

В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Магнитный изотоп-эффект в ВТСП

Ключевые эксперименты, которые более полувека назад указали на фононный механизм спаривания электронов в обычных сверхпроводниках, заключались в обнаружении изменения T_c при изотопическом замещении [1,2]. Впоследствии это привело к созданию микроскопической теории сверхпроводимости БКШ. Не исключено, что такую же роль (но уже для высокотемпературных сверхпроводников) сыграют экспериментальные результаты японских и американских физиков (Tohoku Univ., CREST, Univ. Tsukuba – Япония и Boston College – США) [3], продемонстрировавших изменение характера аномалии закона дисперсии электронов (так называемого “кинка”) в ВТСП, а именно – в окрестности уровня Ферми при частичном замещении атомов меди атомами цинка и никеля, мало отличающимися по массе, но находящимися в других спиновых состояниях (что можно рассматривать как «магнитный изотоп-эффект»). Исследования фотоэмиссионных спектров с угловым разрешением показали, что замещение 1% атомов *Cu* на *Zn* или *Ni* в *Bi*-2212 ведет к сглаживанию кинка (см. рис.1).

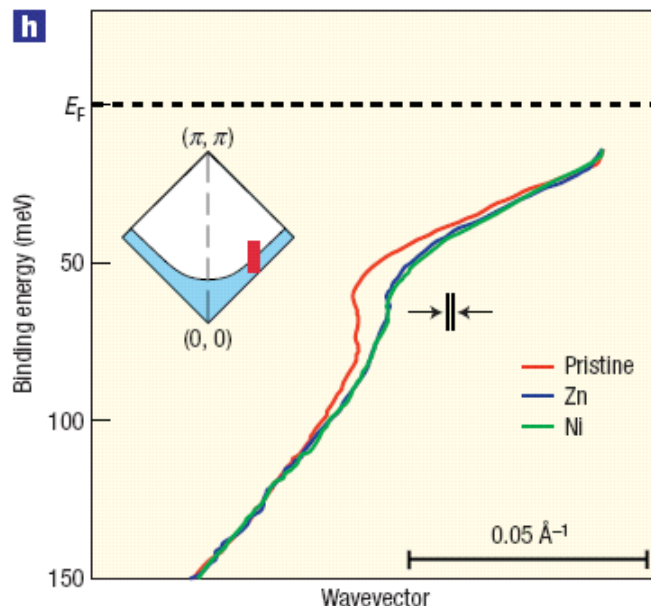


Рис. 1. Изменение закона дисперсии вблизи уровня Ферми при замещении *Cu/Zn* и *Cu/Ni* в *Bi*-2212.

Это говорит об ослаблении взаимодействия электронов с модой, ответственной за появление кинка, что подтверждается сильным уменьшением максимума действительной части собственной энергии электронов $Re\Sigma(\omega)$ при $T < T_c$ (рис.2). Сопоставляя свои результаты с данными по неупругому рассеянию нейтронов, авторы [3] делают вывод, что кинк возникает из-за взаимодействия электронов со спиновыми флуктуациями, а не с акустическими или оптическими фононами, как некоторые считают. По их мнению, это является аргументом в пользу нефононного механизма спаривания в ВТСП.

И далее ...

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 2 Применение однослойных углеродных нанотрубок для повышения добротности кварцевых резонаторов

НАНОСТРУКТУРЫ

- 2 *Ab initio* определение атомной структуры кластеров и наночастиц
- 3 Оптика на плазмонах
Углеродное волокно вместо меди

СПИНТРОНИКА

- 4 Мультиферроики или два в одном (материалы с электрическими и магнитными свойствами)
- 5 Спиновый транзистор против кремниевого
Делает ли природа скачки?
- 7 Что может граница?

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

- 7 Квантовые вычисления при комнатной температуре

КОНФЕРЕНЦИИ

- 8 **23 июня 2006 г.** с 9:30 до 18:30.
Москва, ул. Мясницкая, 20,
ГУ ВШЭ, ауд. N 311.
Семинар “Нанотехнологии и нанонауки, интеллектуальные многофункциональные материалы”.

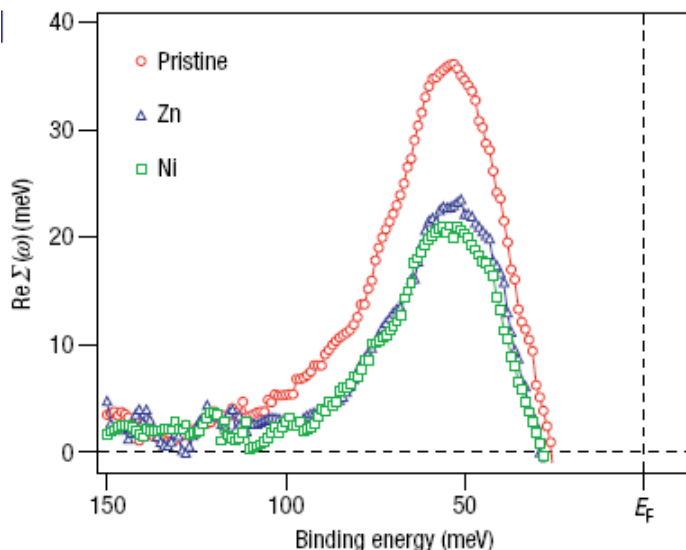


Рис.2. Изменение $Re\Sigma(\omega)$ в Bi-2212 при замещении Cu/Zn и Cu/Ni.

