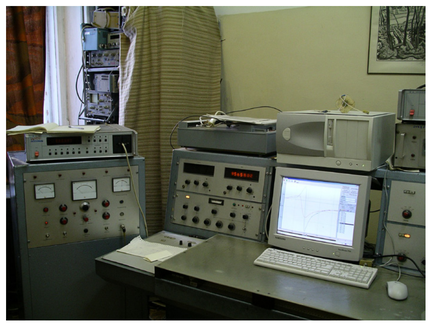
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

КАЗАНСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. Е. К. ЗАВОЙСКОГО

Лаборатория физики перспективных материалов

СОТРУДНИКИ ЛАБОРАТОРИИ

д.ф.-м.н. проф. Тейтельбаум Г.Б. – зав. лаб.
д.ф.-м.н. Таланов Ю.И. – зам. зав. лаб.
д.ф.-м.н. проф. Гарифуллин И.А. – г.н.с.
д.ф.-м.н. Гарифьянов Н.Н. – в.н.с.
д.ф.-м.н. Мамин Р.Ф. – с.н.с.
к.ф.-м.н. Альтшулер Т.С. – с.н.с
к.ф.-м.н. Водопьянов Б.П. – с.н.с.
к.ф.-м.н. Горюнов Ю.В. – с.н.с
к.ф.-м.н. Шапошникова Т.С. – с.н.с.
к.ф.-м.н. Валидов А.А. – с.н.с.
к.ф.-м.н. Вавилова Е.Л. – н.с.
к.ф.-м.н. Лексин П.В. – н.с.
к.ф.-м.н. Салахутдинов Л.Ф. – н.с.
к.ф.-м.н. Салихов Р.И. – н.с.
Камашев А.А. – асп.
Салихов Т.М. – асп.
Сахин В.О. – асп.
Яковлева М.Ф. – асп.
Гимазов И.И. – лаб.
Исмаилов Д.Г. – лаб.



ВАЖНЕЙШИЕ ДОСТИЖЕНИЯ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР СВЕРХПРОВОДЯЩИХ КУПРАТОВ В ПСЕВДОЩЕЛЕВОЙ ФАЗЕ

Установлено, что энергетический спектр сверхпроводящих купратов в псевдощелевой фазе при всех температурах состоит из когерентных дырочных возбуждений на Ферми арках и электронного кармана в центре зоны Бриллюэна.

Авторы:

Г. Б. Тейтельбаум (Казанский Физико-технический институт им. Е.К. Завойского РАН), Л. П. Горьков (Институт теоретической физики им. Л. Д. Ландау РАН, Национальная лаборатория сильных магнитных полей, Таллахасси, Флорида, США)

Публикации

1. Lev P. Gor'kov and Gregory B. Teitel'baum, *Two regimes in conductivity and the Hall coefficient of underdoped cuprates in strong magnetic fields*, J. Phys.: Condens. Matter 26, 042202 (2014).
2. Lev P. Gor'kov & Gregory B. Teitel'baum, *Two-component energy spectrum of cuprates in the pseudogap phase and its evolution with temperature and at charge ordering*, Sci. Rep. 5, 8524 (2015).

ОБНАРУЖЕНО ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЛОКАЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ, ИНДУЦИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ

Обнаружено сильное влияние магнитного поля на локальные состояния, индуцированные электрическим полем иглы атомного силового микроскопа, в образцах лантан стронциевых манганитов. Состояния обладают избыточным зарядом и проявляют пьезоэлектрические свойства. При записи состояний в слабых магнитных полях (0.1-0.3 Т) электрический потенциал от индуцированной области увеличивается в 2-3 раза. Предложена модель, описывающая возникновение таких магнитоэлектрических свойств локальных состояний, обладающих пьезоэлектрическими свойствами.

