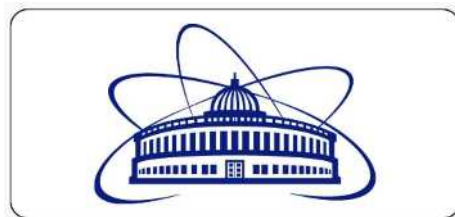




Workshop on Quantum and Low-Dimensional Magnetism

PROGRAM AND ABSTRACTS

JINR, DUBNA, MAY 19-20, 2025



ОРГКОМИТЕТ

- П.А. Максимов (ОИЯИ, Дубна)
- А.И. Смирнов (ИФП РАН, Москва)
- В.Н. Глазков (ИФП РАН, Москва)

РАСПИСАНИЕ ДОКЛАДОВ

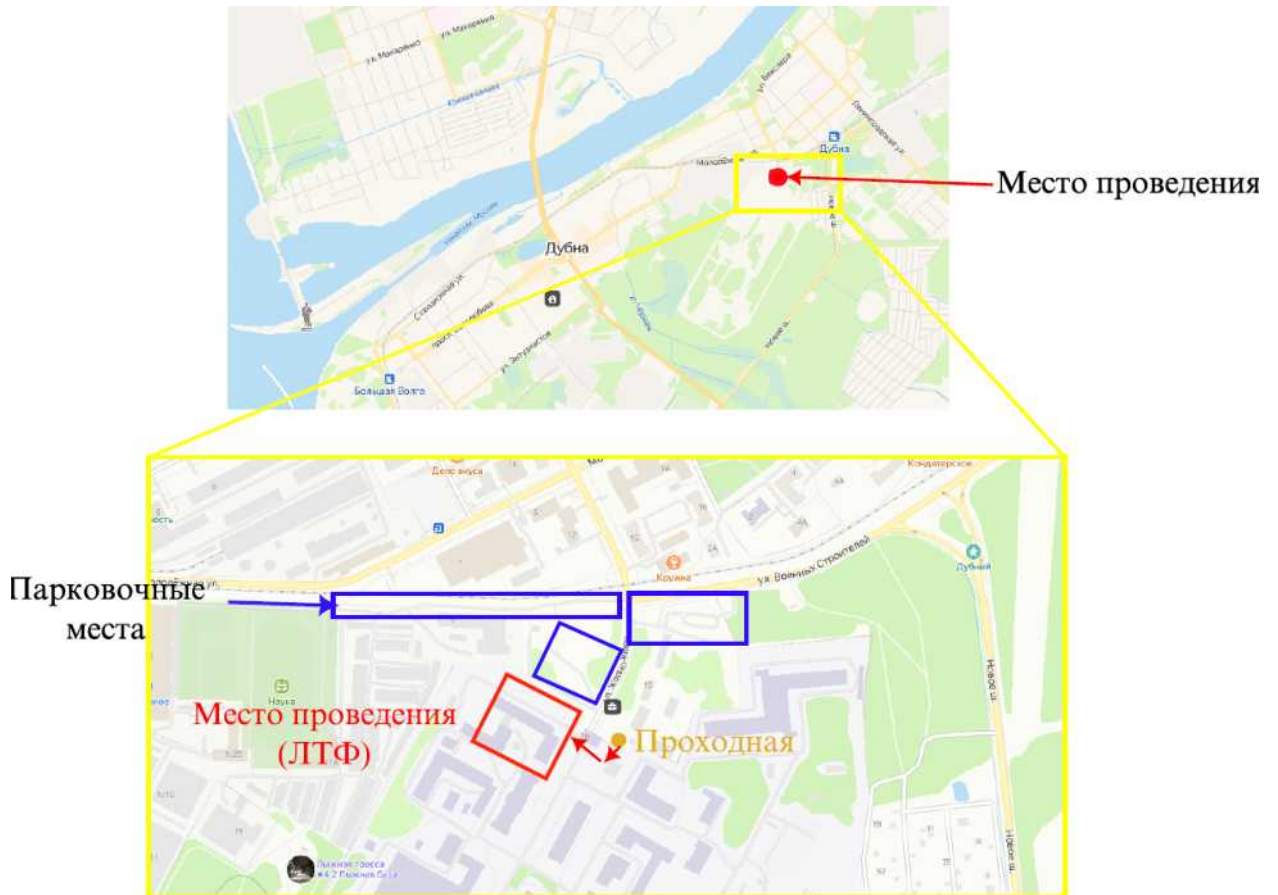
19 мая		20 мая	
		10.00	06. С.С. Сосин (ИФП) «Спиновые возбуждения в слабо упорядоченном антиферромагнетике Sr_2CuO_3 »
11.00	Открытие	11.00	кофе-брейк
11.30	01. О.С. Волкова (МГУ) «Ферромагнитные димеры в семействе соединений TX_5 ($T = \text{W, RE}$; $X = \text{Br, Cl}$)»	11.30	07. Л.Е. Свистов (ИФП) «Низкочастотная динамика LiCu_3O_3 – антиферромагнетика на квадратной решетке с сильной степенью замещения магнитных ионов немагнитными. Псевдощель в спектре магнитных возбуждений»
12.30	кофе-брейк	12.30	08. С.В. Стрельцов (ИФМ) «6Н перовскиты - новый класс альтермагнетиков»
13.00	02. А.Н. Васильев (МГУ) «Diverse magnetic chains in inorganic compounds»	13.30	обед
14.00	обед	14.30	09. П.В. Прудников (ОмГУ) «Моделирование гейзенберговских магнетиков с учётом эффектов анизотропии и взаимодействия Дзялошинского-Мория»
15.00	03. В.Н. Глазков (ИФП) «Высокочастотные свойства соединений семейства набокоилов в парамагнитной и магнитно-упорядоченных фазах»	15.30	кофе-брейк
16.00	кофе-брейк	16.00	10. П.А. Максимов «Магнитный спектр фрустрированных систем с ионами кобальта»
16.30	04. Д.П. Козленко (ОИЯИ) «Исследования низкоразмерных магнетиков на реакторе ибp-2 с помощью нейтронной дифракции при изменении термодинамических параметров»	17.00	Круглый стол. Закрытие.
17.30	05. Е.Л. Вавилова (КФТИ) «Возможности ядерного магнитного резонанса для исследования коррелированных магнетиков на примере двумерных фрустрированных спиновых систем с решетками типа пчелиных сот »		

