



МАГНИТНОЕ ОБЩЕСТВО

Магнитное общество – МООСМ "Магнитное Общество" – самостоятельная творческая профессиональная общественная организация, объединяющая на добровольных началах специалистов, связанных с решением научных, научно-технических и производственных задач магнетизма.

БЮЛЛЕТЕНЬ

Гл. редактор: проф. РАН А.П. Пятаков

ТОМ 20

май 2019 г.

№1-2

Настоящий номер содержит обзор по магнитоэлектрическим композитам на основе сплава железа и родия, традиционную подборку новостей магнетизма и сведения о конференциях по магнетизму и смежным дисциплинам, на которые еще открыт прием заявок.

Желаем успешного конференционного сезона и хорошего летнего отдыха!

МАГНИТИНФОРМ



23-27 сентября 2019 г. в Суздале будет проходить XXII Международная конференция по постоянным магнитам (МКПМ-2019), которая призвана обеспечить квалифицированное обсуждение на представительном форуме последних достижений в области научных исследований, производства, применения и сертификации магнитотвердых материалов.

Председатель оргкомитета - проф. А.С. Лилеев.

Регистрационный взнос конференции составляет **6500 руб.** (при регистрации до 15.06.2019) и **8500 руб.** (после 15.06.2019).

Для студентов и аспирантов регистрационный взнос уменьшен, соответственно, до **2000 руб.** (до 15.06.2019) и **2500 руб.** (после 15.06.2019).

После конференции присланные доклады будут опубликованы в научно-техническом журнале «Металловедение и термическая обработка», входящем в перечень ВАК и в десять международных систем цитирования.

Тезисы докладов (на русском и английском) должны быть представлены в Оргкомитет **до 15 июня 2019 г.** в строгом соответствии с инструкцией по оформлению тезисов на сайте <http://permanentmagnet.ru>.

The 8th International Workshop on Magnetic Wires

21-22 июля в Светлогорске (Калининградская область) в рамках конференции IVCМ-2019 будет проходить 8-ая Международная конференция по Магнитным Проволокам, ведущая свою историю с 1990 года, и проводившаяся до того в Великобритании, США, Японии, Испании и Турции.

Со-председатели программного комитета – проф. Аркадий Жуков (Университет Страны Басков, Сан-Себастьян) и проф. Manuel Vazquez, Институт наук о материалах, Мадрид.

В стоимость оргвзноса, составляющего 100 евро, помимо обычного конференционного пакета услуг, входит питание в течение двух дней проведения конференции.

Срок подачи тезисов истекает **31 мая 2019!**

Памяти А.Ф. Попкова

23 марта 2019 года скончался доктор физико-математических наук, профессор, член научного совета Магнитного Общества

Анатолий Федорович Попков.



А.Ф. Попков родился 4 июня 1946 г. в Омске, затем с семьёй переехал в г. Кимры. В 1969 г. окончил Факультет физической и квантовой электроники МФТИ, в качестве базовой кафедры он выбрал НИИ Физических проблем (НИИФП) в г. Зеленограде, с которым и связал свою научную деятельность на многие годы, пройдя с 1969 по 2008 год все ступени от инженера до в.н.с. и начальника лаборатории, защитив кандидатскую и докторскую (1989) диссертации. Дальнейшую преподавательскую и научную деятельность он продолжал в стенах МИЭТ, а последние два года в *alma mater* – МФТИ.

Круг его интересов охватывал как фундаментальные вопросы магнетизма (физика магнитных солитонов и микромагнитных структур), так и прикладные области: устройства памяти на цилиндрических магнитных доменах, микроволновая магнитная наноэлектроника и спинтроника. Он стал автором более 200 научных статей и учебного пособия «Физические основы магнетизма и спинового транспорта в устройствах магнитной электроники»

Анатолий Федорович стоял у истоков развития МАГО, принимая активное участие в его работе, и являясь руководителем целого ряда научных проектов, реализованных Магнитным Обществом. В последние годы, уже борясь с тяжелой болезнью, он продолжал работать, выдвигать новые идеи, подавая пример мужества и увлеченности своим делом.

Не только Магнитное общество, но и российская наука в целом потеряла выдающегося ученого, педагога и просто замечательного человека. Анатолий Федорович воспитал множество учеников (среди них 10 кандидатов наук) – ныне действующих ученых и оставил о себе добрую память среди коллег и друзей.

