллическая структура трехслоек Te-Mn-Te, входящих в слоевые последовательности семислоек Te-Bi-Te-Mn-Te-Bi-Te ван-дер-ваальсового изолятора $MnBi_2Te_4$.

При использовании мультиплетного представления для фермиевских операторов показано, что совместное влияние спин-орбитального взаимодействия и зарядовых флуктуаций обеспечивает снятие шестикратного вырождения орбитального синглета ^6S иона Mn и приводит к ОА типа "легкая ось", экспериментально наблюдаемой в $MnBi_2Te_4$ [4].

ЛИТЕРАТУРА

[1] Zhang H., Xu C. Q., Lee S. H., Mao Z. Q., and Ke X. // Physical Review B. – 2022. – V. 105, P. 184411.
[2] Вальков В. В., Злотников А. О., Гамов А., Федорова Н. А., Томилин Ф. Н. // Письма в ЖЭТФ. – 2024. – Т. 120. – № 7. – С. 521-529.
[3] Вальков В. В., Злотников А. О., Гамов А. // ТМФ. – 2025. – Т. 225. – № 3. – С. 647-667.
[4] Вальков В. В., Злотников А. О., Гамов А. // ЖЭТФ. – 2025. – Т. 167. – № 6. – С. 846-856.

ТРЕХМЕРНЫЙ СЛУЧАЙ В ТЕОРИИ ГИДРОФОБНОГО ЭФФЕКТА: ВАРИАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ, ПУТИ ПЕРЕНОСА МЕЖДУ ФАЗАМИ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ

Евстигнеев М. П. [a]***, Дегтяр А. Д., Гаджи А. В., Лантушенко А. О.***

Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия,
[a]max_evstigneev@mail.ru

Ранее была описана новая теория гидрофобного эффекта – теория коррелированных состояний (CST) [1], – предлагающая альтернативный существующему взгляд на физическую природу процесса гидрофобного растворения неполярных молекул в водной среде. В основе этой теории лежит представление о формировании коррелированных трансляционных и ориентационных движений «растворенное вещество – молекула воды» (sw-пара), динамически образуемых/разрушаемых в процессе теплового движения. Равновесие таких sw-пар при ограничении рассмотрения только первой гидратной оболочкой позволяет получить аналитические выражения для основных термодинамических функций - ΔX=(ΔG,ΔH,ΔS,ΔC_P), - доступных в эксперименте, и характеризующих процесс гидрофобного растворения (реализуемый как перенос из газовой фазы в воду, $g \longrightarrow w$). Однако, если гипотеза о роли sw-пар состоятельна, то и другие частные случаи переноса должны описываться в рамках CST-теории, а именно, перенос из газовой в собственную жидкую фазу $g \longrightarrow \ell$ (эквивалент конденсации), и перенос из собственной жидкой фазы в воду $\ell \longrightarrow w$, при этом должно соблюдаться эмпирическое правило равновесного термодинамического цикла

$$\Delta X^{\ell \to w} = \Delta X^{g \to w} - \Delta X^{g \to \ell} \quad (1)$$

В настоящей работе [2] концепция sw-пар базовой CST-теории [1] была обобщена на случай произвольного переноса между тремя фазами неполярного соединения (S) – g (газовая фаза S), ℓ (жидкая фаза S), w (водная среда). Впервые в рамках единой теории получены аналитические выражения для всех термодинамических функций из набора ΔX, для любой заданной температуры и для трех базовых типов переноса вещества S между различными фазами: $g \longrightarrow w$, $g \longrightarrow \ell$ и $\ell \longrightarrow w$ (трехмерный случай теории гидрофобного эффекта). Справедливость предложенного подхода, а также соответствие циклу (1), было доказано на примере «реконструкции» экспериментальных данных по гидрофобному растворению циклогексана и бензина в трех указанных фазах в широком температурном интервале. Впервые дано доказательство хорошо известных эмпирических взаимосвязей изменения изобарической теплоемкости, изоэнтальпийных и изоэнтропийных температур $\Delta C_{P(g \to \ell)} < \Delta C_{P(g \to w)}$, $T_H^{\ell \to w} < T_H^{g \to w}$, $T_S^{\ell \to w} < T_S^{g \to w}$ для различных путей переноса, а также получены уравнения для расчета этих температур.

Обнаруженное в настоящей работе подобие механизма гидрофобного растворения в различных фазах дает основание для ре-анализа существующих представлений о процессах растворения неполярных молекул в неполярных жидкостях и денатурации белков.

Работа выполнена при поддержке РНФ №25-22-00085.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Evstigneev M. P., Degtyar A. D., Lantushenko A. O. // The Journal of Physical Chemistry B. – 2025. – V. 129. P. 5245-5267.

[2] Evstigneev M. P., Lantushenko A. O. // The Journal of Physical Chemistry B. – 2026. – V. 130. P. 1950-1959.

ОБ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ В РФ

Егорычев В. Ю.

Национально-исследовательский центр "Курчатовский институт", Москва, Россия, Victor.Egorychev@cern.ch

В связи с политизированным решением Совета Европейской организации по ядерным исследованиям (ЦЕРН) о прекращении с конца 2024 года многолетнего и плодотворного сотрудничества с Российской Федерацией в сфере науки и технологий, возникла реальная угроза потери компетенций по физике высокой энергии в РФ в виду отсутствия инструментария для проведения исследований мирового уровня в этой области науки. Создание Программы фундаментальных исследований в области физики элементарных частиц является важным шагом для консолидации исследовательских усилий институтов и университетов России, а также Республики Беларусь и стран СНГ в соответствии с соглашениями о совместных работах на исследовательских установках класса мега-сайенс под эгидой РАН и НИЦ «Курчатовский институт». Исследования, выполняемые в такой программе, заложат основы дальнейшего развития ФЭЧ на несколько десятков лет вперед в России.

ЛЮДВИГИТОПОДОБНЫЕ ОКСИБОРАТЫ: ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА

Казак Н. В.*[a], *Гохфельд Ю. С., Жандун В. С., Овчинников С. Г.