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ

Дубна, ул. Жолио-Кюри, 20

Аудитория имени Н.Н. Боголюбова (2 этаж), Лаборатория Теоретической Физики ОИЯИ

Схема прохода:



01: ФЕРРОМАГНИТНЫЕ ДИМЕРЫ В СЕМЕЙСТВЕ СОЕДИНЕНИЙ TX_5 ($T = W, Re; X = Br, Cl$)

О.С. Волкова¹

¹Физический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва 119991, Россия
* e-mail: os.volkova@yahoo.com

Пентахлориды 4d – 5d металлов TX_5 ($T = Nb, Ta, Mo, W, Re, Os, X = Br, Cl$) содержат изолированные димеры T_2X_{10} , слабо связанные между собой Ван-дер-Ваальсовыми взаимодействиями. В пределах димера атомы переходных металлов смещены из центров октаэдров в разные стороны друг относительно друга. Каждый из представителей этого семейства обладает большим набором полиморфных модификаций. У наиболее изученного $MoCl_5$ установлено пять полиморфных модификаций, а именно: α ($C2/m$), β ($P\bar{1}$), γ ($Pnma$), δ ($P2_1/c$ с двумя кристаллографическими позициями Mo) и ε ($P2_1/c$ с одной кристаллографической позицией Mo)[1].

Для бромида вольфрама(V) ранее были известны две полиморфные модификации с пространственными группами $C2/m$ и $P\bar{1}$ [2,3]. В настоящей работе прямым бромированием металлического порошка вольфрама получена новая полиморфная модификация WBr_5 ($P\bar{1}$) с тремя кристаллографическими позициями вольфрама. В измерениях намагниченности установлено формирование ферромагнитно упорядоченного состояния ниже $T_c = 34.1$ К, что проявляется как Бриллюэновский рост приведенной намагниченности и масштабированием полевых зависимостей намагниченности по методу Белова – Аррота. Ферромагнитный фазовый переход подтверждался λ - аномалией в измерениях теплоемкости. Магнитная петля, полученная при 2 К, характеризуется моментом насыщения $0.15 \mu_B/f.u.$, остаточной намагниченностью $0.1 \mu_B/f.u.$ и коэрцитивным полем 1.5 Т. Измерения магнитной восприимчивости на переменном токе в малых магнитных полях 100 – 200 Ое выявляют двухпиковую зависимость действительной части магнитной восприимчивости ниже T_c , что может быть связано с особенностями формирования доменов в слоистых структурах ван дер Ваальсовых соединений. Мы предполагаем, что наиболее сильное ферромагнитное взаимодействие связывает магнитные моменты $W^{5+}(5d^1)$ внутри димеров. Дальний ферромагнитный порядок устанавливается за счет ферромагнитных междимерных взаимодействий.