Друзья, коллеги, правление МАГО,
редакция Бюллетеня.

АКТУАЛЬНО

Магнитоэлектрические материалы на основе сплава FeRh

Сплавы железо-родия FeRh эквиатомного состава (с одинаковым или близким к одинаковому содержанием обоих элементов) – уникальный материал во всех отношениях. Ключевой особенностью FeRh является наличие фазового перехода первого рода из антиферромагнитной фазы в ферромагнитную (АФМ-ФМ) при увеличении температуры немного выше комнатной $T \sim 350$ К. Этот переход сопровождается существенной структурной перестройкой (объем кристаллической ячейки меняется на 1%), а также барокалорическим, гигантскими эластокалорическим и магнитокалорическим эффектами (адиабатическое уменьшение температуры при магнитном фазовом переходе составляет 13 К) [1]. Неудивительно, что этому материалу стали прочить большое будущее в разнообразных практических приложениях: твердотельных холодильных установках [2], в тепловой магнитной записи HAMR (heat assisted magnetic recording) [3] и магниторезистивной памяти (за счет изменения проводимости при магнитном фазовом переходе) [4], а также в медицинских имплантатах (ввиду близости точки перехода к температуре тела человека) [5], [6].

В последнее время появился целый ряд статей, посвященных магнитоэлектрическим свойствам пленок железо-родия [7]–[16] и даже специальный обзор на эту тему [17]. Неожиданным оказалось как само наличие в этих материалах магнитоэлектрического эффекта, так и его огромные величины: уже в первой работе на эту тему декларировался гигантский обратный магнитоэлектрический эффект $\mu_0 \Delta M / E \sim 10^{-5}$ с/м [7] (на шесть порядков превышающий таковой в классическом магнитоэлектрике Cr_2O_3).

Подноготная в подложке

Конечно, речь не идет о том, что проводящий сплав сам по себе является магнитоэлектрическим материалом или мультиферроиком. Во всех процитированных выше работах пленка FeRh находится на подложке из пьезоэлектрика: титаната бария BaTiO_3 [18], [7], [8], [10], [11] ниобата свинца-магния – титаната свинца (PMN-PT) [12]–[14] или цирконата-титаната свинца (ЦТС) [15], [16].

Такое сочетание из магнитных и пьезоэлектрических материалов характерно для магнитоэлектрических композитов, в которых электрическое напряжение, приложенное к

структуре, преобразуется в механическое напряжение пьезоэлектрика, а оно, в свою очередь, передается магнитному материалу, намагниченность которого чувствительна к механическим деформациям за счет явления магнитострикции [19].

Значит ли это, что магнитоэлектрические материалы на основе FeRh являются лишь разновидностью композитов из пьезоэлектриков и магнитострикторов?

Есть основания все же выделить магнитоэлектрические композиционные материалы с FeRh в отдельный класс, поскольку влияние механического напряжения на магнитный материал не сводится просто к обратной магнитострикции (эффекту Виллари): оно приводит к смещению точки фазового перехода АФМ-ФМ, в результате чего возникает возможность «включать и выключать» большую намагниченность ферромагнитной фазы FeRh (до 1000 Гс). Кроме того, нельзя сбрасывать со счетов и другой возможный механизм влияния на магнитный сплав его пьезоэлектрического соседа (который по совместительству является и сегнетоэлектриком), поскольку фазовый переход в FeRh сопровождается сильными изменениями электронной структуры. Значит, возможно и обратное воздействие: переключение электрической поляризации в сегнетоэлектрике приводит к насыщению или обеднению носителями заряда граничной области (интерфейса) между FeRh и сегнетоэлектриком, что влияет на обменное взаимодействие в сплаве. Поскольку толщина пленки FeRh в таких материалах, как правило, не превышает нескольких десятков нанометров, то влияние интерфейса может быть значительным.