Институт физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия,
[a]nat@iph.krasn.ru

Соединения со общей формулой $Me_2^{2+}Me^{3+}(BO_3)O_2$ (Me^{2+}, Me^{3+} = 3*d*-ионы) принадлежат к обширному семейству оксиборатов со структурой людвигита. Их физические свойства стали перспективной и быстро развивающейся областью исследований. Варьируя катионный состав и распределение по неэквивалентным позициям, можно получать широкий спектр магнитных состояний: коллинеарные и неколлинеарные спиновые структуры, двумерное магнитное состояние, спиновые цепочки, спиновое стекло.

Катионный каркас представлен двумя типами октаэдрических комплексов, образующих спиновые лестницы, которые в зависимости от состава могут упорядочиваться магнитно при разных температурах и в разных кристаллографических направлениях ($Fe_{3-x}Mn_x(BO_3)O_2$) [1]. Сильная связь кристаллической, электронной и магнитной подсистем проявляется в коллективных эффектах - зарядовом упорядочении ($Fe_3(BO_3)O_2$) [2], структурных фазовых переходах, магнитоэлектрических эффектах, спиновых трансформациях ($Co_3(BO_3)O_2$) [3]. В оксиборатах на основе Co^{2+} основное магнитное состояние, поддерживаемое магнитокристаллической анизотропией, соответствует сложной неколлинеарной магнитной структуре и достигается посредством двух магнитных фазовых переходов ($Co_2Co_{1-x}Fe_x(BO_3)O_2$) [4]. При высоких температурах, соединения данного ряда демонстрируют аномалии теплового расширения и анизотропию теплового расширения, связанную с особенностями жесткого анионного каркаса (бор-кислородные треугольники $(BO_3)^{3-}$) [5].

Значительный прогресс в исследовании этих магнетиков достигнут благодаря синтезу высококачественных монокристаллов. Разработанная и усовершенствованная технология выращивания монокристаллов из раствора-расплава на основе тримолибдата висмута позволяет расширять катионный состав соединений и контролировать валентные состояния 3*d*-ионов. В последние годы экспериментально обнаружено большое количество новых магнитных оксиборатов. В докладе будут рассмотрены основные результаты изучения людвигитоподобных оксиборатов с акцентом на современное понимание корреляций между кристаллической структурой, распределением катионов и магнитными свойствами.

Исследование поддержано Российским фондом науки и Красноярским краевым фондом науки, грант № 24-12-20012, https://rscf.ru/project/24-12-20012/.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Damay F., Sottmann J., Lainé F., et al. // Physical Review B. – 2020. – № 101. P. 094418.
[2] Mir M., Guimarães R. B., Fernandes J. C., et al. // Physical Review Letters. – 2001. – № 87. P. 147201.
[3] Kazak N. V., Platunov M. S., Knyazev Yu. V., et al. // Physical Review B. – 2021. – № 103. P. 094445.
[4] Gokhfeld Yu. S., Kazak N. V., Zhandun V. S., et al. // Journal of Materials Chemistry C. – 2025. – № 13. P. 24036.
[5] Biryukov Y. P., Bubnova R. S., Shablinskii A. P., et al. // Acta Crystallographica Section B. – 2025. – № 81. P. 457.

НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН ПО ФИЗИКЕ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ. ВВОДНОЕ СЛОВО

Кведер В. В.

Институт физики твердого тела им. Ю.А. Осипьяна РАН, Черноголовка, Россия,
kveder@issp.ac.ru

Научный совет АН СССР по комплексной проблеме «Физика твёрдого тела» был создан Постановлением Президиума АН СССР № 817 от 08.09.1961г. Первый председатель – академик Г. В. Курдюмов

В настоящее время в состав Совета входят 10 Секций:

−«Теория твердого тела»; председатель М. Ю. Каган; чл.-корр. РАН, ИФП им. П. Л. Капицы РАН, г.н.с., проф.

− «Образование и структура кристаллов»; председатель — О. А. Алексеева д.ф.-м.н., Отделение «Институт кристаллографии им. А. В. Шубникова» Курчатовского комплекса кристаллографии и фотоники НИЦ «Курчатовский институт»; руководитель, проф.

− «Физика высоких давлений»; председатель — В. В. Бражкин; акад. РАН, ИФВД им. В. Ф. Верещагина РАН, директор, проф.

− «Магнетизм»; председатель — А. И. Смирнов; акад. РАН, ИФП им. П. Л. Капицы РАН, г.н.с., проф.

− «Физика сегнетоэлектриков и диэлектриков»; председатель — А.С. Сигов; акад. РАН, президент РТУ МИРЭА

− «Физика поверхности»; председатель — К. Н. Ельцов; д.ф.-м.н.; ИОФ им. А. М. Прохорова РАН, зав. отделом, проф.

− «Неразрушающие физические методы контроля»; председатель — Я. Г. Смородинский; д.т.н.; ИФМ им. М.Н. Михеева УрО РАН, зав. отделом, проф.

− «Исследование конденсированных сред ядерно-физическими методами»; председатель — В. В. Квардаков; чл.-корр. РАН; Научно-технического комплекса «Курчатовский центр синхротронного излучения и нанотехнологий» РНЦ «Курчатовский институт» исполнительный директор

− «Физика прочности и пластичности материалов, нанотехнологии и наноматериалы»; председатель — Р. Р. Мулюков; акад. РАН, ИПСМ РАН, научный руководитель, проф.

− «Компьютерное материаловедение и вычислительная физика»; председатель — С. В. Стрельцов; чл.-корр. РАН; ИФМ им. М. Н. Михеева УрО РАН, г.н.с., зав. лаб.

КВАНТОВАЯ МАКРОФИЗИКА: НЕОБЫЧНАЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АНТЕННОГО КОМПЛЕКСА ПУРПУРНЫХ БАКТЕРИЙ

Коршунов М. М.[1, a], ***Шестаков В. А.***[1], ***Ковалева Е. А.***[2], ***Бегунович Л. В.***[2]

[1]*Институт физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия,*
[2]*ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия,*
[a]mkor@iph.krasn.ru

Цель исследований направления Квантовая макрофизика – описание квантовых систем и проявления квантовых свойств на макроскопических масштабах. Круг вопросов широк и включает изучение таких явлений, как высокотемпературная и необычная сверхпроводимость, фотосинтез в бактериях и растениях.