Пентахлорид рения(V) был получен прямым хлорированием металлического порошка рения в виде модификации ($P2_1/c$ с двумя кристаллографическими позициями Re) [4]. Он демонстрирует образование антиферромагнитно упорядоченного состояния в два этапа при $T_{N1} = 35.5$ К и $T_{N2} = 13.2$ К, наблюдаемое в магнитной восприимчивости на постоянном и переменном токе и в удельной теплоемкости. При 4 К он может быть преобразован в состояние со спонтанным магнитным моментом относительно слабым магнитным полем 0.5 Т посредством метамагнитного фазового перехода. Расчеты *ab initio* дают анизотропные ферромагнитные обменные взаимодействия J_1 и J_2 внутри и между парами рения $Re^{5+}(5d^2)$, образующими зигзагообразные цепочки вдоль оси a . Пары зигзагообразных цепочек связаны ферромагнитным взаимодействием J_3 вдоль оси c в магнитные сотовые лестницы. Лестницы связаны значительно более слабым взаимодействием J_4 . Предполагается, что дальний антиферромагнитный порядок обязан слабым взаимодействиям между лестницами [5].

Литература:

- [1] McGuire M. A., Pandey T., Mu S., et al.// Chem. Mater. 2019. V.31 № 8. P. 2952.
- [2] Cotton F. A., Rice C. E. // Acta Cryst. Sect. B: Struct. Cryst. Cryst. Chem. 1978. V. 34 № 9, P. 2833.
- [3] Zheng Y. Q., Peters K., Schnering, H. V. // Z. Kristallogr. 1998. V. 213. № 1-4. P. 499.
- [4] Knox K., Coffey C.E. // J. Am. Chem. Soc. 1959. V.8. P.5
- [5] Vorobyova A.A., Boltalin A.I., Tsymbarenko D.M., et al. // Mater. Chem. Phys. 2025. V. 332. P. 130215.

02: DIVERSE MAGNETIC CHAINS IN INORGANIC COMPOUNDS

A. N. Vasiliev

Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia
e-mail: vasil@lt.phys.msu.ru

In both inorganic and metal-organic compounds, transition metals surrounded by ligands form regular or distorted polyhedra, which can be either isolated or interconnected. Distortion of the polyhedron can be caused by the degeneracy in population of atomic or molecular orbitals, which can be removed by the cooperative Jahn-Teller effect. This effect is often accompanied by the formation of low-dimensional magnetic structures, of which we will consider only chain, or quasi-one-dimensional, magnetic compounds variety. Magnetic chains are formed when transition metal polyhedra bond through a vertex, edge, or face. Moreover, the magnetic entities can be coupled through various non-magnetic units like NO_3 , SiO_4 , PnO_3 or PnO_4 , ChO_3 or ChO_4 , where Pn is the pnictide and Ch is the chalcogen. In most cases, the local environment of the transition metal is represented by the oxygen and/or halogens. The prevailing number of chain systems is based on $3d$ transition metals, albeit $4d$ and $5d$ systems attract more and more attention. Mixed $3d$ - $4f$ single chain magnets became the popular objects in metal-organic chemistry.

Exchange interactions in quasi-one-dimensional systems can differ in sign, but no long-range magnetic order, either ferromagnetic or antiferromagnetic, can be achieved at finite temperatures due to fundamental limitations formulated in the early stages of the development of quantum mechanics. These limitations are summarized in a Mermin–Wagner theorem, which states that no continuous symmetries can be spontaneously broken at finite temperature in systems with sufficiently short-range interactions in dimensions $d \leq 2$. This means that long-range fluctuations can be created at little energy cost, and they are favored since they increase the entropy. The theorem does not apply to discrete symmetries that can be seen in the two-dimensional Ising model, in which the long-range order occurs at the temperatures comparable to exchange interaction energy. The long-range magnetic order being not the intrinsic property of the chains can appear only due to the interchain interactions if not precluded by the spin gap. The very concept of the spin gap plays a key role in the field of low-dimensional magnetism. All research objects in this area can be subdivided into gapped and gapless ones. The amazing variety of manifestations of quasi-one-dimensional magnetism is due to the fact that the chains themselves can differ in a number of parameters. They can be homogeneous or alternating in terms of intrachain exchange interaction. The next-nearest-neighbor exchanges in the chains may compete with the nearest-neighbor exchanges. The chains can be organized by transition metal ions with integer or half-integer spins and they can be constituted by different spins of the same element or by spins of different magnetic species. The chains can be cut to form the magnetic clusters, e.g. dimers or trimers, and they may pair up to form the spin ladders or group up to form the spin tubes.