В своем комментарии [4] к работе [3] M.Norman из ANL отмечает, что наблюдение магнитного изотоп-эффекта указывает на определяющую роль магнитных взаимодействий для спаривания носителей в ВТСП. Однако, справедливости ради, следует сказать, что в этом вопросе еще немало темных пятен. Так, например, непонятно, почему существенное ослабление взаимодействия электронов со спиновыми флуктуациями не приводит к такому же существенному понижению T_c , которая уменьшается от 92 К лишь до 78 К (Zn) и 80 К (Ni). Такое поведение T_c прекрасно описывается в рамках обычной модели БКШ для сверхпроводников с d -спариванием, которое, как известно, очень чувствительно к любым примесям – как магнитным, так и немагнитным. И, наконец, как быть с экспериментами [5], обнаружившими сдвиг кинка при обычном (“немагнитном”) изотопическом замещении $^{16}O \rightarrow ^{18}O$?

Л.Опенев

1. F.Maxwell, *Phys.Rev.* 1950, **78**, 477
2. C.A.Reynolds et al, *Phys.Rev.* 1950, **78**, 487
3. K.Terashima et al, *Nature Physics* 2006, **2**, 27
4. M.Norman, *Nature Physics* 2006, **2**, 19
5. G.H.Gweon et al, *Nature* 2004, **430**, 187

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Применение однослойных углеродных нанотрубок для повышения добротности кварцевых резонаторов

Авторы работы, выполненной недавно в Пенсильванском университете (США), сообщают о повышении добротности кварцевых резонаторов при нанесении на их поверхность тонкой пленки углеродных нанотрубок (УНТ). Проблема повышения добротности кварцевых резонаторов возникает на пути создания сверхчувствительных весов для определения массы микрообъектов. Чувствительность такого устройства, действие

которого основано на изменении частоты колебаний кварцевого резонатора, обратно пропорциональна его добротности. Однако условие повышения добротности противоречит требованию миниатюризации прибора, поэтому возникает технически сложная проблема получения кварцевых кристаллов малой толщины, характеризующихся высоким уровнем добротности резонатора. Эффективный путь решения данной проблемы оказался связан с использованием УНТ.

Кварцевые резонаторы толщиной 90, 56 и 33мкм и с добротностью от 500 до 7500 были вырезаны методом плазменного травления из пластины толщиной 110мкм. Среднеквадратичный размер шероховатости поверхности кристаллов оценивается величиной 1нм. Диаметр золотых электродов составлял 0.5 и 1мм. Суспензию, состоящую из 1/3 металлических и 2/3 полупроводниковых нанотрубок диаметром ~ 1.4 нм и длиной ~ 800 нм, размешанных в *N*-метил-2-пирролидиноне, наносили на подложку. Содержание нанотрубок в суспензии составляло 10мг/мл. Как следует из наблюдений, выполненных с помощью атомного силового микроскопа, при нанесении суспензии на подложку примерно 80–90% нанотрубок оказались изолированными друг от друга. Аналогичную суспензию наносили с помощью щеточки на поверхность кварцевого резонатора. После просушивания на поверхности золотого электрода оставался однородный слой неупорядоченных однослойных УНТ. Для удаления сорбированных газов, присутствие которых могло бы повлиять на затухание колебаний резонатора, кристаллы, покрытые слоем УНТ, в течение 24-48 час. подвергали вакуумной обработке. Измерения добротности резонаторов производили в условиях вакуума при остаточном давлении 10^{-6} Тор. Измерения указывают на снижение собственной частоты колебаний кристалла по мере увеличения массы слоя УНТ. Наблюдается значительное (более чем 100%-ное) увеличение добротности всех исследованных кристаллов в результате нанесения слоя УНТ. Описанный эффект авторы объясняют подавлением поверхностных потерь энергии колебаний слоем нанотрубок, имеющих чрезвычайно высокую осевую жесткость (модуль упругости порядка 10^7 атм).

А.В.Елецкий

1. Goyal A. et al., *Appl. Phys. Lett.* 2005, **87**, 204102

НАНОСТРУКТУРЫ

Ab initio определение атомной структуры кластеров и наночастиц

Методики, основанные на дифракции рентгеновских лучей и нейтронов, позволяют с огромной точностью определять кристаллическую структуру упорядоченных твердых тел – монокристаллов. Что касается, например, сложных неорганических материалов, представляющих большой интерес для нанотехнологий, но не обладающих дальним порядком в расположении атомов, то к ним стандартные кристаллографиче-

ские методы неприменимы. Это же относится к кластерам и наночастицам, в которых нет трансляционной симметрии. Сканирующая туннельная микроскопия, просвечивающая электронная микроскопия и ЯМР хотя и дают общую информацию об их пространственной структуре, но с недостаточно высокой точностью (порядка одного ангстрема). Между тем даже незначительное изменение межатомных расстояний может приводить к появлению у твердотельных систем качественно новых свойств (например, поляронное искажение в материалах с гигантским магнитосопротивлением имеет порядок одной десятой ангстрема).