Многозонные сверхпроводники, такие, как пниктиды и халькогениды железа, демонстрируют спектр явлений, обусловленных наличием нескольких зон и взаимодействиями между ними [1]. Сюда относится необычное сверхпроводящее состояние типа $s_{\pm}$, возникающее благодаря спин-флуктуационному механизму спаривания. Если к многозонности добавить ещё одну «степень свободы» – беспорядок, то появляется возможность изменять структуру сверхпроводящей щели от знакопеременной типа $s_{\pm}$ к знакопостоянной типа s_{++} меняя концентрацию или потенциал примеси [2]. Нами рассмотрено поведение большого термодинамического потенциала и его производных – энтропии и теплоёмкости – в двухзонной модели необычного $s_{\pm}$ сверхпроводника с немагнитными примесями. Показано, что переход $s_{\pm} \rightarrow s_{++}$ проходит плавно и является кроссовером при высоких температурах, а при низких температурах становится фазовым переходом первого рода. Температура смены характера поведения максимальна в борновском пределе и стремится к нулю при отдалении от него, указывая на возможность квантового фазового перехода [3].

Процесс фотосинтеза включает в себя временные промежутки от пикосекунд до секунд и для малых промежутков времени необходимо привлекать описание в рамках квантовой теории [4]. В несульфатных пурпурных бактериях Rhodoblastus Acidophilus поглощение света идёт в светособирающем комплексе LH2, где молекулы бактериохлорофилла a объединены в две подсистемы, B800 и B850. Нами проведено моделирование подсистемы B800 квантовохимическими методами и определена минимальная модель аминокислотного окружения [5]. При помощи нестационарных расчетов на основе теории функционала плотности исследованы оптические свойства подсистемы B800. Полученные спектры поглощения качественно согласуются с экспериментальными данными [6, 7].

ЛИТЕРАТУРА

[1] Садовский М. В. // УФН. – 2008. – Т. 178. – С. 1243.
[2] Коршунов М. М., Тогушова Ю. Н., Долгов О. В. // УФН. – 2016. – Т. 186. – С. 1315.
[3] Шестаков В. А., Коршунов М. М. // Письма в ЖЭТФ. – 2026. – Т. 123. С. 211.
[4] Mirkovic T. et al. // Chem. Rev. – 2017. – V. 117. – P. 249.
[5] Begunovich L. V., Kovaleva E. A., Korshunov M. M., Shabanov V. F. // Journal of Photochemistry & Photobiology A: Chemistry. – 2024. – V. 450. – P. 115454.
[6] Kovaleva E. A., Begunovich L. V., Korshunov M. M. // Journal of Photochemistry & Photobiology A: Chemistry. – 2025. – V. 468. – P. 116489.
[7] Ковалева Е. А., Бегунович Л. В., Коршунов М. М. // Фотоника. – 2025. – Т. 19. – С. 304.

ВОЛНЫ И ВИХРИ НА ПОВЕРХНОСТИ КЛАССИЧЕСКОЙ И КВАНТОВОЙ ЖИДКОСТИ

Левченко А. А.

Институт физики твердого тела им. Ю.А. Осипьяна РАН, Черноголовка, Россия,
levch@issp.ac.ru

В докладе представлены результаты экспериментальных исследований взаимодействия поверхностных нелинейных волн, приводящего к формированию вихревого течения на поверхности и в объеме воды и сверхтекучего гелия

Нелинейные волны, распространяющиеся на поверхности жидкости, формируют вихревое движение, которое проникает в объем жидкости. Для формирования вихревой структуры необходимым условием является наличие стоячих волн в системе, распространяющихся под углом. При умеренном уровне возбуждения взаимно перпендикулярных волн на поверхности жидкости формируется решетка вихрей с периодом, равным длине волны. При высоких уровнях накачки можно наблюдать формирование каскада энергии в пространстве волновых векторов. Энергия распространяется, как в сторону больших, так и малых волновых векторов. Предполагается, что за формирование прямого каскада отвечает нелинейное взаимодействие вихрей. За перенос энергии в сторону малых волновых векторов отвечает нелинейная волновая система. В силу нелинейного взаимодействия в волновой системе возникают низкочастотные гармоники, распространяющиеся под малым углом друг к другу. Взаимодействуя друг с другом, эти волны формируют вихри большого масштаба.

Таким образом, в наших экспериментах на поверхности жидкости формируются две нелинейные системы: волновая и вихревая. Эти системы являются сильно нелинейными, поэтому в них происходит взаимодействие различных мод, приводящих к перетеканию энергии с одного масштаба на другой, развиваются высоковозбужденные турбулентные состояния. Энергия в вихревую систему поступает из волновой системы.

Первоначально эксперименты по генерации вихрей волнами проводились на воде. Однако в природе, помимо классических жидкостей, есть еще квантовые жидкости, в которых вихревое движение квантовано. К таким жидкостям относится гелий-4 при температурах ниже 2,17 К. В области температур около 2,17 К вихревые движения как в нормальной, так и в сверхтекучей фазах сосуществуют в объеме жидкого гелия-4. При температурах около 1,3 К преобладает движение сверхтекучей компоненты.

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ИНФОРМАЦИОННО-БИБЛИОТЕЧНОГО ЦЕНТРА ИФТТ РАН ИМЕНИ Ю. А. ОСИПЬЯНА С ИЗДАНИЯМИ ИЗ ЛИЧНЫХ КОЛЛЕКЦИЙ УЧЕНЫХ

Левченко О. И.

Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук, Черноголовка, Россия,
olevch@issp.ac.ru

В докладе представлен опыт работы информационно-библиотечного центра (ИБЦ) ИФТТ РАН с печатными изданиями, полученными в дар из личных библиотек известных ученых. Отмечается, что научный авторитет ученых, сформировавших ведущие научные школы, является основанием для изучения их научного наследия и подходов к составлению их профессиональных коллекций. Среди книг академика Ю. А. Осипьяна и академика В. Б Тимофеева обнаружены экземпляры с признаками уникальности: автографами, инскриптами, владельческими надписями.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Ведущие научные школы России. Выпуск 1. – Издательство: Янус-К, 1998. – 624 с.
[2] Российская академия наук. Президиум. Постановление об увековечении памяти академика Ю. А. Осипьяна № 5 от 19.01.2010. Режим доступа: https://www.ras.ru/presidium/documents/directions.aspx?ID=72ab1680-12ae-401d-8ae2-aee2c37abade. – Дата обращения 3.12.2025
[3] Лихачева, Н. П. Отечественные издания XIX-XX вв.: книжные памятники или редкие книги / Н. П. Лихачева // Труды ГПНТБ СО РАН. – 2023. – № 1(17). – С. 13-20.
[4] Рябова, В. И. Основные направления работы с редкой книгой в Библиотеке по естественным наукам Российской академии наук / В. И. Рябова // Библиотека и культурное пространство региона : материалы III Всероссийской научно-практической конференции, Пермь, 10–11 ноября 2022 года. – Пермь: Пермский государственный институт культуры, 2023. – С. 216-223.
[5] Любов Б. Я., Осипьян Ю. А. // Доклады Академии СССР. – 1955. – Т. 101, № 5. – С. 853-856.

СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ КОНА-ЛАТТИНЖЕРА В ФЕРМИОННЫХ СИСТЕМАХ С ОТТАЛКИВАНИЕМ

***Каган М. Ю.*[1, 2, a], *Мицкан В. А.*[3, b], *Коровушкин М. М.*[3]**

[1]Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия,
[2]Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН, Москва, Россия,
[3]Институт физики им. Л.В. Киренского, Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН», Красноярск, Россия,
[a]kagan@kapitza.ras.ru, [b]mitskan@iph.krasn.ru

На основе результатов работ авторов [1,2] в системах с квадратной и гексагональной решетками продемонстрирована возможность развития сверхпроводимости в рамках механизма Кона–Латтинжера [3], предполагающего возникновение сверхпроводящего спаривания в системах с чисто отталкивательным взаимодействием. На квадратной решётке в модели Шубина-Вонсовского в борновском приближении слабой связи при учете межузельного кулоновского взаимодействия электронов из первой и второй координационных сфер вычислена фазовая диаграмма сверхпроводящего состояния Кона–Латтинжера. Анализ диаграммы показал, что для эффективного взаимодействия в куперовском канале существенную роль играют не только внутриатомные, но и межатомные кулоновские взаимодействия. Продемонстрировано, что учет межузельных кулоновских взаимодействий и дальних электронных перескоков качественно модифицирует условия реализации сверхпроводящих фаз с различными типами симметрии параметра порядка и может приводить к повышению сверхпроводящей критической температуры.

Рассмотрено влияние кулоновских взаимодействий в системе дираковских фермионов на формирование сверхпроводящего спаривания Кона–Латтинжера в идеализированном монослое и AB-бислое допированного графена без учета эффектов ван-дер-ваальсовского потенциала подложки и немагнитных примесей. Фазовые диаграммы сверхпроводящего состояния, вычисленные при учете внутриатомного, межатомного, а также межслойного (в случае бислоя графена) кулоновских взаимодействий электронов, продемонстрировали, что учёт поляризационных вкладов второго порядка теории возмущений по кулоновскому взаимодействию и учет межузельных кулоновских взаимодействий качественно влияют на результат конкуренции между сверхпроводящими фазами с *f*- и киральными $p+ip$- и $d+id$-симметриями параметра порядка, и приводят к повышению критической температуры. Также продемонстрирована возможность реализации механизма сверхпроводимости Кона-Латтинжера в условиях его конкуренции с другими типами упорядочения в реальных AB-, AA- и подкрученном бислоях графена.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Каган М. Ю., Мицкан В. А., Коровушкин М. М. // Успехи физических наук. – 2015. – Т. 185. – № 8. С. 785-815.
[2] Каган М. Ю., Коровушкин М. М., Мицкан В. А., Кугель К. И., Рахманов А. Л., Рожков А. В., Сбойчаков А. О. // Письма в ЖЭТФ. – 2025. – Т. 121. – № 9-10. С. 749-759.
[3] Kohn W., Luttinger J. M. // Physical Review Letters. – 1965. – V. 15. P. 524.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

Муртазаев А. К.[a]***, Рамазанов М. К.***[b]

Институт физики ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия,
Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия,
[a]akai2005@mail.ru, [b]sheikh77@mail.ru

В последние годы достигнут значительный прогресс в понимании проблемы фазовых переходов (ФП) и критических явлений (КЯ). Тем не менее количественное описание ФП и КЯ в различных решеточных спиновых системах до сих пор остается одной из центральных задач современной теории конденсированного состояния. Современная теория ФП и КЯ в основном базируется на идеях, заложенных в гипотезе скейлинга, универсальности, ε-разложения и в теории ренормализационной группы [1]. На их основе было получено большинство важнейших результатов современной теории ФП и КЯ. Идеи, лежащие в основе всех этих предположений, значительно обогатили наше понимание природы критических явлений. Тем не менее строгой и последовательной микроскопической теории фазовых переходов второго рода и критических явлений на сегодняшний день не существует. Несмотря на значительные успехи, создание последовательной теории фазовых переходов второго рода до сих пор остается одной из актуальных проблем физики конденсированного состояния [2,3].

В последние годы центр тяжести теоретических исследований переместился к изучению более реалистичных моделей с учетом многочисленных факторов, присущих реальным кристаллам и не учитываемых в рамках моделей первого приближения. К таким факторам относятся: анизотропия, примеси, диполь-дипольные взаимодействия, колебания решетки, фрустрации. Особый интерес представляют исследования фрустрированных спиновых систем и систем с немагнитными примесями. При описании критических явлений в таких системах наиболее часто используются модели первого приближения: классическая модель Изинга, Гейзенберга, XY-модель, модель Поттса и т.д.