Руководитель работы: Мамин Р.Ф.
Выполнили: Мамин Р.Ф., Бизяев Д.А., Бухараев А.А.
(Казанский Физико-технический институт им. Е.К. Завойского РАН)

Публикация результатов :

1. R.F. Mamin, J. Strle, D.A. Bizyaev, R.V. Yusupov, V.V. Kabanov, A. Kranjec, M. Borovsak, D. Mihailovic A.A. Bukharaev, *Influence of magnetic field on locally electric-field-induced polar states in manganites*, Appl. Phys. Lett. 107, 192906 (2015).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Завершены исследования эффекта спинового клапана и триплетной сверхпроводимости в системе CoO/Py1/Cu/Py2/Pb ($Py=Ni_{0.2}Fe_{0.8}$). Предложен новый способ включения и выключения сверхпроводящего тока, использующий минимум в угловой зависимости температуры сверхпрводящего перехода, возникающий благодаря наличию триплетной сверхпроводимости.

Результаты измерения нерезонансного микроволнового поглощения (МВП) в монокристаллах $Bi_2Sr_2Ca_{1-x}Y_xCu_2O_{8+y}$ при $T>T_c$ подтвердили гипотезу о флуктуациях фазы сверхпроводящего параметра порядка вихревого типа.

По результатам измерений МВП и ЭПР поверхностного зонда построена фазовая диаграмма состояния высокотемпературного сверхпроводника $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+y}$ в широкой области плотности носителей тока и температур, включающей сверхпроводящее и псевдощелевое состояния.

По результатам исследования ЭПР ионов марганца в кристаллах Bi_2Te_3 установлен характер и температурный диапазон их магнитного упорядочения, определена намагниченность насыщения в широком интервале температур.

Исследованы фотопроводящие свойства магнениобата свинца, легированного титаном, и особенности диэлектрических свойств на низких частотах, возникающие в релаксорах различного состава при освещении.

Исследованы особенности неоднородных индуцированных состояний в зависимости от амплитуды и времени приложения внешнего электрического поля и при воздействии внешнего магнитного поля различной величины в образцах лантан стронциевых манганитов.

Обнаружено и исследовано сосуществование антиферромагнитного основного состояния и спиральных спиновых возбуждений в шпинели Al_2CoO_4. Показано, что подобные эффекты возникают во фрустрированном магнетике вблизи фазовой границы ввиду специфических локальных искажений структуры. Показано, как сочетание АФ основного состояния и спиральных возбуждений отражаются на динамических характеристиках ЯМР.

С помощью ЯМР и магнитометрии исследована роль замещения в структуре с магнитными кагоме-плоскостями соединения $YbaCo_3AlO_7$. Установлены особенности и характерный масштаб локального короткодействующего порядка в плоскостях и в объеме образца.

Проведены исследования ЯМР La и ЯМР в нулевых полях в упорядоченной фазе в перовскитах La_2CoIrO_6 и La_2CuIrO_6. Установлено, что взаимодействие двух магнитных подсистем – 3d металла и иридия в этих соединениях приводит к неколлинеарному магнитному упорядочению при низких температурах.

НАШИ ПРОЕКТЫ

РФФИ

Грант РФФИ *«Сверхпроводящий спиновый клапан и триплетная сверхпроводимость»* №14-02-00350,
Рук. Гарифуллин И.А.
Грант РФФИ *«Разработка физических основ новых элементов спинтроники на базе топологических изоляторов»* № 15-42-02477,
Рук. Тейтельбаум Г.Б.
Грант РФФИ *«Размытые фазовые переходы и фазовое разделение, связанное с зарядовыми неоднородностями»* № 14-02-01154,
Рук. Мамин Р.Ф.
Грант РФФИ *«Новые состояния низкоразмерных квантовых магнетиков»* №14-02-01194
Рук. Е.Л.Вавилова