В работе [1] предложен новый способ прецизионного определения взаимного расположения атомов в наноструктурированных материалах. Сами авторы назвали его *ab initio* методом, поскольку он не требует каких бы то ни было подгоночных параметров и априорных моделей. Этот метод основан на строгом математическом анализе парной функции распределения атомов (pair distribution function, PDF), которая находится экспериментально с очень высоким разрешением (несколько сотых долей ангстрема) из данных по нейтронной и рентгеновской дифракции и содержит сведения обо всех межатомных расстояниях.

Идея использовать PDF для определения структуры не нова. Однако до сих пор содержащаяся в PDF информация помогала лишь уточнить (пусть и весьма существенно) структурные параметры, основываясь на уже известных данных о материале. Если же заранее о структуре ничего не было известно, то максимум, чего удавалось добиться – это указать несколько возможных атомных конфигураций, не противоречащих эксперименту (на математическом языке это означает, что решение существует, но не является единственным). Основная проблема заключалась в том, как восстановить структуру из несортированного списка межатомных расстояний, ничего не зная о хотя бы трехчастичных характеристиках. Ведь заранее неизвестно, какой именно паре атомов отвечает то или иное межатомное расстояние. Авторам упомянутой статьи удалось разработать и обосновать алгоритм реконструкции структуры по известной PDF, дающий однозначные результаты. Он основан на минимизации суммы квадратов разностей между экспериментальными межатомными расстояниями и длинами связей в искомой структуре.

Отладка этого алгоритма была выполнена на фуллерене C_{60} и ленард-джонсовских кластерах из $N_a \sim 100$ атомов. Время расчета на обычном Пентиуме-4 для каждого кластера составило всего несколько минут. Авторы отмечают, что если какие-то независимые данные (например, об углах между связями) могут быть почерпнуты из независимых экспериментов (EXAFS, ЯМР и пр.), то это еще больше упростит задачу и существен-

но сократит время счета. Для анализа систем, состоящих из разных элементов, можно также пользоваться известными “химическими правилами” (например, в частицах $NaCl$ ближайшими соседями атомов Cl могут быть только атомы Na , но не Cl , и наоборот). Развита методика открывает путь к субангстремной точности при определении структуры наноматериалов, для которых обычные кристаллографические методы терпят неудачу.

1. P. Juhas et al., *Nature* 2006, **440**, 655

Оптика на плазмонах

Оптические сети обработки информации имеют большое преимущество перед электронными, поскольку они имеют гораздо большую рабочую полосу, что очень важно для систем коммуникации. Однако уменьшение размеров оптических компонентов с целью увеличения степени их интеграции наталкивается, естественно, на дифракционный предел. Для его преодоления необходимо перейти к гораздо меньшим длинам волн. Реальными кандидатами являются поверхностные плазмоны, или поляритоны. Эти колебания распространяются вдоль металлической поверхности. По физической природе они являются гибридом плазменных и электромагнитных колебаний. Внутри металла они больше схожи с плазменными, а снаружи – с объемными электромагнитными. В результате этого можно достаточно эффективно трансформировать объемные электромагнитные волны в поверхностные, например, с помощью дифракционной решетки.

Объемные плазмоны имеют определенную частоту, зависящую от концентрации электронов. Поверхностные плазмоны не имеют таких ограничений по частоте. Препятствием на пути реализации этой идеи было все-таки слишком большое затухание поверхностных плазмонов. Датские (Aalborg Univ.) и французские (Univ. Louis Pasteur) физики показали, что использование V-образных канавок для распространения поверхностных плазмонов значительно ослабляет их затухание. Они могут распространяться на десятки микрон. На этих канавках уже изготовлены структуры делителей, интерферометров и кольцевых резонаторов.

В. Вьюрков

1. *Nature* 2006, **440**, 508

Углеродное волокно вместо меди

Медь, которую совсем недавно выбрали в качестве главного материала для металлизации в больших интегральных схемах, повела себя таким образом, что приходится срочно искать ей замену. Оказалось, что сопротивление меди резко растет при уменьшении толщины проводников. Кроме того, медь подвержена электромиграции. Кандидатом на ее замену выступает углеродное волокно. Рассматриваются также многостенные углеродные нанотрубки – в них присутствуют стенки, как с полупроводниковым, так и с металлическим характером проводимости. Аналогичным образом ведут себя углеродные волокна. Авторы

работы [1] синтезировали углеродные волокна и исследовали их свойства, важные для применения в качестве межсоединений в интегральных схемах. Материал показал высокую проводимость и термическую стабильность. Проводимость не изменялась при длительном пропускании тока высокой плотности 10^7 A/cm^2 .