Understanding the behavior of low-dimensional magnetic systems is of fundamental importance in terms of the formation of quantum ground states of matter. Many new chain magnetic materials have appeared recently due to improvements in synthetic procedures. Each such compound

highlights new facets of low-dimensional magnetism, going in some cases beyond the limits of magnetism towards superconductivity, ferroelectricity and multiferroic phenomena. For a long time, the low-dimensional magnetism was considered only as a playground for the development of elaborated theoretical models. The impetus to experimental research was given by the discovery of high-temperature superconductivity in cuprates, for which two-dimensional antiferromagnetic correlations turned out to be important. It was found, that many features bring together low-dimensional magnetism and superconductivity. The concept of spin liquid itself has proven productive for the development of modern theory of superconductivity. In particular, the magnetic skyrmions have much in common with the vortices in type-II superconductors. Independent of superconductivity, the low-dimensional magnetism in insulators is of utmost interest since it allows to unravel the fine interactions responsible for the formation of the ground states of matter. The purpose of this review was to demonstrate how versatile are the manifestations of low-dimensional magnetism using the example of quasi-one-dimensional compounds.

03: ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЙ СЕМЕЙСТВА НАБОКОИТОВ В ПАРАМАГНИТНОЙ И МАГНИТНО-УПОРЯДОЧЕННЫХ ФАЗАХ

В. Н. Глазков^{1,*}, Я. В. Ребров^{1,2}, М. М. Маркина³, А. Ф. Муртазов³, П. С. Бердонос³,
А. Н. Васильев³

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

²Факультет физики, НИУ ВШЭ

³Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова

* e-mail: glazkov@kapitza.ras.ru

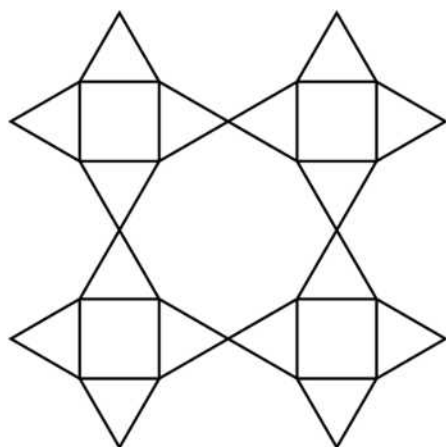


Рис. 1 Фрагмент правильной двумерной квадратной кагоме-решётки

Для идеальной квадратной кагоме-решётки (рис. 1) теория предсказывает формирование спин-жидкостного состояния с щелевым спектром возбуждений [1]. Интерес вызывает как сама возможность появления и изучения скорелированного спинового состояния, так и устойчивость этого состояния к искажениям решётки (неэквивалентности обменных связей на треугольных блоках этой структуры) и к межслойным взаимодействиям.

Соединения семейства набокоитов $\text{ACu}_7(\text{TeO}_4)(\text{SO}_4)_5\text{B}$ ($\text{A}=\text{Na}, \text{K}, \text{Cs}, \text{Rb}$; $\text{B}=\text{Cl}, \text{Br}$) являются примером формирования такой структуры в реальном кристалле: шесть ионов меди из семи формируют слои искаженной квадратной кагоме-решётки, а седьмой ион в межслоевых позициях «декорирует» эту структуру. Статические измерения показывают, что во всех соединениях семейства температура Кюри-Вейса больше 100-150 К, но при этом возникает магнитный порядок при температуре около 4 К, что является качественным проявлением сильной фрустрации спин-спиновых взаимодействий.

Мы провели исследование высокочастотных (9-150 ГГц) магнитных и диэлектрических свойств соединений этого семейства с целью установления типа магнитного упорядочения и определения доли спинов, участвующих в формировании магнитного порядка.