Проекты РАН

Программа фундаментальных исследований Президиума РАН №1 *«НАНОСТРУКТУРЫ: ФИЗИКА, ХИМИЯ, БИОЛОГИЯ, ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЙ»*
Проект: *«Изучение особенностей функционирования спинового клапана для сверхпроводящего тока на основе эффекта близости сверхпроводник/ферромагнетик»*, рук. Гарифуллин И.А.
Программа фундаментальных исследований Президиума РАН № 2 *«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР»*
Проект: *«Особенности энергетического спектра в псевдощелевой фазе сверхпроводящих соединений»*, рук. Тейтельбаум Г.Б.
Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 32 *«ЭЛЕКТРОННЫЙ СПИНОВЫЙ РЕЗОНАНС, СПИН-ЗАВИСЯЩИЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ЭФФЕКТЫ И СПИНОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»*
Проект: *«Разработка методики ЭПР исследований неоднородных свойств материалов с сильными электронными корреляциями (сверхпроводников, топологических изоляторов и квантовых магнетиков)»*, рук. Таланов Ю.И.
Программа фундаментальных исследований Отделения физических наук РАН II.2
«ЭЛЕКТРОННЫЕ КОРРЕЛЯЦИИ В СИСТЕМАХ С СИЛЬНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ»
Проект: *«Эффекты сильных электронных корреляций в локальных свойствах сверхпроводящих и магнитных систем»*, рук. Тейтельбаум Г.Б.

Наши партнеры

Институт Лейбница твердого тела и материаловедения (Дрезден, Германия)
Институт Йозефа Стефана (Любляна, Словения)
Лаборатория сильных магнитных полей (Таллахасси, Флорида, США)
Лаборатория сильных магнитных полей (Дрезден-Розендорф, Германия)

Апробация наших результатов

В 2015 году наши результаты были отражены в 48 докладах на различных международных и российских конференциях в следующих странах:

Германия
Испания
Италия
Португалия
Россия
Швейцария
Швеция

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

Статьи в зарубежной печати

1. Lev P. Gor′kov & Gregory B. Teitel′baum, *Two-component energy spectrum of cuprates in the pseudogap phase and its evolution with temperature and at charge ordering.* Sci. Rep. 5, 8524 (2015).
2. I. A. Garifullin *EPR Study of Superconductors* J Low Temp Phys 178:243–271 (2015).
3. I.A.Garifullin, P.V.Leksin, N.N.Garif'yanov, A.A.Kamashev, Ya.V.Fominov, J. Schumann, Y.Krupskaya, V.Kataev, O.G.Schmidt, B.Büchner *The superconducting spin valve and triplet superconductivity* Journal of Magnetism and Magnetic Materials 373,18–22 (2015).
4. P. V. Leksin, N. N. Garif′yanov, A. A. Kamashev, Ya. V. Fominov, J. Schumann, C. Hess, V. Kataev, B. Büchner, and I. A. Garifullin *Superconducting spin-valve effect and triplet superconductivity in CoOx/Fe1/Cu/Fe2/Cu/Pb multilayer* Phys. Rev. **91**, 214508 (1-12) (2015).
5. R.F. Mamin, *Phase Separation and Magnetoelectric Properties of Locally Induced States in Manganites* Ferroelectrics **475**, n.1, 10-19 (2015).
6. R.F. Mamin, J. Strle, D.A. Bizyaev, R.V. Yusupov, V.V. Kabanov, A. Kranjec, M. Borovsak, D. Mihailovic, and A.A. Bukharaev, *Influence of magnetic field on electric-field-induced local polar states in manganites* Applied Physical Letters **107**, 192906 (2015).
7. Yu. Talanov, L. Salakhutdinov, T. Adachi, T. Noji, Y. Koike. *EPR study of the local magnetic field distribution over the $Bi_2Sr_2Ca_{1-x}Y_xCu_2O_{8+y}$ crystal surface above the superconducting transition temperature* Appl. Magn. Resonance v.46, Issue 8, pp 897-907 (2015).
8. M.A. Abdulmalic, A. Aliabadi, A. Petr, Y. Krupskaya, V. Kataev, B. Buechner, R. Zaripov, E. Vavilova, V. Voronkova, K. Salikov, T. Hahn, J. Kortus, F. Eya'ane Meva, D. Schaarschmidt, T. Rueffer, *Magnetic superexchange interactions: trinuclear bis(oxamidato) versus bis(oxamato) type complexes* Dalton Transactions 44 (2015) Nr. 17, S. 8062-8079
9. A. Aliabadi, R. Zaripov, K. Salikhov, V. Voronkova, E. Vavilova, M.A. Abdulmalic, T. Rueffer, B. Buechner, V. Kataev, *Electron Spin Density on the N-Donor Atoms of Cu(II) -(Bis)oxamidato Complexes As Probed by a Pulse ELDOR Detected NMR* Journal of Physical Chemistry B 119 (2015) Nr. 43, S. 13762-13770 (РФФИ 14-02-01194)
10. M. Iakovleva, E. Vavilova, H.-J. Grafe, S. Zimmermann, A. Alfonsov, H. Luetkens, H.-H. Klauss, A. Maljuk, S. Wurmehl, B. Buechner, V. Kataev, *Ground state and low-energy magnetic dynamics in the frustrated magnet $CoAl_2O_4$ as revealed by local spin probes* Physical Review B 91 (2015) Nr. 14, S. 144419/1-11
11. E. A. Zvereva, M. I. Stratan, Y. A. Ovchenkov, V. B. Nalbandyan, J.-Y. Lin, E. L. Vavilova, M. F. Iakovleva, M. Abdel-Hafiez, A. V. Silhanek, X.-J. Chen, A. Stroppa, S. Picozzi, H. O. Jeschke, R. Valentí, and A. N. Vasiliev, *Zigzag antiferromagnetic quantum ground state in monoclinic honeycomb lattice antimonates $A_3Ni_2SbO_6(A=Li,Na)$* Physical Review B 92, 144401 (1995)