1. *IEEE El. Dev. Lett.* 2006, 27, 221

СПИНТРОНИКА

Мультиферроики или два в одном (материалы с электрическими и магнитными свойствами)

Французские (Unité Mixte de Physique CNRS-Thales; Univ. Paris-Sud; Univ. d'Evry) и швейцарские (Univ. Geneva) ученые сообщают об успешном объединении магнитных полуметаллов и мультиферроиков в многофункциональные эпитаксиальные гетероструктуры [1], что открывает новую страницу в спинтронике: создание магнитных туннельных переходов, управляемых электрическим полем и сегнетоэлектрических туннельных переходов, управляемых магнитным полем.

Мультиферроики – материалы, которые объединяют в себе сразу два вида «ферро-»упорядочений: магнитное (*ferromagnetic*) и сегнетоэлектрическое (*ferroelectric*) [2]. Этим материалам присущи как свойства, характерные для каждого из классов в отдельности (спонтанная намагниченность, магнитострикция, спонтанная поляризация и пьезоэлектрический эффект), так и совершенно новые свойства, связанные с взаимодействием магнитной и электрической подсистем:

- магнитоэлектрический эффект (индуцированная магнитным полем электрическая поляризация и индуцированная электрическим полем намагниченность);
- эффект электрического контроля (переключение спонтанной поляризации магнитным полем и спонтанной намагниченности электрическим полем);
- магнитодиэлектрический эффект или «магнитоемкость» (изменение диэлектрической постоянной под действием магнитного поля) [3].

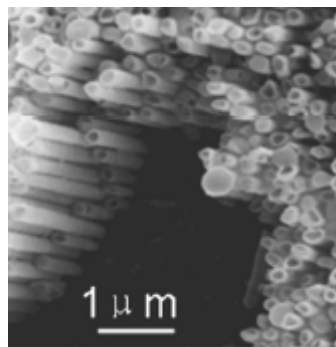


Рис. 1. Матрицы из нанотрубок BiFeO_3 [4]

Наиболее привлекательной чертой магнитоэлектрических материалов являются их диэлектрические свойства, позволяющие использовать магнито-

электрики в туннельных переходах, а в перспективе перейти и к преобразованию информации в форме

намагниченности в электрические сигналы и обратно без использования электрических токов (и, как следствие, без омических потерь).

В качестве магнитоэлектрического материала для спинтронных гетероструктур в работе [1] был выбран **феррит висмута** BiFeO_3 , который пользуется большой популярностью у исследователей, занимающихся разработкой магнитоэлектрических материалов, благодаря тому, что проявляет свойства мультиферроика при комнатных температурах и даже выше (вплоть 370°C). Феррит висмута служит основой для создания тонкопленочных материалов, керамик и твердых растворов, а в последнее время были предприняты успешные попытки изготовить на его основе матрицы из нанотрубок [4] (рис. 1) и нанокомпозитных материалов, в которых используются пьезоэлектрические свойства мультиферроика [5].

С точки зрения авторов [1], наибольшие перспективы в спинтронике сулит использование феррита висмута в качестве диэлектрического барьера в туннельных переходах. Феррит висмута имеет ромбоэдрически искаженную перовскитную структуру, схожую с той, в которую кристаллизуются некоторые известные магнитные полуметаллы, что позволяет комбинировать их друг с другом в эпитаксиальных гетероструктурах. В данном случае это были двухслойные структуры полуметалла $\text{La}_{2/3}\text{Sr}_{1/3}\text{MnO}_3$ и феррита висмута, выращенные на подложке из титаната стронция SrTiO_3 (001). Как показали исследования структурных, электрических и магнитных свойств получившихся гетероструктур, изолирующие и сегнетоэлектрические свойства феррита висмута сохраняются вплоть до толщин пленок в 5 нм, также как и магнитные свойства полуметалла.

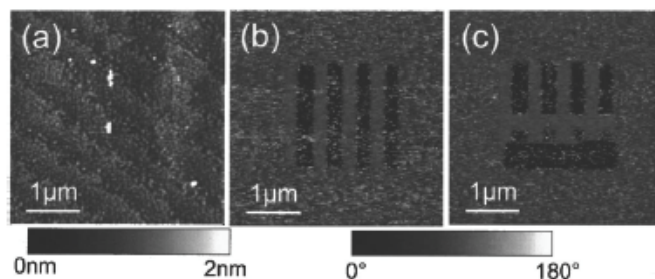


Рис. 2. Топография (a) и сегнетоэлектрические домены (b) и (c) пленок феррита висмута толщиной 5 нм [1]. Изображение (c) получено после «перезаписи» сегнетоэлектрических доменов в направлении, перпендикулярном исходному.

На рис. 2 представлены изображения, полученные с помощью атомносиловой микроскопии: (a) топография поверхности, (b) и (c) сегнетоэлектрическая структура (снятая с помощью пьезоэлектрического эффекта). Контраст на рисунках (b) и (c) свидетельствует о наличии сегнетоэлектрических доменов в виде полос с поляризацией, направленной вверх и вниз. Стоит отметить, что этот контраст отсутствует на топографическом изображении (a), что говорит о сегнетоэлектри-

ческой природе образований. Изображение (с) получено после «записи» двух полос в направлении, перпендикулярном исходному. Запись осуществлялась приложением электрического напряжения между зондом и электродом, напыленным снизу на подложку.

