

В области физики магнитных явлений (2011 г):

1. Развита технология создания многослойных ферромагнитных наночастиц, состоящих из сверхтонких слоев ферромагнитных металлов, разделенных туннельно-прозрачными диэлектрическими прослойками. Экспериментально исследовано магнитосопротивление частиц различной формы. Показано, что в нулевом внешнем поле многослойная частица в форме диска, обладающая анизотропией типа «легкая плоскость» и содержащая три ферромагнитных слоя, находится в неколлинеарном состоянии. Этот результат открывает возможности изучения процессов спиновой аккумуляции, перемагничивания спин-поляризованным током, нелинейных спин-зависимых транспортных явлений и эффектов близости в структурах ферромагнетик /сверхпроводник. Установлено, что анизотропия формы частицы приводит к существованию устойчивых коллинеарных состояний, различающихся величиной сопротивления. Это делает такие системы перспективными для использования в устройствах хранения и обработки информации. *(Институт физики микроструктур РАН, Н.Новгород).*
2. Показано, что одиночный 60 фс лазерный импульс индуцирует в редкоземельном ортоферрите $(\text{SmPr})\text{FeO}_3$ ориентационный фазовый переход с характерным временем ~ 5 пс. Обнаружено, что направление намагниченности в новой фазе можно менять, изменяя поляризацию импульса. Такое управление переходом осуществляется благодаря тому, что фс лазерный импульс (1) возбуждает поляризационно-зависимую прецессию намагниченности и (2) индуцирует быстрое изменение магнитной анизотропии. Таким образом, впервые реализован когерентный контроль магнитного фазового перехода. Предложенный механизм может быть использован и для других типов фазовых переходов. *(Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН)*
3. В спин-жидкостном состоянии (выше температуры антиферромагнитного упорядочения) квазидвумерного фрустрированного антиферромагнетика Cs_2CuCl_4 обнаружено формирование спиновой щели и расщепление линии магнитного резонанса на две компоненты. Показано, что неожиданное возникновение щели и расщепление линии магнитного резонанса при отсутствии параметра порядка объясняется модификацией континуума спионных возбуждений, обусловленной однородным взаимодействием Дзялошинского-Мории. Оно создает эффективное поле, знак которого является различным для спионов, движущихся направо и налево. Это приводит к возникновению сдвига и расщеплению линии магнитного резонанса. Характерная зависимость интенсивности магнитного резонанса в нулевом внешнем поле от поляризации микроволн относительно вектора Дзялошинского-Мории также подтверждает предложенный механизм модификации спектра магнитного резонанса. Обнаруженные явления представляют новый тип магнитного резонанса, характерный для магнетиков со спионным континуумом возбуждений. *(Институт Физических проблем им. П. Л. Катицы РАН)*

Более подробное изложение результатов

Магнитосопротивление и неколлинеарные состояния многослойных ферромагнитных наночастиц,

Результат: Развита технология создания многослойных ферромагнитных наночастиц, состоящих из сверхтонких слоев ферромагнитных металлов, разделенных туннельно-прозрачными диэлектрическими прослойками. Экспериментально исследовано магнитосопротивление частиц различной формы. Показано, что в нулевом внешнем поле многослойная частица, обладающая анизотропией типа «легкая плоскость» и содержащая три ферромагнитных слоя, находится в неколлинеарном состоянии. Установлено, что анизотропия формы частицы приводит к существованию устойчивых коллинеарных состояний, различающихся величиной сопротивления. Это делает такие системы перспективными для использования в устройствах хранения и обработки информации.

Авторы: С.Н. Вдовичев, Б.А. Грибков, С.А. Гусев, А.Ю. Климов, В.Л.Миронов, И.М.Нефедов, В.В. Рогов, А.А.Фраерман, И.А.Шерешевский

Публикации: С.Н.Вдовичев, Б.А.Грибков, С.А.Гусев и др., Магнитосопротивление и неколлинеарные состояния многослойных ферромагнитных наночастиц, Письма в ЖЭТФ, т.94, вып.5, с.418-421 (2011)

Аннотация:

Связь спиновых и орбитальных степеней свободы в твердых телах является предметом активного изучения в последние годы. Эта связь может быть обусловлена либо релятивистским спин-орбитальным взаимодействием, либо обменным взаимодействием. В последнем случае необходимо, чтобы распределение намагниченности в образце было неколлинеарным. Этим объясняется особый интерес к созданию и изучению проводящих ферромагнетиков с неколлинеарной структурой. Ранее нами было показано [1], что многослойная ферромагнитная частица, состоящая из трех ферромагнитных слоев, разделенных «немагнитными» прослойками обладает неколлинеарным спиральным основным состоянием. Недавно мы расширили представления об условиях существования неколлинеарных магнитных состояний в цепочках однодоменных магнитных частиц [2].