Статьи в отечественной печати

1. Р.Ф. Мамин, С.А. Мигачев, М.Ф. Садыков, Р.В. Юсупов, Фотопроводимость и фотостимулированные явления в керамике $Pb_{1-x}La_x(Zr_{1-x}Ti_x)O_3$ ФТТ **57**, в.3, 519-522 (2015).
2. Р.Ф. Мамин, Т.С. Шапошникова, Возникновение релаксорного состояния Письма в ЖЭТФ **101**, в.1, 29-33 (2015).

Дуализм *d*-электронов в пниктидах железа

Едины в двух лицах - в сверхпроводящих ферропниктидах в формировании и зонных, и локализованных состояний участвуют одни и те же электроны.

Многочисленные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что сверхпроводящим пниктидам железа присуще состояние с волной спиновой плотности. Однако относительно механизма его возникновения до сих пор отсутствует единое мнение. Более того, не выяснена даже сама природа магнитных моментов, формирующих это состояние. На первом этапе исследований считалось, что магнетизм связан с зонными электронами и обусловлен «нестингом» сложной поверхности Ферми, характерной для пниктидов. При этом ниже температуры T_m формируется фаза с волной спиновой плотности, в доменных стенках которой происходит локальное подавление соответствующей ей энергетической щели [1].
Однако, в ряде экспериментов было зафиксировано наличие локальных моментов при температурах выше T_m. Это побудило нас исследовать возникновение магнитных моментов на узлах Fe с учетом их взаимодействия с зонными электронами в парамагнитной фазе ферропниктидов при различном соотношении между внутриузельным кулоновским отталкиванием и хундовским обменом.
Установлен двойственный характер *d*-электронов в сверхпроводящих пниктидах железа. На основании теоретических расчетов, выходящих за рамки борновского приближения, показано [2], что в условиях сильного хундовского обмена одни и те же электроны участвуют в формировании как зонных, так и локализованных состояний. Дело в том, что на очень коротких временах, в течении которых зонный электрон оказывается вблизи узла решетки за счет хундовского взаимодействия может сформироваться большой локальный момент. Это обстоятельство приводит к существенной перенормировке затравочной величины локального момента. При этом измеримая величина локального магнитного момента, существенно зависит от характерного времени эксперимента.
В свою очередь, зонные электроны рассеиваются на перенормированных магнитных моментах $\bar{S}$, которые в парамагнитной фазе остаются неупорядоченными. Этот механизм рассеяния отвечает за большую величину электросопротивления пниктидов при температурах их перехода в антиферромагнитную фазу.
Выполнена интерпретация ряда имеющихся экспериментальных данных по локальным магнитным моментам и по аномально большой величине электросопротивления пниктидов вблизи температур их перехода в антиферромагнитную фазу [3]. Показано, что все они укладываются в предложенную нами теоретическую схему.