Прямое действие электрического поля

Когда говорят о непосредственном воздействии электрического поля на электронные свойства проводника, то сразу задаются вопросом, какова характерная длина, на которой экранируется электрическое воздействие. Для FeRh она невелика – 0.3 нм. Малость этой величины по сравнению с толщиной пленки 20 нм и обменной длиной ферромагнитного FeRh (10 нм) заставила авторов [7], обнаруживших магнитоэлектрический эффект в структурах FeRh/BaTiO₃, предпочесть «дальнодействующий» сценарий управления фазовым переходом за счет деформации в слое железо-родия.

Тем не менее, идея о непосредственном воздействии электрического поля на магнитные состояния в сплаве не была оставлена окончательно: к ней возвращаются авторы теоретических работ [9], [11].

В качестве подложки в работе [9] рассматривается соединение MgO. Это выбор не случаен, поскольку кристаллическая решетка MgO практически идеально подходит к решетке FeRh (в отличие от ранее упомянутых перовскитов-сегнетоэлектриков) [17]. Вычисления электронной структуры металла из первых принципов показывают возможность электрического управления магнитной анизотропией: приложение напряжения 0.3 В между подложкой и поверхностью FeRh должно вызывать изменение магнитной анизотропии в антиферромагнитной фазе от легкоплоскостного состояния к легкоосновному. Важно отметить, что образец должен быть таким, чтобы верхний («терминирующий») слой в нем состоял из атомов железа, а не родия (во втором случае система оказывается маловосприимчива к электрическому воздействию) [9].

В работе корейского ученого D. Odkhuu предпринята попытка объяснить уже не только изменение анизотропии, но и механизм влияния на сам фазовый переход, при этом рассматривается ситуация, приближенная к экспериментальной: граница сплава с подложкой из титаната бария [11] (рис.1).

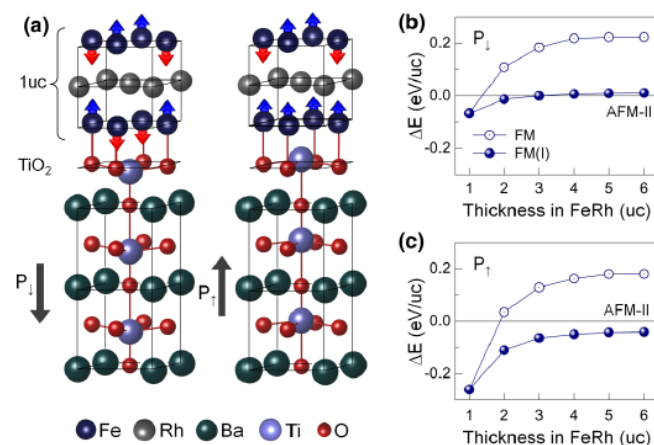


Рис. 1 Гипотетический механизм прямого воздействия электрического поля на магнитное состояние FeRh: а) вызванное переключением электрической поляризации смещение атома титана на границе раздела BaTiO₃ и FeRh приводит (за счет гибридизации d-орбиталей Fe и Ti) к переходу пограничного слоя в ферромагнитное состояние б) разница энергий между объемным и поверхностным ферромагнитными состояниями (FM и FM-I, соответственно) и антиферромагнитным состоянием G-типа (AFM-II) [11].

Как показывают расчеты энергии состояний из первых принципов (рис. 1 б, с) при электрической поляризации, направленной вверх, получает преимущество одна из ферромагнитных фаз FM(I), в которой, в отличие от полностью ферромагнитной фазы FM в ферромагнитном состоянии находится только граничный слой атомов железа. Впрочем, этот слой может оказать

сильное влияние и на последующие слои, если он вовлечет в ферромагнитное взаимодействие близлежащие атомы родия (рис. 1а, справа).

Подводя итог этой части, можно сказать, что эффект прямого короткодействующего влияния электрического поля на магнитный фазовый переход в FeRh может быть существенным в ультратонких пленках (толщиной порядка нанометра и меньше, когда количество атомных слоев ≤ 5), а в образцах, используемых большинства экспериментальных работ с толщинами 10-100 нм, этим влиянием можно пренебречь и на первый план выходят эффекты механической деформации