В рамках данной работы мы экспериментально исследовали такие состояния в цепочке, состоящей из двух туннельных магнитных контактов по зависимости сопротивления системы от внешнего магнитного поля. Возможность изучения магнитных состояний основана на хорошо известной зависимости сопротивления магнитного туннельного контакта от угла между магнитными моментами ферромагнитных слоев. При этом были решены достаточно сложные технические задачи изготовления многослойных наночастиц и измерения их магнитосопротивления при протекании тока перпендикулярно слоям. Нам удалось показать, что в нулевом внешнем поле многослойная частица с диаметром 200 нм, обладающая анизотропией типа «легкая плоскость» и содержащая три ферромагнитных слоя, находится в неколлинеарном состоянии. Этот результат открывает дополнительные возможности для изучения процессов спиновой аккумуляции [3], перемагничивания спин-поляризованным током [4], нелинейных спин-зависимых транспортных явлений [5, 6] и эффектов близости в структурах ферромагнетик /сверхпроводник [7]. Также нами установлено, что анизотропия формы многослойной частицы приводит к существованию устойчивых коллинеарных состояний, различающихся величиной сопротивления. Это делает такие системы перспективными для использования в устройствах хранения и обработки информации.

1. A. A. Fraerman et al., J. of Appl. Phys. 103, 073916, (2008)

2. К.Р.Мухаматчин, А.А.Фраерман, Письма в ЖЭТФ, т.93, вып.12, с.797-800 (2011)
3. S. Urazhdin et al, Phys. Rev. B 71, 100401R (2005)
4. O. Wessely et al, PRL 96, 256601 (2006)
5. A. A. Fraerman, O.G. Udalov, Phys. Rev. B 77, 94401, (2009).
6. D. Herranz et al, PRL 105, 047207 (2010)
7. F. S. Bergeret, A. F. Volkov, K. V. Efetov, Rev. of Modern Phys., 77, 1321 (2005)

Управление сверхбыстрым фазовым переходом через лазерное возбуждение магнитной прецессии

А. М. Калашникова, Р. В. Писарев

Мы показали, что одиночный 60 фс лазерный импульс индуцирует в редкоземельном ортоферрите (SmPr)FeO₃ ориентационный фазовый переход с характерным временем ~5 пс. Неожиданным оказалось то, что направление намагниченности в новой фазе можно менять, изменяя поляризацию импульса. Такое управление переходом осуществляется благодаря тому, что фс лазерный импульс (1) возбуждает поляризационно-зависимую прецессию намагниченности и (2) индуцирует быстрое изменение магнитной анизотропии. То есть, нами впервые реализован когерентный контроль магнитного фазового перехода. Предложенный механизм может быть использован и для других типов фазовых переходов.

(Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН)

J. A. de Jong, I. Razdolski, A. M. Kalashnikova, R. V. Pisarev, A. M. Balbashov, A. Kirilyuk, Th. Rasing, A. V. Kimel, Phys. Rev. Lett. (*submitted*)

Управление сверхбыстрым лазерно-индуцированным ориентационным фазовым переходом посредством возбуждения слабой магнитной прецессии

J. A. de Jong,¹ I. Razdolski,¹ А. М. Калашникова,² Р. В. Писарев,²
А. М. Балбашов,³ А. Kirilyuk,¹ Th. Rasing,¹ А. V. Kimel¹

¹*Radboud University Nijmegen, IMM, 6525AJ Nijmegen, The Netherlands*

²*Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН. 194021 С.-Петербург, Россия*

³*Московский энергетический институт, 111250, Москва, Россия*

В последнее время большой интерес в физике конденсированного состояния направлен на изучение сверхбыстрых фазовых переходов, возбуждаемых лазерными импульсами на временах в десятки и сотни фемтосекунд [1-4]. Особое место в этих исследованиях занимают переходы между фазами, характеризующимися векторными параметрами порядка, такими как, например, намагниченность или спонтанная поляризация. Именно такие переходы могут послужить основой для создания новых устройств, использующих быстрое переключение между различными состояниями.

Примером могут служить ориентационные фазовые переходы в редкоземельных ортоферритах, в которых при изменении температуры в узком интервале ~10 К наблюдается поворот намагниченности на 90°. Такой фазовый переход может быть индуцирован на временах порядка 10 пс за счет сверхбыстрого нагрева, вызванного фемтосекундным лазерным импульсом [4]. Существенным недостатком такого способа управления магнитным состоянием является то, что намагниченность в новой лазерно-индуцированной фазе имеет два направления, снятие вырождения между которыми требует, например, присутствия внешнего магнитного поля. Возникает вопрос, можно ли, используя исключительно фемтосекундные лазерные импульсы, не

только возбуждать ориентационные переходы, но и контролировать направление намагниченности в новой лазерно-индуцированной фазе.