Получены следующие результаты:

1. В соединениях с лёгкими ($\text{A}=\text{Na}, \text{K}$) щелочными металлами наблюдается высокочастотная диэлектрическая аномалия при температурах 25-100 К [3]. Предположительно, эта аномалия связана с локализацией щелочного металла при понижении температуры в одном из симметрично-эквивалентных положений. Так как щелочные металлы в структуре набокоита располагаются между слоями квадратной кагоме-решётки, такой структурный переход может повлиять на «декорирующие» ионы меди в межслоевых позициях.
2. В парамагнитной фазе всех соединений удалось обнаружить широкую линию парамагнитного резонанса, абсолютная интегральная интенсивность которой соответствует поглощению в примерно 1/7 от ожидаемого по полному числу ионов

меди в образце. Это можно интерпретировать как наблюдение магнитного резонанса от «декорирующих» ионов меди в межслоевых позициях, что позволяет провести разделение вкладов «декорирующих» ионов и ионов меди в слоях квадратной кагоме-решётки в полную магнитную восприимчивость. Такой анализ показывает вымерзание той части восприимчивости, которая связывается со слоями квадратной решётки кагоме, при понижении температуры – что является указанием на щелевой спектр магнитных возбуждений в парамагнитном спин-жидкостном состоянии.

3. При переходе в низкотемпературное антиферромагнитно-упорядоченное состояние наблюдается преобразование сигнала парамагнитного резонанса, относимого к вкладу ионов меди в «декорирующей» позиции, в сигнал антиферромагнитного резонанса с нелинейной частотно-полевой зависимостью.
4. Антиферромагнитный резонанс в соединениях с лёгкими щелочными ионами ($A=Na, K$) содержит несколько ветвей спектра с характерной для неколлинеарных антиферромагнетиков частотно-полевой зависимостью. При этом процесс магнитного упорядочения происходит в виде двухэтапного фазового перехода. В соединениях с тяжёлыми щелочными ионами ($B=Cs, Rb$) формируется коллинеарный антиферромагнитный порядок «легкоосного» типа.

Полученные данные дают согласованную экспериментальную картину цепочки фазовых переходов в соединениях семейства набокоилов. Остаются непонятными вопрос о природе возможного частичного упорядочения в системе «декорирующих» межслоевых ионов меди и о чувствительности этого упорядочения (коллинеарный/неколлинеарный порядок) к слабой подстройке структуры в точке диэлектрического фазового перехода.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 22-12-00259-П

Литература:

- [1] J. Richter et al, Phys. Rev. B **105** (2022) 144427
- [2] M. M. Markina et al, Materials Chemistry and Physics **319** (2024) 129348; A.F.Murtazoev et al. ChemPhysChem **24** (2023) e202300111
- [3] Ya. V. Rebrov et al., JMMM **592** (2024) 171786

04: ИССЛЕДОВАНИЯ НИЗКОРАЗМЕРНЫХ МАГНЕТИКОВ НА РЕАКТОРЕ ИБР-2 С ПОМОЩЬЮ НЕЙТРОННОЙ ДИФРАКЦИИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Д.П.Козленко*

Лаборатория нейтронной физики им. И.М.Франка, Объединенный институт ядерных исследований, 141980 Дубна Московской обл., РФ

* e-mail: denk@nf.jinr.ru

В настоящее время нейтронная дифракция является одним из основных методов определения магнитной структуры кристаллических материалов. Преимуществом метода является одновременное получение информации об атомной структуре материала, что позволяет прямо определять взаимосвязь между их параметрами. Представлены основы данной методики, особенности реализации экспериментов на стационарных и импульсных источниках нейтронов. Рассмотрены возможности исследования низкоразмерных магнетиков с помощью нейтронной дифракции на установках импульсного реактора ИБР-2 (ЛНФ ОИЯИ) при изменении термодинамических параметров (температуры, давления).

Приведен обзор недавних исследований низкоразмерных магнитных материалов, в том числе ван-дер-ваальсовых магнетиков MPX_3 ($M=Mn, Fe, Cr, X = S, Se$) [1-3], $CrBr_3$ [4,5], цепочечных систем $Ca_3Co_2O_6$ [6].

Литература:

- [1] M.J.Coak, D.M.Jarvis, H.Hamidov et al. “*Evolution of magnetic order in van-der-Waals antiferromagnet $FePS_3$ through insulator-metal transition*”, Physical Review X **11**, 011024 (2021).
- [2] D.P.Kozlenko, O.N.Lis, N.T.Dang et al. “*High-Pressure Effects on Structural, Magnetic and Vibrational Properties of van der Waals Antiferromagnet $MnPS_3$* ”, Phys. Rev. Mater. **8**, 024402 (2024).
- [3] M.Baithi, N.T.Dang, T.A.Tran et al. “*Incommensurate Antiferromagnetic Order in Weakly Frustrated Two-Dimensional van der Waals Insulator $CrPSe_3$* ”, Inorg. Chem. **62**, 12674-12682 (2023).
- [4] D.P. Kozlenko, O.N. Lis, S.E. Kichanov et al. “*Spin induced negative thermal expansion and spin-phonon coupling in van der Waals material $CrBr_3$* ”, npj Quantum materials **6**: 19 (2021).
- [5] O.Lis, D.Kozlenko, S.Kichanov et al “*Structural, magnetic and vibrational properties of van der Waals ferromagnet $CrBr_3$ at high pressure*”, Materials **16**, 454 (2023).
- [6] D.P.Kozlenko, N.T.Dang, N.O.Golosova et al. “*Pressure-induced modifications of the magnetic order in the spin-chain compound $Ca_3Co_2O_6$* ” Phys. Rev. B **98**, 134435 (2018).