Ближе к практике

Каков бы ни был механизм воздействия электрического поля, приложенного к сегнетоэлектрической подложке, на магнитное состояние сплава — близкодействующее за счет обмена или дальнедействующее за счет механических деформаций, управление фазовым переходом АФМ-ФМ порождает целую россыпь электроиндуцированных эффектов, каждый из которых может иметь практические приложения. Так, в работе [13] демонстрируется обратный магнитоэлектрический эффект в виде управления величиной намагниченности пленки железо-родия за счет приложения электрического напряжения к подложке из ниобата свинца-магния – титаната свинца (PMN-PT). Скачки намагниченности (34% от начальной величины) наблюдаются при электрическом напряжении, соответствующем коэрцитивной силе сегнетоэлектрической подложки (рис.2). Как предполагают авторы [13] механизмом изменения намагниченности является смещение доменных границ между антиферромагнитной и ферромагнитной фазами в пленке. При этом, нетривиальным является факт изменения *средней величины* намагниченности образца, поскольку приложение положительного электрического напряжения способствует росту как ферромагнитных доменов с одним направлением намагниченности, так и противоположным (по вкладу в энергию анизотропии они неразличимы). Детальное изучение процесса роста ферромагнитной фазы с помощью методов рентгеновской спектроскопии магнитного циркулярного дихроизма и фотоэмиссионной электронной микроскопии (XMCD-PEEM) [13] свидетельствует о том, что на отдельных участках поверхности пленки микронных размеров имеет место *180-градусное переключение* намагниченности под действием электрического поля, что запрещено симметрией и представляет одну из главных проблем стрейнтроники [19]. Каким образом возникает такое нарушение симметрии еще предстоит разобраться, но сама

возможность электрической записи в магнитной ячейке, несомненно, интересна для применений в устройствах магнитной памяти.

Как показывают исследования российских ученых [16], композиты на основе FeRh с подложкой из ЦТС демонстрируют также и значительный электрический отклик на магнитное воздействие, т.е. прямой магнитоэлектрический эффект порядка 100 мВ/(см·Э).

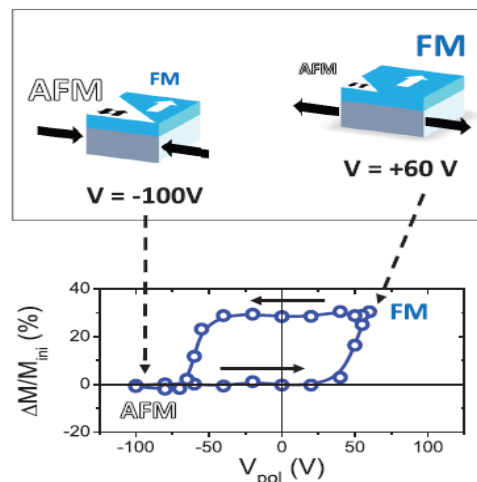


Рис. 2 Схематическое изображение процесса управления намагниченностью 50-нм пленки FeRh за счет передвижения границ ферромагнитной и антиферромагнитной фазы при деформации подложки из пьезоэлектрика, вызванной электрическим напряжением ± 60 В [13]

Электрическое управление фазовым переходом АФМ-ФМ позволяет не только получить рекордный магнитоэлектрический эффект, но и существенно улучшить магнитокалорические характеристики сплава железа родия [12], [15] (которые, напомним уже сами по себе выдающиеся). Действительно, поскольку приложение электрического поля сдвигает точку перехода, то такая дополнительная степень свободы позволяет растянуть рабочий диапазон температур, в которых наблюдается магнитокалорический эффект [12], и, тем самым, эффективно увеличить *хладоемкость* (refrigerant capacity) – важную характеристику магнитокалорического эффекта, пропорциональную площади под кривой изменения анизотропии от температуры (рис. 3). Это позволит создавать более эффективные устройства охлаждения, интегрированные в электронные схемы.

Наконец, электрическое воздействие, управляя фазовым переходом из антиферромагнитного состояния в ферромагнитное состояние, модулирует и проводимость сплава [20]. Так, в поле 2.2 кВ/см относительное изменение сопротивления составляет невероятные для металла 22%, что сравнимо с величинами гигантского магнитосопротивления, достигаемых в специальных многослойных структурах [21].