Проведенные исследования позволили установить, что системы с фрустрациями и примесями обладают необычными магнитными свойствами, имеют богатое разнообразие фаз и ФП, обусловленное сильным вырождением и высокой чувствительностью этих систем к различного рода возмущающим факторам [4].

Все это обусловливает возрастающий интерес к системам с богатыми и разнообразными физическими свойствами. На сегодняшний день не удалось получить ответ на ряд вопросов фундаментального характера. Среди них можно отметить проблемы, связанные с характером фазовых переходов, с особенностями и факторами, влияющими на формирование классов универсальности магнитного и кирального критического поведения фрустрированных и примесных систем. Решение этих вопросов требует тщательного исследования фазовых переходов и критических свойств фрустрированных систем с вычислением их критических индексов.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Паташинский А. З., Покровский В. А. Флуктуационная теория фазовых переходов. М.: Наука, 1982. 380 с.
[2] Фишер М. Физика критического состояния / пер. с англ. М. Ш. Гитермана. М.: Мир, 1968. 221 с.
[3] Камилов И. К., Муртазаев А. К., Алиев Х. К. // УФН. – 1999. – Т. 169. – № 7. – С. 773–795.
[4] Муртазаев А. К., Рамазанов М. К. // Физика твердого тела. – 2023. – Т. 65. – № 9. – С. 1455–1475.

РОЛЬ БЛИЖНИХ МАГНИТНЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ В ФОРМИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СВОЙСТВ ВТСП КУПРАТОВ

***Овчинников С. Г.*[1, a], Кузьмин Е. В.[1], Николаев С. В[2, b]**

[1] *Институт физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СОРАН, Красноярск, Россия,*
[2]*Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия,*
[a]sgo@iph.krasn.ru, [b]25sergeyn@mail.ru

Для выяснения природы псевдощелевого состояния в купратах мы рассчитали электронную структуру модели Хаббарда в рамках кластерной теории возмущений. Квадратная решетка разбивается на периодические кластеры 4x4 В результате точной диагонализации внутри кластера строятся операторы Хаббарда в базисе внутрикластерных многочастичных состояний, и взаимодействия между кластерами учитываются по теории возмущений в приближении Хаббард 1. Внутри такого кластера учитываются ближние корреляции до 9-х соседей.

Такой подход позволил описать концентрационную и температурную эволюцию электронных свойств с формированием двух типов псевдощелевых состояний, сильной и слабой псевдощели. При низких температурах и малом допировании на уровне Ферми имеется диэлектрическая щелью. В недопированных антиферромагнитных купратах выше температуры Нееля T_N формируется псевдощелевое состояние, которое плавно переходит в ферми-жидкостное нормальное состояние при $T>2T_N$.. С ростом концентрации дырок x характерные температуры формирования состояний слабой псевдощели T* (x) и сильной псевдощели T** (x) сближаются и стремятся к нулю при переходе в состояние нормальной Ферми-жидкости при x>0.24. Также рассчитываются и двухчастичные спектры зарядовых и спиновых флуктуаций, зависящие от температуры и допирования.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Kuz'min V. I., Visotin M. A., Nikolaev S. V., Ovchinnikov S. G. // Physical Review B. – 2020. – № 101. P. 115141.

[2] В. И. Кузьмин, С. В. Николаев, С. Г. Овчинников // Сверхпроводимость: фундаментальные и прикладные исследования. – 2025. – № 2. С. 23.

ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ОЗЕР ХАКАСИИ И ЭВЕНКИИ КАК ИСТОЧНИК ИНФОРМАЦИИ О КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЯХ И ПРИРОДНЫХ СОБЫТИЯХ

Рогозин Д. Ю.

Институт биофизики ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск,
rogozin@ibp.ru

Для прогнозов будущих климатических изменений необходима информация о колебаниях и долговременных трендах климатических характеристик в прошлом. Одним из самых информативных природных «архивов» являются озерные отложения (илы). В них в хронологической последовательности накапливаются частицы различной природы, состав которых отражает процессы в озере и его водосборном бассейне. Палеолимнология активно развивается во всем мире, однако обширная территория Средней Сибири остается практически неизученной. В Институте биофизики Ф ИЦ КНЦ СО РАН совместно с другими институтами с 2009 года ведутся исследования донных отложений соленых озер Северо-Минусинской котловины. Уровень воды в этих озерах испытывает колебания, обусловленные балансом осадков и испарения, что отражается на солености воды, вследствие чего меняется геохимический и биохимический состав донных отложений. В качестве индикаторов изменений уровня озер используются элементный состав, пигменты фотосинтезирующих бактерий, частицы биогенного магнетита, длинноцепочечные углеводороды (алкеноны). Реконструкция динамики природных пожаров осуществлена по макро-частицам древесных углей. Динамика присутствия человека в окрестностях озер выявлена по содержанию станолов – индикаторов фекальных поступлений.

С 2015 года начаты исследования озер южной части Эвенкии, интерес к которым, помимо реконструкции палеоклимата, обусловлен их расположением вблизи эпицентра так называемой Тунгусской катастрофы («Тунгусский метеорит») 1908 года (ТК 1908), причина которой до сих пор неизвестна. По предположению ряда исследователей (Gasperini et al., 2007, 2009) глубокое воронкообразное озеро Чеко возникло в результате удара осколка небесного тела в момент ТК 1908. Нами был оценен возраст донных отложений озера Чеко тремя независимыми методами и показано, что возраст данного озера значительно больше, следовательно, его происхождение не связано с ТК 1908. В окрестностях эпицентра ТК 1908 нами впервые исследованы еще два озера – Заповедное и Пеюнгда, форма дна которых оказалась аналогичной озеру Чеко, а возраст оценивается в несколько тысяч лет. Вопрос о происхождении этих водоемов остается открытым, исследования продолжаются.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Рогозин Д. Ю., Зыков В. В., Калугин И. А., Дарьин А. В., Дегерменджи А. Г. // Доклады Российской академии наук. – 2011. – Т. 439. – № 2. С. 282-285.
[2] Рогозин Д. Ю., Балаев Д. А., Семенов С. В., Шайхутдинов К. А., Баюков О. А. // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2016. – Т. 469. – № 4. С. 470-474.
[3] Rogozin D. Y., Darin A. V., Zykov V. V., Kalugin I. A., Markovich T. I., Bulkhin A. O., Kolmakova A. A. // Journal of Paleolimnology. – 2023. – V. 69. P. 359–380.
[4] Рогозин Д. Ю., Дарьин А. В., Калугин И. А., Мельгунов М. С., Мейдус А. В., Дегерменджи А. Г. // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2017. – Т. 476. – № 6. С. 685-687.
[5] Rogozin D. Y., Nazarova L. B., Rudaya N. A., Frolova L. A., Syrykh L. C., Bolobanshchikova G. N., Palagushkina O. V., Darin A. V., Meydus A. V. // Quaternary Research. – 2025. – V. 125. P. 1–19.