Поскольку диэлектрические и сегнетоэлектрические свойства феррита висмута сохраняются (о чем свидетельствуют также опыты по созданию нанотрубок [4] и нанокомпозитов [5]), это открывает возможности для создания на основе мультиферроиков магнитных туннельных переходов и сегнетоэлектрических туннельных переходов, управляемых как магнитными, так и электрическими полями.

А.Пятаков

1. H. Bea et al, *Appl. Phys. Lett.* 2006, **88**, 062502
2. А.К. Звездин, А.П. Пятаков, *УФН*, 2003, **174**, 465-470
3. M. Fiebig, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 2005, **38**, R123–R152
4. X. Y. Zhang et al, *Appl. Phys. Lett.* 2005, **87**, 143102
5. M. Murakami et al, *Appl. Phys. Lett.*, 2006, **88**, 112505

Спиновый транзистор против кремниевого

В отличие от кремниевых полевых транзисторов и большинства других видов транзисторов спиновый транзистор не имеет каких-либо принципиальных ограничений на энергию переключения. Полевой кремниевый транзистор, основанный на заряде, подчиняется термодинамическому пределу энергии переключения – приблизительно kT на один электрон. В спиновом транзисторе происходит прецессия спина, управляемая потенциалом затвора, на которую не тратится энергия. Схема транзистора приведена на рис. 1, взятом из работы [1]. На контактах истока и стока установлены спиновые фильтры, в качестве которых могут выступать ферромагнитные материалы, которые пропускают спины только одной ориентации. Можно сказать, что для спинов обратной ориентации существует высокий потенциальный барьер. Исток и сток намагничены противоположным образом. Если к затвору не приложено напряжение, прецессия спина в результате спин-орбитального взаимодействия Рашбы не происходит (время релаксации спина T_1 велико). Электроны из истока не могут попасть в сток. Это закрытое состояние транзистора. При достаточном напряжении на затворе, за время прохождения электроном канала транзистора спин успевает перевернуться (T_1 мало). Электроны могут проходить в сток. Это открытое состояние транзистора. До этого момента все изложенное соответствует

первоначальной идее спинового транзистора, которую в 1990 году выдвинули Datta и Das.

Главным препятствием на пути спинового транзистора явилось отсутствие структур, в которых с помощью небольшого напряжения на затворе можно было бы быстро переворачивать спин. Канадские (Dalhousie Univ.) и американские (Univ. Iowa) ученые опубликовали теоретическую работу [1], которая основана на предшествующих экспериментальных достижениях группы. В экспериментах удалось показать, что переворот спина в квантовых ямах на основе (100) *InAs* происходит на порядок быстрее, чем в квантовых ямах на основе *GaAs*. Напряжение на затворе ~ 0.1 В оказалось достаточным, чтобы это время довести до 10 пс. Для пролета со скоростью 10^7 см/с это приводит к длине канала 1 мкм. Конечно, это не миниатюрный транзистор. Стоит напомнить, что и идеальных инжекторов со степенью поляризации, близкой к 100%, в настоящее время не существует. Тем не менее, авторы показали, что в идеальном случае энергия переключения спинового транзистора с учетом потерь в цепи может быть действительно меньше, чем в кремниевом полевом транзисторе.

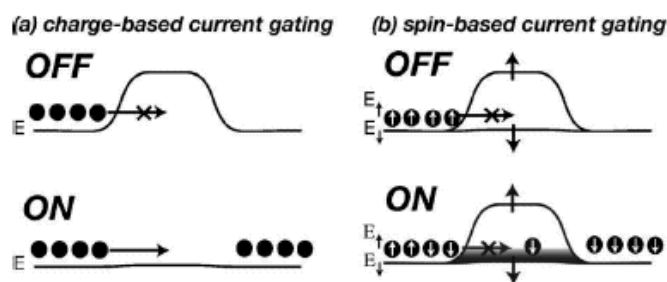


Рис. 1. Схема работы спинового транзистора в открытом (ON) и закрытом (OFF) состоянии.

В.Вьюрков

1. *Appl. Phys. Lett.* 2006, **88**, 162503

Делает ли природа скачки?

Знаменитый принцип Лейбница «Природа не делает скачков» (*Natura non facit saltum*) многократно попадал под горячую руку первооткрывателям все новых и новых квантовых явлений в природе. Одним из макроскопических квантовых эффектов является ступенчатое перемагничивание высокоспиновых кластеров со спином, превышающим 10 (см., например, обзоры [1, 2]). Молекулы с такой большой величиной спина не встречаются в природе. Поэтому у исследователей были все основания полагать, что руками химиков создано нечто принципиально новое в отношении магнитных свойств. Тема эта, широко развитая и столь же широко разрекламированная на Западе, уже, казалось бы, начала продвигаться к закату всеобщего интереса. В течение 10 лет активно обсуждаются так называемые эффекты туннелирования спина в кластерах типа «марганец 12» или «железо 8». Наличие потенциального барьера между спиновыми состояниями, обусловленного расщеплением уровней в ну-

левом поле, приводит к тому, что резонансные переходы в намагниченное состояние могут случаться только в области пересечения спиновых уровней. Поэтому медленное нарастание внешнего поля ведет к постепенному переключению кластера в состояние со все большим и большим полным спином (рис.1).