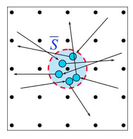


Рис. 1: Эффективный локальный момент $\bar{S}$ (распределенный в области, ограниченной красным пунктиром) возникающий при хундовском обмене между электронами (голубые кружки), вблизи одного из узлов кристаллической решетки (черные точки).

Установлено, что переход в состояние с волной спиновой плотности обусловлен косвенным (РККИ) взаимодействием перенормированных магнитных моментов за счет обмена электрон-дырочными парами. При этом структурный вектор волны спиновой плотности в зоне Бриллюэна задается вектором, соединяющим минимум электронной зоны с максимумом дырочной зоны.

1. Gor'kov L.P, and Teitel'baum G.B, Spatial inhomogeneities in iron pnictide superconductors: The formation of charge stripes, Phys. Rev. B 82, 020510(R) (2010)
2. Gor'kov L.P. and Teitel'baum G.B. Dual role of d electrons in iron pnictides Phys. Rev. B 87, 024504 (2013)
3. Teitel'baum G.B. (2015, in print)

Энергетический спектр сверхпроводящих купратов в псевдощелевой фазе

Энергетический спектр купратов помимо дырок на Ферми арках при всех температурах включает и электронный карман в центре зоны Бриллюэна.

Детали электронного спектра высокотемпературных сверхпроводников находящихся в псевдощелевой фазе имеют критическое значение для понимания механизмов сверхпроводимости. Наибольшую загадку представляют когерентные возбуждения, которые по данным фотоэмиссионных экспериментов (ARPES) возникают лишь на Ферми арках. Этот факт подтверждается и характерными особенностями низкотемпературных квантовых осцилляций, которые свидетельствуют о наличии небольших электронных карманов на поверхности Ферми этих сильно коррелированных материалов. Однако в настоящее время измерения ARPES удалось провести лишь для весьма небольшой группы оксидных сверхпроводников, а квантовые осцилляции наблюдаемы только при низких температурах. Поэтому природа электронных карманов и сам факт их существования при других температурах является предметом интенсивных обсуждений. После того как в недавних экспериментах по рентгеновскому рассеянию было обнаружено зарядовое упорядочение в литературе стало доминировать мнение о том, что появление электронного кармана связано с перестройкой поверхности Ферми при переходе в состояние с зарядовым упорядочением.
Анализ экспериментальных данных по сопротивлению, эффекту Холла показал: 1) что когерентные дырочные возбуждения на Ферми арках в являются единственными носителями заряда в системе лишь случае слабо допированных купратов; 2) при более высокой концентрации дырок $x>0.08$-0.10 постоянным атрибутом поверхности Ферми при всех температурах, наряду с арками, является и электронный карман. Это обстоятельство противоречит идее о реконструкции поверхности Ферми при зарядовом упорядочением. Действительно отклонение числа холловских носителей в соединениях LSCO и YBCO от пропорциональности концентрации допантов может быть естественным образом объяснено вкладом носителей из малого электронного кармана, увлекаемых дырками на Ферми арках; 3) с понижением температуры дырки сильно рассеиваются на флуктуациях, связанных с несоразмерными волнами зарядовой плотности, их подвижность падает и основная роль в транспортных свойствах переходит к носителям из электронного кармана.
Предложенная картина энергетического спектра купратов позволяет самосогласованным способом интерпретировать фазовую диаграмму и данные недавних транспортных, рентгеновских и ЯМР экспериментов. Среди них особое место занимает изменение знака холловской константы в сильных магнитных полях при понижении температуры.