05: ВОЗМОЖНОСТИ ЯДЕРНОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОРРЕЛИРОВАННЫХ МАГНЕТИКОВ НА ПРИМЕРЕ ДВУМЕРНЫХ ФРУСТРИРОВАННЫХ СПИНОВЫХ СИСТЕМ С РЕШЕТКАМИ ТИПА ПЧЕЛИНЫХ СОТ

Е.Л.Вавилова^{1,*}

¹*Казанский Физико-Технический Институт им. Е.К.Завойского ФИЦ КазНЦ РАН*

* e-mail: jenia.vavilova@gmail.com

Ядерный магнитный резонанс (ЯМР) широко применяется для исследования структуры и взаимодействий в диамагнитных или слабо магнитных веществах, но его возможности в изучении коррелированных магнетиков, несмотря на их эффективность и информативность, менее известны. В докладе на примере комплексных оксидов 3d металлов с квази-двумерной магнитной решеткой со структурой пчелиных сот будут показаны возможности ЯМР при исследовании типа магнитного порядка, спиновых корреляций, транспортных и структурных особенностей и спиновой динамики магнетиков. Важнейшее преимущество ЯМР при изучении коррелированных магнетиков заключается чувствительности метода к локальной спиновой динамике и порядку в мегагерцовом (т.е. достаточно низком) диапазоне частот. Это позволяет регистрировать не только классические упорядоченные и парамагнитные фазы, но и области с сильными корреляциями и медленными спиновыми флуктуациями, а также фиксировать локальное фазовое расслоение и характеризовать сосуществующие фазы по-отдельности.

06: СПИНОВЫЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ В СЛАБО УПОРЯДОЧЕННОМ АНТИФЕРРОМАГНЕТИКЕ Sr_2CuO_3

С.С. Сосин^{1,*}, Е.Г. Сергейчева¹, И.А. Зализняк²

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

² *Brookhaven National Laboratory*

* e-mail: sosin@kapitza.ras.ru

Изучены магнитная фазовая диаграмма и спектры магнитного резонанса квази-одномерного антиферромагнетика со спином $S=1/2$ Sr_2CuO_3 . Данная система отличается большим отношением констант внутри- и междоцепочечного обменов ($J/J_1 \approx 2000$, $J \approx 2800$ К) и аномально слабым упорядочением (среднее значение спина на узле $0.06 \mu_B$) [1]. Несмотря на малую величину параметра порядка, его температурная эволюция вблизи температуры Нееля $T_N \approx 4.8$ К имеет обычный среднеполевой вид $\eta^2 \propto (T - T_N)$. Переход в упорядоченную фазу сопровождается возникновением в спектре возбуждений двух мод резонанса, характерных для коллинеарного двухосного антиферромагнетика, с двумя щелями $\Delta_{1,2} \approx 0.5$ и 1 К [2]. Зависимости щелей от магнитного поля при $T \ll T_N$ хорошо описываются в рамках классической спиновой гидродинамики, однако их абсолютные величины оказываются существенно меньше оценок, сделанных на основе классической теории спиновых волн.

В спектре магнитного резонанса также наблюдаются дополнительные моды. Одна из них обладает щелью, величина которой приблизительно соответствует оценке для «массовой» щели в спектре слабо связанных спиновых цепочек [3]. Эта мода демонстрирует сильную зависимость от магнитного поля с близким к нулю минимумом в окрестности поля $H_c \approx 9.5$ Т. Проведенные ультразвуковые исследования показали наличие в этой точке индуцированного полем фазового перехода [4]. В этой же области полей наблюдается аномальное увеличение температуры Нееля (до 30% в поле, не превышающем 0.25% от поля насыщения).