НАГРЕВ МАГНИТНЫХ ПОРОШКОВ В РЕЖИМЕ ФЕРРОМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

Столяр С. В.

ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия,
ИФ СО РАН, Красноярск, Россия,
stol@iph.krasn.ru

Неослабевающий интерес в течении уже нескольких десятилетий к исследованию магнитных свойств порошков обусловлен двумя обстоятельствами: разработкой новых способов их синтеза, позволяющих целенаправленно менять химический состав, размеры, форму, состояние поверхности наночастиц и широким спектром их возможного практического использования. Контрастирующие агенты для магнитной резонансной томографии, средства доставка лекарственных препаратов, медиаторы нагрева для магнитной гипертермии опухолевых клеток – вот неполный перечень областей практического использования магнитных наночастиц в биомедицине. Локальный нагрев в результате перемагничивания магнитных наночастиц в переменных магнитных полях частотой $f \lesssim 1$ МГц и амплитудой $H \lesssim 300$ Э, нарушающий гомеостаз опухолевых клеток, лежит в основе магнитной гипертермии. Выделяемая тепловая мощность магнитных наночастиц при их перемагничивании составляет $P_m \sim 100$ Вт/г. В работе [1] была предложена иная концепция магнитотермического эффекта, позволяющая на порядок повысить P_m. В основе этой концепции лежит явление ферромагнитного резонанса (ФМР) - резонансное возбуждение магнитного момента наночастицы с последующей диссипацией энергии. Помимо прикладных задач биомедицины магнитотермический эффект, реализующийся при ФМР, может быть востребованным в прикладных задачах материаловедения, палеонтологии, геологии. ФМР порошковых материалов характеризуется целым рядом особенностей по сравнению с массивными аналогами. Малый размер наночастицы в определенном диапазоне температур приводит к явлению суперпарамагнетизма. Магнитный момент суперпарамагнитной частицы находится в термофлуктуационном магнитном поле $H_f \sim k_b T/MV$ (k_b – константа Больцмана, T – температура, V–объем частицы) величина которого может быть сопоставима с величинами внешнего магнитного поля и поля магнитной анизотропии частицы то есть с полями, определяющими равновесное положение намагниченности [2]. Вследствие этого магнитный момент частицы вовлекается в интенсивный процесс вращательной диффузии. Примечательно, что в суперпарамагнитном режиме наночастица остается однодоменной, т.е. сохраняет свой внутренний магнитный порядок. Другими словами, магнитный момент подвергается ориентационным флуктуациям как единое целое. В работе экспериментально исследованы температурные, частотно-полевые зависимости ФМР и кинетические кривые нагрева $\Delta T(t)$ порошков на основе оксидов Fe на частоте $f = 8{,}9$ ГГц [3].

ЛИТЕРАТУРА

[1] Kim M.-K. et al. // Phys Rev Appl. – 2018. – № 9(5). – P. 054037.
[2] Raikher Y. L., Stepanov V. I. // JETP. – 1992. – Vol. 102. – № 4. – P. 1409.
[3] Stolyar S. V. et al. // J. Appl. Phys. – 2026. – Т. 139. – № 1. – P. 013901.

ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В ТИТАНОВЫХ СПЛАВАХ ПРИ КРУЧЕНИИ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

***Страумал Б. Б.*[1, a], *Горнакова А. С.*[1], *Мазилкин А. А.*[1], *Давдян Г. С.*[1], *Дуонг Л. В.*[2]**

[1]*Институт физики твердого тела им. Ю.А. Осипьяна РАН, Черноголовка, Россия,*
[2]*Институт материаловедения Вьетнамской академии наук и технологий, Ханой, Вьетнам,*
[a]straumal@issp.ac.ru

Интенсивная пластическая деформация (ИПД) не только приводит к сильному измельчению зерна и упрочнению материала, но также может вызывать диффузионные, а также бездиффузионные (мартенситные) фазовые превращения. Изучено влияние кручения под высоким давлением (КВД) на диффузионные и смещающие фазовые превращения в различных бинарных сплавах титана с β-стабилизаторами (Fe, Co, Ni, Mo, Nb, Ta). Перед КВД образцы подвергались отжигу и содержали (i) чистую β-фазу, (ii) смесь α+β с различным содержанием фаз, (iii) α' или α'' мартенситы, (iv) смесь α-Ti и соответствующей интерметаллидной фазы. Микроструктуру сплавов титана до и после КВД изучали методами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии (в том числе высокого разрешения), рентгеновской дифракции (в том числе высокотемпературной in situ), дифференциальной сканирующей калориметрии, атомно-зондовой томографии, синхротронного облучения.

В процессе КВД образуется α'-мартенсит, а также ω-фаза высокого давления. Фазовые переходы, вызванные КВД, могут быть мартенситными (т.е. без или почти без массопереноса) или диффузионными (т.е. с массопереносом). В случае мартенситных фазовых переходов β-в-ω или α-в-ω наблюдались определенные ориентационные соотношения между фазами β и ω или α и ω. Обсуждаются диффузионные и бездиффузионные механизмы этих превращений. Термическая стабильность ω-фазы, полученной методом КВД, исследована методом in-situ дифракции рентгеновских лучей при высоких температурах. ω-фаза в титановых сплавах, обработанных КВД с β-стабилизаторами, может сохраняться в образцах до 500–600°C. Таким образом, ее термическая устойчивость значительно выше, чем у чистого титана (~150°C). Таким образом, фазовые переходы, обусловленные КВД, открывают новый путь регулирования размера зерен и фазового состава сплавов на основе титана. В свою очередь, это дает в руки инженеров новый инструмент для улучшения технологически важных свойств титановых сплавов. Это особенно важно для медицинских применений, например, для изготовления протезов.