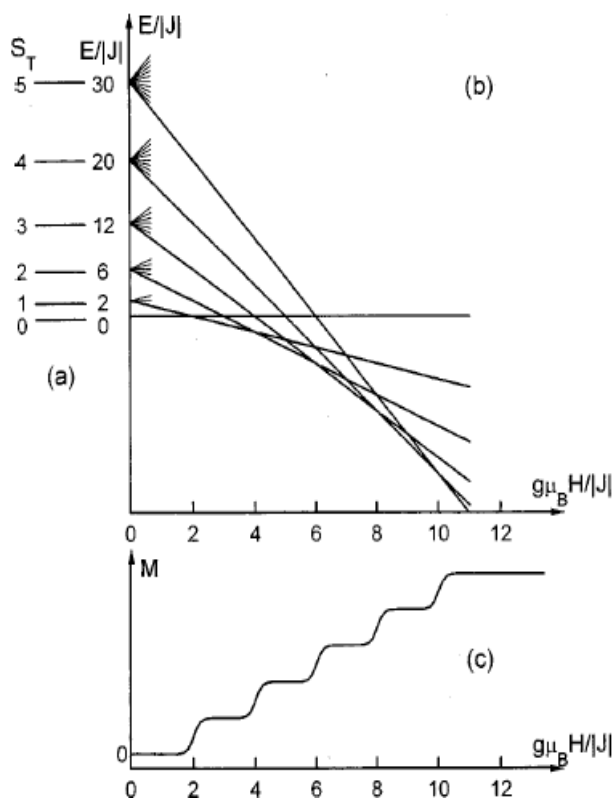


Рис. 1.

Поначалу такие одномолекулярные магниты рассматривались в качестве перспективных элементов для хранения и обработки информации в квантовых компьютерах. Однако за десятилетие так и не удалось ни повысить температуру их использования (она составляет обычно 2-5K), ни понизить переключающее магнитное поле (которое превышает 1Тл). Попытки изменения атомной структуры и расположения лигандов виртуозными методами химического дизайна не привели к успеху.

Совсем недавно выяснилось, что столь трудоемкая последовательность химических реакций и процессов, которая используется обычно при синтезе высокоспиновых молекул, необязательна для достижения скачкообразного переключения направления спинов магнитным полем. Этот эффект может быть реализован в димерах железа – молекулах, содержащих всего пару (а не 12 или 8) ионов со спинами (3-5). Димерами называют молекулы, которые могут содержать не только пару ионов со спинами, но и «шубу» органических лигандов. Все необходимые условия пересечения спиновых уровней и наличия потенциального барьера прекрасно выполняются в таких системах.

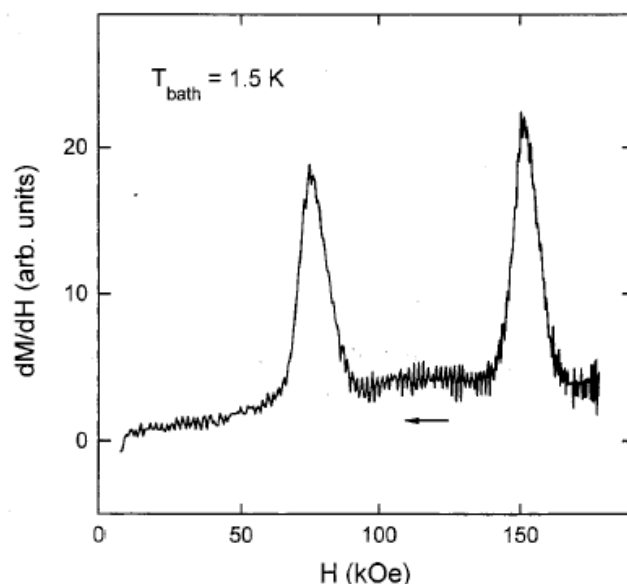


Рис.2 Зависимость дифференциальной намагниченности димеров от внешнего магнитного поля ([3-5]).

Как видно из рис.2, при определенных величинах магнитных полей происходит скачкообразное намагничивание димера. Этот результат стимулировал новый прилив интереса к туннелированию спина и молекулярным спиновым ячейкам памяти. Во-первых, потому что приоткрылись новые пути создания таких частиц, а, во-вторых, потому что пришлось припомнить, где в природе встречаются димеры железа, и на что они влияют.