Таким образом, изученная система является примером необычного сочетания «классических» и одномерных свойств. С одной стороны, зависимость параметра порядка от температуры (несмотря на его аномально малую абсолютную величину) и связанные с ним моды антиферромагнитного резонанса оказываются характерными для обычного коллинеарного антиферромагнетика. С другой стороны, наличие в спектре возбуждений дополнительных мод, в том числе, предположительно, «массовой» щелевой моды [3], а также сильное влияние магнитного поля на основное состояние следует считать проявлением одномерности. Последнее обстоятельство также может свидетельствовать о наличии дополнительных эффектов, возможно, обусловленных наличием характерных для купратов магнитных дефектов в системе слабо связанных спиновых цепочек.

Литература:

- [1] K.M. Kojima *et al.*, Phys. Rev. Lett. **78**, 1787 (1997).
- [2] E.G. Sergeicheva *et al.*, Phys. Rev. B **95**, 020411 (2017).
- [3] H.J. Schulz, Phys. Rev. Lett. **77**, 2790 (1996).

07: НИЗКОЧАСТОТНАЯ ДИНАМИКА LiCu_3O_3 – АНТИФЕРРОМАГНЕТИКА НА
КВАДРАТНОЙ РЕШЕТКЕ С СИЛЬНОЙ СТЕПЕНЬЮ ЗАМЕЩЕНИЯ МАГНИТНЫХ ИОНОВ
НЕМАГНИТНЫМИ. ПСЕВДОЩЕЛЬ В СПЕКТРЕ МАГНИТНЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ

Готовко С. К.^{1,2,*}, Кудимкина П. С.¹, Круг фон Нидда Х.-А.³, Свистов Л. Е.¹

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

² *НИУ ВШЭ*

³ *Experimental Physics V, Center for Electronic Correlations and Magnetism, Institute of
Physics, University of Augsburg, Germany*

В сообщении представлены результаты исследования низкочастотной динамики LiCu_3O_3 – антиферромагнетика с сильно разбавленной квадратной решеткой. Кристаллическая структура содержит два типа квадратных плоскостей с различными степенями замещения магнитных ионов Cu^{2+} немагнитными ионами Li^+ (20% и 40%, Рис. 1). ЯМР, измерения намагниченности [1] и эксперименты по рассеянию нейтронов [2] выявили возникновение антиферромагнитного порядка при $T_{c1} = 123$ К и изменение магнитного состояния при $T_{c2} \approx 30$ К. Измерения интенсивности сигнала электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) подтвердили, что при $T_{c1} = 123$ К происходит магнитный фазовый переход только части образца, тогда как остальная часть образца остается парамагнитной. Магнитный порядок ожидается в магнитных плоскостях с более высокой концентрацией магнитных ионов. Соотношение значений интенсивности ЭПР до и после перехода согласуется с этим предположением.

В исследованном в экспериментах диапазоне частот и температур (18 – 140 ГГц, 30 – 300 К) наблюдалась только одна ветвь ЭПР. При температурах $T < 30$ К ветвь ЭПР приобретает щель, которая постепенно увеличивается с понижением температуры. Поведение наблюдаемой щели в спектрах магнитного резонанса указывает на то, что эта щель, является псевдощелью обменного характера, связанной с размерным эффектом на кластерах магнитных ионов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 22-12-00259-п.

Литература:

- [1] A.A. Bush, S.K. Gotovko, V.Yu. Ivanov, V.I. Kozlov, E.G. Nikolaev, and L.E. Svistov, Phys. Rev. B **109**, 115151 (2024)
- [2] A. Consiglio et al., Phys. Rev. Lett. **132**, 126502 (2024)
- [3] S.K. Gotovko, A.G. Ivanova, P.S. Kudimkina, A.A. Bush, V.I. Kozlov, M. Hemmida, H.-A. Krug von Nidda, and L.E. Svistov, Phys. Rev. B **111**, 064430 (2025)

08: 6H ПЕРОВСКИТЫ - НОВЫЙ КЛАСС АЛЬТЕРМАГНЕТИКОВ

С.В. Стрельцов^{1,*}¹ *Institute of Metal Physics*

* e-mail: streltsov@imp.uran.ru

Последние несколько лет изучение альтермагнетиков является одной “горячих” тем в физике конденсированного состояния [1,2]. В данной работе был проведен анализ магнитной симметрии различных соединений, имеющих кристаллическую структуру так называемых 6H (гексоганальных) перовскитов [3], и показано, что часть из них являются альтермагнетиками. Для нескольких 6H перовскитов были дополнительно выполнены расчеты в рамках теории функционала плотности (DFT+U и DFT+U+SOC), которые продемонстрировали наличие соответствующих спиновых расщеплений в зонной структуре соединений $\text{Ba}_3\text{CoIr}_2\text{O}_9$ и $\text{Ba}_3\text{NiRu}_2\text{O}_9$. Кроме того, было показано, что альтермагнетизм приводит к магнито-оптическому эффекту в $\text{Ba}_3\text{CoIr}_2\text{O}_9$ и гигантскому пьезомагнитному эффекту в $\text{Ba}_3\text{NiRu}_2\text{O}_9$ [4].