Авторы благодарят за финансовую поддержку Российский фонд фундаментальных исследований (проект 25-43-02004) и Вьетнамскую академию наук и технологий (проект QTRU06.07/26-28).

ЭПИТАКСИАЛЬНЫЕ ПЛЕНКИ Mn_5Ge_3 НА Si(111): МАГНИТНАЯ АНИЗОТРОПИЯ, ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД И ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА

***Тарасов А. С.*[1, a], *Комогорцев С. В.*[1], *Рауцкий М. В.*[1], *Лукьяненко А. В.*[1], *Яковлев И. А.*[1], *Андрющенко Т. А.*[1], *Соловьев Л. А.*[2], *Сухачев А. Л.*[1], *Варнаков С. Н.*[1], *Овчинников С. Г.*[1]**

[1]*Институт физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия,*
[2]*Институт химии и химической технологии ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия,*
[a]taras@iph.krasn.ru

Mn_5Ge_3 – это ферромагнитный (ФМ) металл, который сохраняет свои магнитные свойства при комнатной температуре, имеет гексагональную структуру $D8_8$ (пространственная группа $P6_3/mcm$), а ось *c* является осью легкого намагничивания. Возможность роста эпитаксиальных пленок Mn_5Ge_3 на подложках Ge [1] и, в особенности, Si, что было продемонстрировано нами в работах [2-4], обеспечивает перспективы интеграции с традиционными полупроводниковыми технологиями и может способствовать разработке гибридных устройств спиновой электроники и калоритроники, учитывая значительную спиновую поляризацию и энтропию фазового перехода. Обнаруженное недавно формирование скирмионов в монокристаллах Mn_5Ge_3 [5] придает дополнительную актуальность исследованию магнитных и транспортных свойств тонких пленок Mn_5Ge_3.

Выполнены систематические исследования магнитных свойств эпитаксиальных пленок Mn_5Ge_3(001)/Si(111). Вследствие конкуренции между магнитокристаллической анизотропией типа «легкой оси», ориентированной вдоль направления *c* ортогонального поверхности пленки, и анизотропией формы пленки, кривые намагничивания имеют форму характерную для пленок в т.н. закритическом состоянии [6,7]. Форма кривой намагничивания здесь определяется рельефом поверхности пленки. Пленка демонстрирует магнитный фазовый переход ферромагнетик-парамагнетик при 300 K, характеризующийся критическими индексами $\beta = 0.34 \pm 0.01$, $\gamma = 1.05 \pm 0.01$, $\delta = 3.82 \pm 0.16$. Индексы имеют промежуточные значения между значениями, предсказываемыми 3D моделями Изинга и Гейзенберга, что мы связываем с анизотропными обменными взаимодействиями между ионами марганца, находящимися в неэквивалентных позициях. Магнитокалорическое изменение энтропии, сопровождающее магнитный фазовый переход, составляет 3.2 ± 0.21 $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$, а рассчитанное изменение температуры в поле 15 kOe – 1.5 ± 0.1 K [8]. Константа магнитной анизотропии, критические показатели и магнитокалорические характеристики пленок хорошо соответствуют характеристиками объемного материала. Исследования транспортных свойств выявили квадратичную зависимость холловского сопротивления от сопротивления пленки ($\rho_{xy} \sim \rho_x^2$), что указывает на доминирование внутреннего механизма аномального эффекта Холла, обусловленного электронной структурой Mn_5Ge_3, которая, согласно расчётам, имеет топологические особенности [5].

ЛИТЕРАТУРА

[1] Petit M., et al. // Applied Surface Science. – 2019. – V. 480. P. 529–536.
[2] Yakovlev I. A., et al. // Nanomaterials. – 2022. – V. 12. P. 4365.
[3] Tarasov A. S., et al. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2023. – V. 87(1). P. S127.
[4] Яковлев И. А., и др. // Физика твердого тела. – 2025. – V. 67(1). P. 44-49.
[5] Li H., et al. // Nano Letters. – 2025. – V. 25, № 7. P. 2903–2910.
[6] Tarasov A. S., et al. // The Journal of Materials Science. – 2024. – V. 59. P. 9423–9436.
[7] Rautskii M. V., et al. // Physics of Metals and Metallography. – 2024. – V. 125(12). P. 1327.
[8] Tarasov A. S., et al. // The Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2025. – V. 630. P. 173467.

ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ И ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ФАЗЫ

Тимофеев И. В.

Институт физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, Россия,
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия,
tiv@iph.krasn.ru

Фотонными кристаллами называют структуры с периодическим изменением диэлектрических свойств на масштабе длины волны света [1]. Понятийный аппарат для описания и классификации таких структур пришел в оптику из физики конденсированного состояния вместе с такими концепциями как таммовские состояния [2] и связанные состояния в континууме [3]. Топологическая устойчивость поверхностной волны в фотонном кристалле или массиве оптических резонаторов следует из принципа объемно-краевого соответствия [4]. Фотонные аналоги топологических изоляторов, фотонные интегральные схемы, метаповерхности, дифракционные и фотонные решетки благодаря разнообразию оптических материалов, таких как мягкая материя [5], позволяют экспериментально продемонстрировать искусственные калибровочные поля [6] в неабелевой и неэрмитовой физике, трансформационной оптике и топологической фотонике, связанной с нобелевскими премиями по физике 1985, 1998 (за открытие целочисленного и дробного квантового эффекта Холла), а также 2016 года «за теоретические открытия топологических фазовых переходов и топологических фаз материи» [7-8].