Далеко за примером ходить не пришлось. Димеры железа (динитрозильные комплексы) выполняют важнейшую функцию в живых организмах, участвуя в регуляции производства оксида азота и таким образом управляя функциями белков ([6, 7]). Около 30-ти лет назад димеры железа были обнаружены в животных и растительных объектах, а в настоящее время динитрозильные комплексы, тождественные натуральным, создаются в лабораториях. Интенсивно исследуют противоопухолевые препараты на их основе.

Принцип действия виагры заключается в обогащении организма нитрозильными комплексами железа. Разумеется, не приходится рассчитывать, что процессы при температуре 1-2K могут иметь прямое отношение к биологическим объектам. Однако сам факт спинового туннелирования в системах, сходных с биологическими, может иметь далеко идущие последствия для криомедицины и криобиологии. Поэтому вопрос, поставленный в заголовке к этой заметке, может стать актуальным и для живой природы.

Р.Моргунов

1. *J. Phys.: Condens. Matter* 2004, **16**, R771
2. *Chemistry of Nanostructured Materials*; Yang, P., Ed.; World Scientific Publishing: Hong Kong, 291 (2003).
3. *Phys. Rev. B* 2001, **63**, 094422
4. *Phys. Rev. B* 1999-II, **59**, 1050

5. *Phys. Rev. B* 2005, 72, 184403
6. *J. Mol. Struct.* 2005, 110-114, 752
7. *Координационная химия*, 2001-7, 27, № 9, 1

Что может граница?

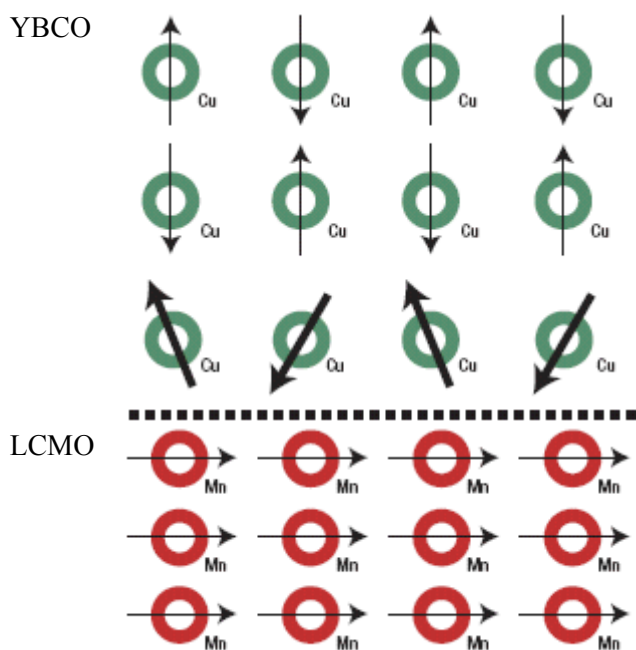


Рис.1. Магнитный эффект близости на границе $La_{2/3}Mn_{1/3}CaO_3/YBa_2Cu_3O_7$: параллельные поверхности раздела компоненты магнитных моментов атомов Cu ориентированы в одном направлении и противоположно магнитным моментам атомов Mn [2].

Сложные оксидные соединения со структурой перовскита могут находиться в самых разных состояниях: диэлектрическом, металлическом, сверхпроводящем, ферромагнитном, сегнетоэлектрическом. Из-за delicate баланса между кинетической и кулоновской энергией даже самое незначительное возмущение, связанное с изменением температуры, электрического или магнитного поля, деформации, может стабилизировать ту или иную фазу. Интересные результаты получены в совместной работе сотрудников Max Planck Inst. Solid State Res. (Германия), Univ. Arkansas, Argonne Natn. Lab. (США), European Synchrotron Radiation Facility (Франция) и Rutherford Appleton Lab. (Англия) [1] при исследовании перовскитных сверхрешеток $La_{2/3}Mn_{1/3}CaO_3/YBa_2Cu_3O_7$, в которых функцию возмущения выполняет сама граница раздела между ферромагнетиком и ВТСП. С одной стороны, взаимодействие с магнитными моментами атомов Mn приводит к ферромагнитной поляризации спинов атомов меди в приграничном слое $YBa_2Cu_3O_7$ (см. рис.).

С другой стороны, при $T < T_c$ в ферромагнетике индуцируется полосковая доменная структура. Большой размер доменов (несколько микрон) говорит о том, что они образуются за счет электродинамического (а не обменного) взаимодействия между ВТСП и манганитом. Сами авторы высказы-

зывают предположение, что за это взаимодействие ответственны абрикосовские вихри. Как бы то ни было, налицо взаимное влияние двух несовместимых типов дальнего порядка.