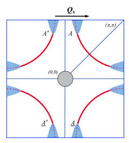


Рис.: Схематическое изображение поверхности Ферми слабо допированных купратов. Сплошные красные линии соответствуют Ферми аркам, центрированным недалеко от четырех нодальных точек $(\pm\pi/2,\pm\pi/2)$ зоны Бриллюэна. Красным пунктиром указаны те участки Ферми поверхности, заселить которые дырками невозможно из-за наличия энергетической щели в заштрихованных участках зоны Бриллюэна. Q_1 – структурный вектор волны зарядовой плотности. Небольшой электронный карман в центре зоны изображен в виде серого кружка.

1. Gor'kov L. P., & Teitel'baum G. B. Two regimes in conductivity and the Hall coefficient of underdoped cuprates in strong magnetic fields. J. Phys.: Condens. Matter 26, 042202 (2014).
2. Gor'kov, L. P., & Teitel'baum G.B., Two-component energy spectrum of cuprates in the pseudogap phase and its evolution with temperature and at charge ordering. Sci. Rep, 5, 8524 (2015).

Триплетная сверхпроводимость

Экспериментальное исследование роли триплетного спаривания в эффекте сверхпроводящего спинового клапана

В соответствии с теорией генерация дальнодействующей триплетной компоненты (ДТК) в сверхпроводящем конденсате в слоистой тонкопленочной структуре Ф1/Ф2/С (где Ф1 и Ф2 – это ферромагнитные слои, а С- это слой сверхпроводника) приводит к возникновению минимума в угловой зависимости температуры сверхпроводящего перехода T_c при неколлинеарной конфигурации намагниченностей слоев Ф1 и Ф2 (Ya. V. Fominov и др. Письма в ЖЭТФ 91, 329 (2010)). В 2012 году было получено первое экспериментальное подтверждение этого предсказания при изучении эффекта спинового клапана со структурой CoO_x/Fe1/Cu/Fe2/Pb [1]. Дальнейшие исследования показали, что данная система нестабильна, и ее сверхпроводящие свойства деградируют в течение нескольких дней, что затрудняет всестороннее изучение свойств образцов. Мы предположили, что нестабильность сверхпроводящих свойств образцов вызвана взаимной диффузией атомов Fe и Pb через границу раздела Fe2/Pb. И действительно, введение тонкого (2 нм толщиной) слоя меди между слоями железа и свинца позволило стабилизировать свойства образцов, предотвращая уширение сверхпроводящего перехода и смещение T_c [2]. Было установлено, что ДТК проявляется гораздо ярче в модифицированной конструкции, нежели в конструкции, не содержащей промежуточного слоя меди. В дальнейшем для сдвига максимума эффекта спинового клапана $\Delta T_c = T_c^{AP} - T_c^P$ (где T_c^P - это температура сверхпроводящего перехода для параллельной ориентации намагниченностей слоев Fe1 и Fe2, а T_c^{AP} - для их антипараллельной ориентации) в сторону больших толщин ферромагнитных слоев вместо в качестве ферромагнетика был использован пермаллой ($Py=Ni_{0.81}Fe_{0.19}$). В структуре CoO_x/Py1/Cu/Py2/Cu/Pb нами было изучено сверхпроводящее триплетное спаривание, индуцированное эффектом близости сверхпроводник/ферромагнетик. Для нахождения оптимальных условий приготовления образцов наряду с измерениями транспортных и магнитных свойств была использована просвечивающая электронная микроскопия. Оптимизация параметров этой структуры позволила продемонстрировать полное переключение между нормальным и сверхпроводящим состояниями (Рис. 1, верхняя панель). Для того, чтобы наблюдать в чистом виде триплетный вклад в эффект сверхпроводящего спинового клапана, был использован осциллирующий характер величины обычного эффекта спинового клапана ΔT_c от толщины слоя Py2 d_{Py2}, при которой ΔT_c, вызванная обычным эффектом спинового клапана, зануляется. Для образца с такой толщиной пермаллоя наблюдался «чистый» триплетный вклад в эффект спинового клапана, угловая зависимость которого представляет собой симметричную кривую с минимумом вблизи ортогональной конфигурации намагниченностей ферромагнитных слоев Py1 и Py2 (Рис. 1, нижняя панель).