Используя метод одноимпульсной магнитооптической микроскопии с фемтосекундным разрешением, мы исследовали лазерно-индуцированную магнитную динамику в редкоземельном ортоферрите $\text{Sm}_{0.5}\text{Pr}_{0.5}\text{FeO}_3$ в нулевом магнитном поле [5]. Мы показали, что в течении 5-10 пс после воздействия 100 фс лазерного импульса в образце ортоферрита формируется домен с направлением намагниченности, отличным от начального, то есть происходит фазовый переход. Совершенно неожиданным оказалось то, что направление намагниченности в сформированном домене определялось поляризацией возбуждающего импульса. Мы показали, что в основе такого *управляемого* лазерно-индуцированного фазового перехода лежит двойственное взаимодействие фемтосекундных лазерных импульсов с магнитной средой. С одной стороны лазерный импульс приводит к изменению магнитной анизотропии за время порядка 5-10 пс, что приводит к фазовому переходу [4]. С другой стороны, этот же лазерный импульс мгновенно возбуждает прецессию намагниченности малой амплитуды с начальной фазой, определяемой поляризацией света [6]. Наличие такой прецессии динамически снимает вырождение между двумя возможными направлениями намагниченности в новой лазерно-индуцированной фазе. Важно отметить, что, в отличие от других известных способов оптического контроля намагниченности, обнаруженный механизм позволяет контролировать конечное состояние намагниченности не только путем изменения поляризации лазерного импульса, но и его интенсивности, а также температуры образца.

[1] E. Beaurepaire, M. Maret, V. Halté, *et al.*, Phys. Rev. B. **58**, 12 13 (1998).

[2] A. Cavalleri *et al.*, Phys. Rev. Lett. **87**, 237401 (2001).

[3] A. V. Kimel, A. Kirilyuk, A. Tsvetkov, R.V. Pisarev *et al.*, Nature **429**, 850 (2004).

[4] M. Rini, R. Tobey, N. Dean, *et al.*, Nature **449**, 72 (2007).

[5] J. A. de Jong, I. Razdolski, A. M. Kalashnikova, R.V. Pisarev, A.M. Balbashov, *et al.* (*submitted*).

[6] A. V. Kimel, A. Kirilyuk, P. A. Usachev, R.V. Pisarev, *et al.*, Nature **435**, 655 (2005).

Магнитный резонанс спинов в квазидвумерном антиферромагнетике Cs_2CuCl_4 .

А.И.Смирнов¹, К.Ю. Поваров¹, О.А.Старых², А.Я. Шапиро³, С.В. Петров¹

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

² *Университет штата Юта*

³ *Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН*

Мы исследовали электронный спиновый резонанс в кристаллах квазидвумерного антиферромагнетика с искаженной треугольной решеткой Cs_2CuCl_4 в спин-жидкостном состоянии и в упорядоченной фазе в частотном диапазоне 9-140 ГГц и при температурах до 0.04 К. В спин-жидкостном состоянии (при температуре ниже температуры Кюри-Вейсса, но выше температуры Нееля) обнаружено формирование спиновой щели и расщепление линии магнитного резонанса на две компоненты. Неожиданное возникновение щели и расщепление линии магнитного резонанса при отсутствии параметра порядка объясняется модификацией континуума спионных возбуждений, обусловленной однородным взаимодействием Дзялошинского-Мории [1]. Данное взаимодействие является отличительной чертой спиновых цепочек, формирующихся во фрустрированной двумерной спиновой системе Cs_2CuCl_4 [2]. Однородное взаимодействие Дзялошинского-Мории создает эффективное поле, знак которого является различным для спинов, движущихся направо и налево. Это приводит к возникновению сдвига и расщеплению линии магнитного резонанса. Характерная зависимость интенсивности магнитного резонанса в

нулевом внешнем поле от поляризации микроволн относительно вектора Дзялошинского-Мории также подтверждает предложенный механизм модификации спектра магнитного резонанса [3]. При переходе в упорядоченную фазу при температуре Нееля 0.62 К и дальнейшем охлаждении магнитный резонанс спионного типа (дублет линий) сохраняется на частотах, по порядку величины соответствующих внутрицепочечному обменному интегралу ($h\nu \sim J$), в то время как на низких частотах ($h\nu \ll J$) формируются сигналы антиферромагнитного резонанса, соответствующего неколлинеарной планарной спиновой структуре. Описанные наблюдения обнаруживают новый тип магнитного резонанса, характерный для магнетиков со спионным континуумом возбуждений.

1. S. Gangadharaiah, J. Sun, O. A. Starykh, Phys. Rev. B **78**, 054436 (2008).
2. O. A. Starykh, H. Katsura, L. Balents, Phys. Rev. B **82**, 014421 (2010).
- 3 K.Yu. Povarov, A.I. Smirnov, O.A. Starykh, S.V. Petrov, A.Ya. Shapiro. Phys. Rev. Lett. **107**, 037204 (2011)