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, проект РНФ 23-12-00159.

Литература:

- [1] L. Smejkal, J. Sinova, and T. Jungwirth Phys. Rev. X 12, 040501 (2022).
- [2] C. Song, H. Bai, Z. Zhou, L. Han, H. Reichlova, J. H. Dil, J. Liu, X. Chen, F. Pan, Nature Review Materials (2025).
- [3] L. T. Nguyen, R. J. Cava, Hexagonal Perovskites as Quantum Materials, Chem. Rev. 121, 2935 (2021).
- [4] S.V. Streltsov unpublished

09: МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕЙЗЕНБЕРГОВСКИХ МАГНЕТИКОВ С УЧЁТОМ ЭФФЕКТОВ АНИЗОТРОПИИ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЗЯЛОШИНСКОГО-МОРИЯ

П.В. Прудников^{1,2*}

¹ *Центр новых химических технологий ИК СО РАН,
Институт катализа им. Г.К. Борескова, г. Омск*

² *Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, г. Омск*

* e-mail: prudnikp@ihcp.ru

В докладе будут представлены различные подходы моделирования конденсированных систем: от ультратонких магнитных пленок до мультислойных структур. Отдельное внимание в докладе будет уделено компьютерному моделированию гелимагнетиков [1] и синтетических гетероструктур с учетом влияния эффектов анизотропии [2]. Наномасштабная периодичность создает в магнитных структурах мезоскопические эффекты пространственной спиновой корреляции с медленной релаксационной динамикой [3].

В связи с тем, что современное моделирование невозможно без использования вычислительных ресурсов, то в докладе будут обсуждаться современные высокопроизводительные вычислительные системы. Прогресс атомистического моделирования существенно ограничен вычислительными затратами на методы воспроизведения электронной структуры методами функционала плотности. В докладе будут обсуждаться возможности использования машинного обучения, которые позволяют существенно ускорить процесс вычислений.

Литература:

- [1] A.A. Tereshchenko, Vl.E. Sinitsyn, I.G. Bostrem, P.V. Prudnikov, A.S. Ovchinnikov, J. Kishine, Emergent elasticity and wavelike to particle-like crossover in a magnetic chiral soliton lattice, *Physical Review B* 10, 144426 (2024) <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.110.144426>
- [2] M.M. Boldyreva, D.A. Druzev, V.O. Borzilov, I.K. Saifutdinov, N.I. Piskunova, M.V. Mamonova, V.V. Prudnikov, P.V. Prudnikov, The Influence of Anisotropy on the Manifestation of Aging Effects in the Magnetoresistance of Multilayer Structures, *Progress of Theoretical and Experimental Physics* 053I01 (2025) <https://doi.org/10.1093/ptep/ptaf058>
- [3] В.В. Прудников, П.В. Прудников, М.В. Мамонова, *Успехи физических наук* 187, 817 (2017) <https://doi.org/10.3367/UFNr.2017.02.038067>

10: МАГНИТНЫЙ СПЕКТР ФРУСТРИРОВАННЫХ СИСТЕМ С ИОНАМИ КОБАЛЬТА

П.А.Максимов^{1,*}

¹ *Объединенный институт ядерных исследований*

* e-mail: maksimov@theor.jinr.ru

В магнитных кристаллах с ионами кобальта Co^{2+} в валентности d^7 часто реализуется спин-орбитальный дублет $j=1/2$, орбитальный вклад которого может давать анизотропный обменные взаимодействия. На примере нескольких кристаллов мы покажем, что могут реализовываться анизотропии различных типов, такие как изинговская или взаимодействие Китаева. Моделируя спектр неупругого рассеяния нейтронов с помощью спин-волновых возбуждений, мы можем оценить величину различных обменных интегралов [1,2].

Литература:

- [1] Pavel A. Maksimov et al., Cobalt-based pyroxenes: A new playground for Kitaev physics, PNAS 121 (43) e2409154121 (2024).
- [2] Pavel A. Maksimov, Shengtao Jiang, L.P. Regnault, A.L. Chernyshev, $\text{BaCo}_2(\text{AsO}_4)_2$: Strong Kitaev, After All, arXiv:2503.20859 (2025).