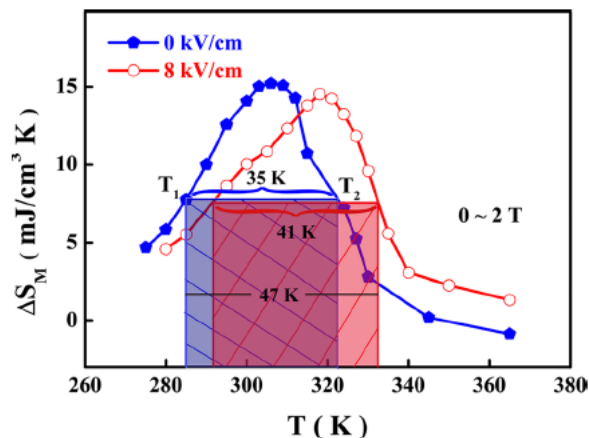


Рис. 3 Температурные зависимости изменения энтропии под действием поля 2 Тесла от рабочей температуры тройного сплава $(\text{FeRh})_{0.96}\text{Pd}_{0.04}$. Сдвиг кривой в поле 8кВ/см позволяет растянуть ширину полосы магнитокалорического эффекта до 47К.

В заключение стоит еще раз отметить важный момент: гетероструктуры из FeRh на сегнетоэлектрической подложке позволяют управлять точкой фазового перехода АФМ - ФМ без изменения химического состава сплава в режиме реального времени.

А.П. Пятаков

Литература

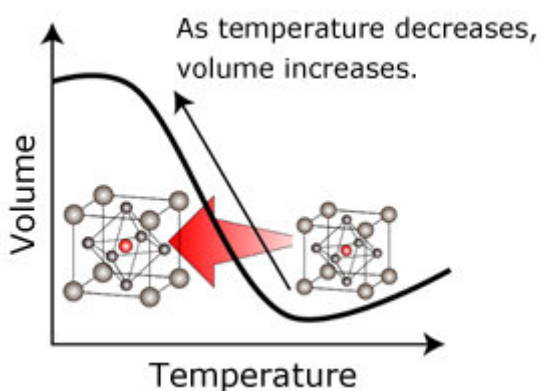
- [1] S. A. Nikitin, G. Myalikgulyev, A.M. Tishin, M.P. Annaorazov, K. A. Asatryan, and A. L. Tyurin, "The magnetocaloric effect in $\text{Fe}_{51}\text{Rh}_{49}$ compound," *Physics Letters A*, vol. 148, no. 6, pp. 363–366, 1990.
- [2] M. P. Annaorazov, K. A. Asatryan, G. Myalikgulyev, S. A. Nikitin, A. M. Tishin, and A. L. Tyurin, "Alloys of the Fe-Rh system as a new class of working material for magnetic refrigerators," *Cryogenics (Guildf.)*, vol. 32, pp. 867–872, 1992.
- [3] J.-U. Thiele, S. Maat, and E. E. Fullerton, "FeRh/FePt exchange spring films for thermally assisted magnetic recording media," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 82, no. 17, pp. 2859–2861, 2003.
- [4] X. Marti *et al.*, "Room-temperature antiferromagnetic memory resistor," *Nat. Mater.*, vol. 13, pp. 367–374, 2014.
- [5] A. M. Tishin, J. A. Rochev, and A. V. Gorelov, "Magnetic carrier and medical preparation for controllable delivery and release of active substances, methods of their production and methods of treatment using thereof," US9017713B2, 2016.
- [6] V. I. Zverev, A. P. Pyatakov, A. A. Shtil, and A. M. Tishin, "Novel applications of magnetic materials and technologies for medicine," *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 459, pp. 182–186, 2017.
- [7] R. O. Cherifi *et al.*, "Electric-field control of magnetic order above room temperature," *Nat. Mater.*, vol. 13, p. 345, 2014.
- [8] L. C. Phillips *et al.*, "Local electrical control of magnetic order and orientation by ferroelastic domain arrangements just above room temperature,"