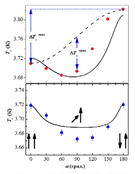


Рис. 1: Эффект спинового клапана для CoO_x(3)/Py(3)/Cu(4)/Py(6.6)/Cu(2)/Pb(70 нм). Верхняя панель – угловая зависимость T_c, измеренная в поле H_z=150 Э (красные кружки), угловая зависимость величины синглетной компоненты ΔT_c^{AP} (штриховая линия) и теоретической величины (черная сплошная линия). Нижняя панель – образец CoO_x/Py(3)/Cu(4)/Py(1.7)/Cu(2)/Pb(70 нм) с нулевой синглетной компонентой. Угловая зависимость T_c, вызванная ДТК, показана синими кружками. Сплошная линия – теоретическая кривая.

1. P.V. Leksin, N. N. Garif'yanov, I. A. Garifullin, Ya.V. Fominov, J. Schumann, Y. Krupskaya, V. Kataev, O. G. Schmidt, and B. Büchner. Evidence for Triplet Superconductivity in a Superconductor-Ferromagnet Spin Valve. Phys. Rev. Lett. 109, 057005 (2012).
2. P. V. Leksin, A. A. Kamashev, N. N. Garif'yanov, I. A. Garifullin, Ya. V. Fominov, J. Schumann, C. Hess, V. Kataev, and B. Buechner, Peculiarities of Performance of the Spin Valve for the Superconducting Current. Письма в ЖЭТФ, 2013, Т. 97, Вып. 8, С. 478–482.

Локальные магнитные поля на поверхности сверхпроводника

ЭПР исследование магнитных возбуждений в кристаллах ВТСП при температурах выше перехода в сверхпроводящее состояние

Для исследования слабых магнитных возмущений в кристаллах высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) при температурах выше критической температуры T_c развита техника поверхностного парамагнитного зонда. Её применение позволяет обнаружить магнитные фазы различной природы, возникающие в образцах в результате электронного фазового расслоения либо вследствие возникновения вихревого состояния. Контролируемое вакуумное нанесение зондирующего слоя с заданными параметрами и использование очень узкого реперного сигнала ЭПР дендритов лития позволило достигнуть пространственного разрешения 10 нм и разрешения по магнитному полю 0.1 Э.
Сверхпроводящие корреляции, которые приводят к появлению диамагнетизма при $T>T_c$, рассматриваются как продолжение сверхпроводящего состояния и дают надежду на существенное повышение критической температуры. Однако, механизм этих корреляций остается пока неясным, что сдерживает прогресс в улучшении свойств ВТСП материалов. Изучение их локальных магнитных свойств, которое проводится нами с помощью поверхностного ЭПР-зонда, направлено на выяснение природы магнитных возбуждений в этой области температур и будет способствовать решению обозначенной проблемы.
Исследованы монокристаллы соединений $Bi_2Sr_2Ca_{1-x}Y_xCu_2O_8$ и $La_{2-x}Sr_xCuO_4$. Концентрация носителей тока варьировалась в широком интервале путем изменения уровня допирования примесями. В результате анализа зависимостей сдвига и уширения сигнала ЭПР от температуры и расстояния между зондом и образцом обнаружено, что в широком интервале температур выше T_c образцы намагничены неоднородно. При этом на поверхности исследованных образцов существуют участки с парамагнитной и диамагнитной намагниченностью, которые, по-видимому, образуются в результате электронного фазового расслоения на области с повышенной (диамагнитные) и пониженной (парамагнитные) концентрацией носителей тока. Размеры диамагнитных областей увеличиваются с уменьшением температуры и вблизи T_c они составляют сотни микрон.