1. *J.Chakhalian et al, Nature Phys.* 2006, 2, 244
2. *Nature Phys.* 2006, 2, 229

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Квантовые вычисления

при комнатной температуре

P.S.Fodor и J.Levy (Univ. Pittsburgh) в недавней статье [1] дали обзор всех существующих в настоящее время предложений по реализации квантового компьютера на кремнии. Остановимся только на одном разделе, пожалуй, самом интригующем. Он посвящен возможности организовать квантовые вычисления даже при комнатной температуре. Идею использовать вместо мелких доноров в кремнии (например, фосфора, который рекомендовал Kane) глубокие доноры выдвинул в 2003 году Stoneham с коллегами (University College London) [1, 2]. Основные состояния этих доноров находятся в запрещенной зоне глубоко под дном зоны проводимости (рис. 1) и, в отличие от мелких доноров, вероятность их ионизации даже при комнатной температуре исключительно мала. В качестве кубитов используются состояния спинов электронов на донорах A и B , это могут быть атомы Bi . Между ними находится другой донор, например, атом Er . Когда электрон на нем находится в основном состоянии W_{CG} , то электроны на атомах A и B не взаимодействуют. При переходе электрона на промежуточном доноре в возбужденное состояние, которое является достаточно протяженным, чтобы захватить атомы A и B , он служит посредником в организации обменного взаимодействия между электронами A и B . Возбуждать электрон C можно лазерным импульсом, переводить в основное состояние можно снова лазерным импульсом. Управляющие электроды, которые вносят большую декогерентизацию, особенно при комнатной температуре, отсутствуют. Адресация к определенным донорам типа C осуществляется варьированием частоты лазера, поскольку частоты резонансного возбуждения будут отличаться из-за различного положения атомов в кристаллической решетке.

Авторы предложения являются более математиками, чем физиками. В статьях затронуты в основном математические проблемы организации квантовых вычислений с помощью предложенной схемы. Как физики, в качестве упрека мы даже не затрагиваем технологические сложности формирования структуры (как известно, технология совершенствуется гораздо быстрее, чем это можно было бы предполагать). Но, к сожалению, природа остается неизменной. Возбужденное состояние атома C ведет себя так же, как и мелкий донор, со всеми вытекающими из этого последствиями. Кроме того, быстрое возбуждение (практически фотоионизация) глубокого центра требует слишком большой мощности лазера.

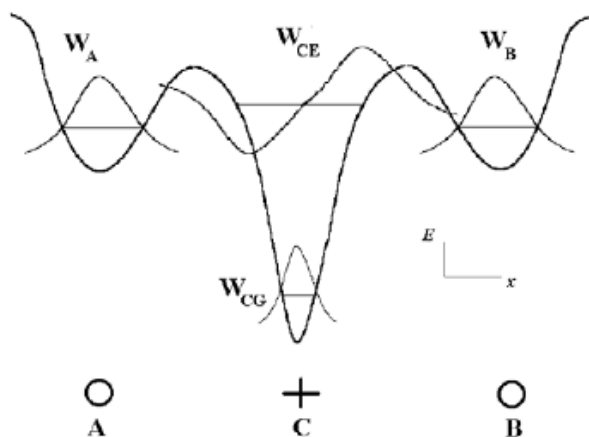


Рис. 1. Возбуждение электрона на доноре C включает взаимодействие между электронами на донорах A и B .

Однако следует обратить внимание на обсуждаемую идею. Возможно, она сослужит службу в других, более реалистических конструкциях.

В.Вьюрков

1. *J.Phys.: Condens. Matter* 2006, **18**, S745
2. *J.Phys.: Condens. Matter* 2003, **15**, L447
3. *J.Phys.: Condens. Matter* 2004, **16**, 2757

КОНФЕРЕНЦИИ

23 июня 2006 г. с 9:30 до 18:30. Москва, ул. Мясницкая, 20, ГУ ВШЭ, ауд. N 311. Семинар “Нанотехнологии и нанонауки, интеллектуальные многофункциональные материалы”.

На семинаре будут рассмотрены следующие вопросы:
Тематика:

- итоги участия российских организаций и исследователей в направлении по мобильности ученых Шестой Рамочной программы Евросоюза (2002-2006 гг.);
- перспективы развития академической мобильности между Россией и ЕС в Седьмой Рамочной программе Евросоюза (2007-2013 гг.) и в международных и двусторонних программах: ТЕМПУС, Эразмус Мундус, ДААД и т.д.;
- механизмы поддержки международной академической мобильности в регионах России.

Контакты:

Марина Карапетовна Мелконян, ученый секретарь проекта ИНИН-ИНТАС (FP6-NMP)

Phone/fax: +7(495) 135-05-81;

e-mail: fp6-nano@ns.crys.ras.ru

site: <http://www.fp6-nano.com>

Внимание!

С апреля с.г. ПерсТ выпускается только в электронном формате и представлен по адресу <http://perst.issph.kiae.ru>. Желающие получать выпуски ПерсТа по своему электронному адресу могут сообщить его в адрес редакции stk@issp.ras.ru

Экспресс-бюллетень ПерсТ издается совместной информационной группой
ИФТТ РАН и РНЦ «Курчатовский институт»
при поддержке Программы Президиума РАН «Информатизация»

Редактор: С.Корецкая тел: (095) 930 3389, e-mail: stk@issp.ras.ru

Научный консультант: К.Кугель, e-mail: kugel@orc.ru

В подготовке выпуска принимали участие: В.Вьюрков, В.Елецкий, Ю.Метлин,
Р.Моргунов, Л.Опенев, А.Пятаков

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64^а