- Sci. Rep.*, vol. 5, p. 10026, May 2015.
- [9] G. Zheng, S. H. Ke, M. Miao, J. Kim, R. Ramesh, and N. Kioussis, "Electric field control of magnetization direction across the antiferromagnetic to ferromagnetic transition," *Sci. Rep.*, vol. 7, p. 5366, Dec. 2017.
- [10] J. D. Clarkson *et al.*, "Hidden Magnetic States Emergent under Electric Field, in A Room Temperature Composite Magnetoelectric Multiferroic," *Sci. Rep.*, vol. 7, p. 15460, Dec. 2017.
- [11] D. Odkhuu, "Electric control of magnetization reorientation in FeRh/BaTiO₃ mediated by a magnetic phase transition," *Phys. Rev. B*, vol. 96, p. 134402, Oct. 2017.
- [12] Q. B. Hu *et al.*, "Electric field tuning of magnetocaloric effect in $\text{FeRh}_{0.96}\text{Pd}_{0.04}/\text{PMN-PT}$ composite near room temperature," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 110, p. 222408, May 2017.
- [13] I. Fina *et al.*, "Reversible and magnetically unassisted voltage-driven switching of magnetization in FeRh/PMN-PT," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 113, p. 152901, Oct. 2018.
- [14] Y. Xie *et al.*, "Electric field control of magnetic properties in FeRh/PMN-PT heterostructures," *AIP Adv.*, vol. 8, p. 055816, May 2018.
- [15] A. A. Amirov, A. S. Starkov, I. A. Starkov, A. P. Kamantsev, and V. V. Rodionov, "Electric field controlled magnetic phase transition in $\text{Fe}_{49}\text{Rh}_{51}$ based magnetoelectric composites," *Lett. Mater.*, vol. 8, pp. 353–357, 2018.
- [16] A. A. Amirov, V. V. Rodionov, V. Komanicky, V. Latyshev, E. Y. Kaniukov, and V. V. Rodionova, "Magnetic phase transition and magnetoelectric coupling in FeRh/PZT film composite," *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 479, pp. 287–290, 2019.
- [17] Z. Feng, H. Yan, and Z. Liu, "Electric-Field Control of Magnetic Order: From FeRh to Topological Antiferromagnetic Spintronics," *Adv. Electron. Mater.*, vol. 5, p. 1800466, 2019.
- [18] I. Suzuki, M. Itoh, and T. Taniyama, *Elastically controlled magnetic phase transition in Ga-FeRh/BaTiO₃ (001) heterostructure*, vol. 104. 2014.
- [19] Ю. К. Ф. А.А. Бухараев, А.К. Звездин, А.П. Пятаков, "Стрейнтроника — новое направление микро-, наноэлектроники и науки о материалах," *Успехи физических наук*, vol. 188, no. 12, pp. 1288–1330, 2018.
- [20] Y. Lee *et al.*, "Large resistivity modulation in mixed-phase metallic systems," *Nat. Commun.*, vol. 6, p. 5959, Jan. 2015.
- [21] Z. Q. Liu *et al.*, "Full Electroresistance Modulation in a Mixed-Phase Metallic Alloy," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 116, p. 097203, 2016.

НОВОСТИ МИРОВОГО МАГНЕТИЗМА

Механизм отрицательного теплового расширения

Оказывается, вода — далеко не единственная среда, в которой наблюдается аномальное тепловое расширение вблизи фазового перехода. Похожим свойством обладают некоторые антиферромагнетики ниже точки Нееля, например, перовскиты с инвертированной структурой, в которой октаэдры образуются не ионами кислорода, а магнитными ионами марганца (см. рис.), в центре же октаэдра располагается ион азота.



Аномальный ход зависимости объема кристаллической ячейки от температуры ниже точки Нееля в перовските Mn_3ZnN

Как показали теоретические расчеты японских ученых из Университета Аояма Гакуин, такое строение приводит к немонотонной функции зависимости обменного взаимодействия от температуры: ферромагнитный вклад убывает с расстоянием между атомами быстрее, чем антиферромагнитный. Следовательно, новые материалы, работающие при комнатных температурах, также нужно искать среди магнитных сред с конкурирующими обменными взаимодействиями. Такие материалы можно использовать для компенсации теплового расширения, там, где оно является нежелательным фактором, например в электронных микросхемах.