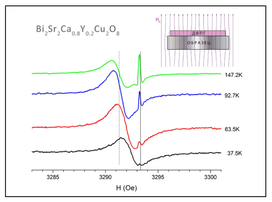


Рис. 1: Изменение с температурой спектра ЭПР слов ДФПГ (низкополевой сигнал), нанесенного на поверхность кристалла $Bi_2Sr_2Ca_{1-x}Y_xCu_2O_{8+y}$, и метки Li (высокополевой сигнал), удаленной от исследуемого образца на расстояние 3 мм. Толщина зондирующего слоя 100 нм.

1. Таланов Ю.И., Салахутдинов Л.Ф., Адачи Т., Хасиноя Р.И. Поиск вихревых возбуждений в кристаллах $Bi_2Sr_2Ca_{1-x}Y_xCu_2O_{8+y}$ выше критической температуры с помощью ЭПР. Известия РАН. Серия физическая **76**, 161–163 (2012)
2. Talanov Yu., Salakhutdinov L., Adachi T., Noji T., Koike Y, EPR study of the local magnetic field distribution over the $Bi_2Sr_2Ca_{1-x}Y_xCu_2O_{8+y}$ crystal surface above the superconducting transition temperature. Appl. Magn. Resonance **46**, 897-907 (2015).

Секреты записи информации

Магнитоэлектрические свойства локально-индуцированных состояний в манганитах

Создание локальных состояний, обладающих магнитоэлектрическими свойствами, вызывает особый интерес в связи с возможностью реализации записи информации при воздействии как магнитного, так и электрического полей. Методами атомной силовой микроскопии были созданы и исследованы нано-размерные состояния (рис. 1), индуцированные электрическим полем зонда атомного силового микроскопа (АСМ), в образцах лантан стронциевых манганитов. Было обнаружено [1], что эти состояния обладали избыточным зарядом на поверхности и проявляли пьезоэлектрические свойства. Пример проявления записанной информации, в виде локального пьезоэлектрического отклика, представлен на рис. 2. Такой рельеф в пьезо-моде не исчезает даже на вторые сутки, что свидетельствует об эффективности записи информации нашим методом. Развитая модель возникновения поляризации при создании таких заряженных состояний на поверхности показала, что эти состояния связаны с фазовым разделением с зарядовыми неоднородностями. Поляризация возникает при сдвиге зарядовых неоднородностей относительно противоположно заряженной матрицы в поле зонда АСМ. В результате появляется поляризация, связанная с пространственным перераспределением заряда локализованных носителей. Пьезоэлектрический отклик обусловлен достаточно сильной связью локализованных зарядов с решеткой, за счет эффекта Яна-Теллера. В экспериментах по исследованию влияния магнитного поля на процесс записи локальных состояний поле от зонда АСМ прикладывалось в точке в течении определенного времени в различных магнитных полях. Из рис. 1 видно, что потенциал и размеры индуцированных состояний сильно изменяются, когда локальное электрическое поле прикладывается в присутствии магнитного поля. Таким образом, можно влиять на процесс записи информации локальным электрическим полем прикладывая внешнее магнитное поле.

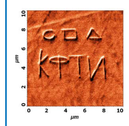


Рис. 2: изображение индуцированных состояний в пьезо- моде.

Рис. 1: 3D картинка поверхностного потенциала , измеренных в Кельвин моде, индуцированных состояний в различных магнитных полях.

1. Р.Ф. Мамин, Д.А. Бизяев, А.А. Бухараев, Локально-индуцированные заряженные поляризационные состояния в манганитах, Известия РАН, сер. физ, **75**, 10-13 (2011).
2. R.F. Mamin, J. Strle, D.A. Bizyaev, R.V. Yusupov, V.V. Kabanov, A. Kranjec, M. Borovsak, D. Mihailovic, A.A. Bukharaev, Influence of magnetic field on electric-field-induced local polar states in manganites, Appl. Phys. Lett, **107**, 192906 (2015).