В докладе будет представлен обзор теоретических и экспериментальных результатов по топологической фотонике. Будет показано, как дисперсионные поверхности и сфера Пуанкаре, представляющие собой пространства состояний размерности выше трех, тем не менее могут быть изображены и исследованы с привлечением гиперкомплексных чисел, принципа концентрации меры, стереографической проекции, расслоения Хопфа и топологической (геометрической) фазы, которая еще до появления топологической фотоники была введена Владимирским, Рытовым, Панчаратнамом, Берри и другими авторами [9]. Топологическая фаза позволяет повысить устойчивость в работе микролазеров, интерферометров, спектрометров, модуляторов, перестраиваемых линз и голограмм, линий связи в оптическом волокне и в свободном пространстве.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Ветров С. Я., Тимофеев И. В., Шабанов В. Ф. // УФН. – 2020. – Т. 190. – С. 37–62.
[2] Тимофеев И. В., Ветров С. Я. // Письма в ЖЭТФ. – 2016. – Т. 104. – № 6. – С. 393–397.
[3] Timofeev I. V., Maksimov D. N., Sadreev A. F. // Physical Review B. – 2018. – Т. 97. – С. 24306.
[4] Kim P. N., Fedchenko D. P., Rudakova N. V., Timofeev I. V. // Applied Sciences. – 2023. – P. 4004.
[5] Timofeev I. V., Lee W. Soft Photonic Crystals and Metamaterials. Basel: MDPI, 2023. – 138 p.
[6] Song W., Yang Y., Lin Z., Liu X., Wu S., Chen C., Ke Y., Lee C., Liu W., Zhu S., Kivshar Y., Li T., Zhang S. // Nature Reviews Physics. – 2025. – Vol. 7. – № 11. – P. 606–620.
[7] Sergeev A. S. // SciPost Physics Lecture Notes. – 2023.
[8] Воловик Г. Е., Минеев В. П. Физика и топология. М.: Знание, 1980.
[9] Клышко Д. Н. // УФН. – 1993. – Т. 163. – С. 1-18.

ЭПИТАКСИАЛЬНЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА, МАРГАНЦА И ХРОМА: СИНТЕЗ В СВЕРХВЫСОКОМ ВАКУУМЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА

Лященко С. А., Яковлев И. А., Тарасов А. С., Варнаков С. Н., Максимова О. А., Андрющенко Т. А., Шевцов Д. В., Томилин Ф. Н., Высотин М. А., Овчинников С. Г.

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

Перспективы развития спинтроники напрямую зависят от создания новых материалов с управляемыми магнитными характеристиками. Практический интерес представляют монокристаллические пленки ферромагнитных силицидов железа и германидов марганца, благодаря сочетанию высокой температуры Кюри, температурной стабильности и технологической совместимости с кремнием [1]. Представляют интерес и сложные многослойные гексагональные структуры $M_{n+1}AX_n$ (n = 1 – 3) (сокращенно MAX-фазы), где (M – переходный металл, A – элемент A-группы, а X – углерод или азот), легированные марганцем и железом, поскольку они открывают путь к дополнительным спиновым степеням свободы, помимо уже имеющейся высокой коррозионной стойкости, высокой твердости и анизотропии проводимости. Технологическая проблема заключается в получении стабильных эпитаксиальных пленок высокого кристаллического качества. Синтез MAX-фаз с такими переходными металлами, как Mn, Fe, Co, Ni затруднен. Что ставит интересную технологическую задачу замещения термодинамически стабильных элементов в M-позиции (например, Cr или Ti) на Mn или Fe [2, 3].

В серии экспериментальных работ были получены совершенные монокристаллические пленки и ультратонкие слои ферромагнитных силицидов железа и германидов марганца методом молекулярно-пучковой эпитаксии в условиях сверхвысокого вакуума (СВВ). А также, была разработана технология замещения атомов Cr на Mn в M- и атомов Ge на Si в A-позициях решетки растущих в СВВ MAX-фаз для создания термодинамически-устойчивых атомно-слоистых монокристаллических структур с ферримагнитным порядком.

Для наблюдения за формированием пленок in situ (непосредственно в СВВ камере) предложен оригинальный метод магнитомодулированной эллипсометрии (магнитоэллипсометрии). Он позволяет контролировать толщину и магнитные свойства пленки непосредственно в процессе роста. Для изучения сложных анизотропных систем (атомно-слоистые MAX-структуры, гексагональные монокристаллы германидов) развивается метод многоугловой спектральной магнитоэллипсометрии. Полученные экспериментальные магнитоэллипсометрические данные сопоставляются с результатами первопринципных квантово-механических расчетов, что позволяет определять электронную структуру новых материалов. Разработанные методики СВВ-синтеза и in situ анализа позволяют получать материалы с заданными магнитными свойствами для применения в СВЧ-устройствах, датчиках магнитного поля и элементах спинтроники.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-12-20012 (https://rscf.ru/project/25-12-20012/), гранта Красноярского краевого фонда науки.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Ando Y., et al. // Physical Review B. – 2013. – V. 88. P. 140406.
[2] Mockute A., et al. // Materials Research Letters. – 2015. – V. 3. P. 16–22.
[3] Thorsteinsson E. B., et al. // Applied Physics Letters. – 2025. – V. 127. P. 052408.

УДК 538.9
ББК 22.35

Тезисы XIV научно-практического семинара «Актуальные проблемы физики конденсированных сред», выездной сессии Научного Совета РАН по физике конденсированных сред (ФКС-2026), научных чтений, посвященных 70-летию Института физики СО РАН и памяти Леонида Васильевича Киренского (г. Красноярск, 5–9 апреля 2026 г.) – Красноярск: ИФ СО РАН, 2026. – 24 с.

Подписано в печать 02.04.2026.

Формат 60 × 85/16, усл. печ. л. 1. Тираж 25 экз. Заказ №66.
Отпечатано на Участке оперативной печати ИФ СО РАН.
660036, г. Красноярск, Академгородок, 50/38.



Академик АН СССР Л. В. Киренский
7 апреля 1909 г. – 3 ноября 1969 г.