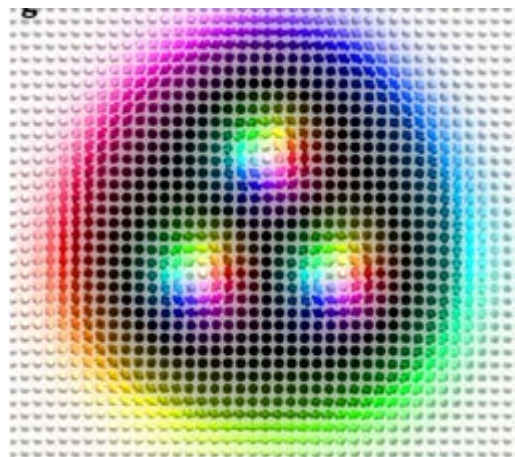
M. Kobayashi, M. Mochizuki, Theory of magnetism-driven negative thermal expansion in inverse perovskite antiferromagnets, *Phys.Rev. Materials*, **3**, 024407(2019).

27 марта 2019/ Новостной сайт Phys.org



Грузите скирмионы мешками!

О скирмионах — наноразмерных вихрях намагниченности не раз писалось на страницах Бюллетеня. Они рассматриваются в настоящее время как элементы будущих устройств компьютерной памяти, воплощая на новом технологическом витке идеи устройств на цилиндрических магнитных доменах.



Численная модель распределения намагниченности в «мешке»

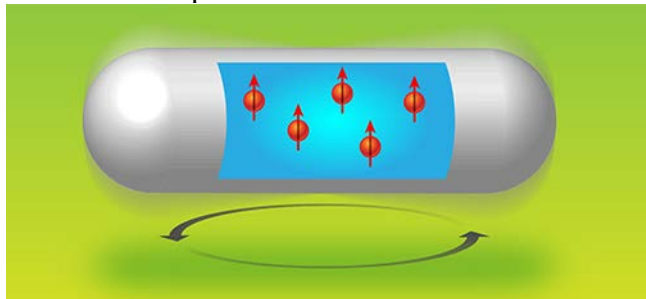
Ранее концепции скирмионной памяти предполагала передвижение «поездов» из скирмионов вдоль трека — магнитной нанопроволоки. В работе ученых из Университетов Бирмингема, Бристолья и Колорадо предлагается упорядочивать скирмионы в более крупные структуры, которые они называют «мешками». Эти структуры стабильны и могут быть представлены как определенное количество антискирмионов внутри большого скирмиона. Наличие таких структур авторам удалось подтвердить экспериментально в нематических жидких кристаллах (в виде неоднородных молекулярных структур), подкрепив этот результат микромагнитным моделированием соответствующих конфигураций в магнитной среде. Как показывает моделирование, такие мешки будут взаимодействовать друг с другом и реагировать на внешние воздействия (например, спинового тока) как одиночные скирмионы.

B. David Foster et al, Two-dimensional skyrmion bags in liquid crystals and ferromagnets, *Nature Physics* (2019)
DOI: 10.1038/s41567-019-0476-x

17 апреля 2019/ IOP
Physicsworld.com

Намагничивание ядер вращением

Фундаментальная связь между спином электрона и вращением тела как целого была продемонстрирована в опыте Барнетта более 100 лет назад – быстро вращающийся железный стержень намагничивался.



Эффект Барнетта для ядер: вращение полого стержня с водой приводит к поляризации спинов ядер водорода. NB: На чертеже эксперимента приведенном в [1] ось вращения направлена вдоль длинной оси цилиндра.

Исследователям из Нью-Йоркского Университета удалось продемонстрировать такой же эффект, но уже для ядерных спинов, которые на три порядка меньше, чем электронные, вследствие относительно большой массы протона. Для этого пришлось вращать стержень со скоростью превышающей десяток тысяч оборотов в секунду! Наведенная вращением намагниченность измерялась по сигналу ЯМР. Примечательно, что изменение амплитуды ЯМР, вызываемое вращением, не сопровождается сдвигом линии резонанса, что согласуется с теорией (согласно которой возникновение добавочной «вращательной» намагниченности не означает наличия реального магнитного поля внутри образца), а заодно позволяет исключить паразитный эффект за счет какого-то внешнего поля (например, от вращающихся деталей, намагнитившихся вследствие классического «электронного» эффекта Барнетта).

Любопытно, что изначальной мотивацией исследователей было повышение контраста в ЯМР диагностике тканей мозга. Проект был закрыт, а ученые не успокоились...

[1]Mohsen Arabgol and Tycho Sleator, Observation of the Nuclear Barnett Effect, *Phys. Rev. Lett.* **122**, 177202 (2019)

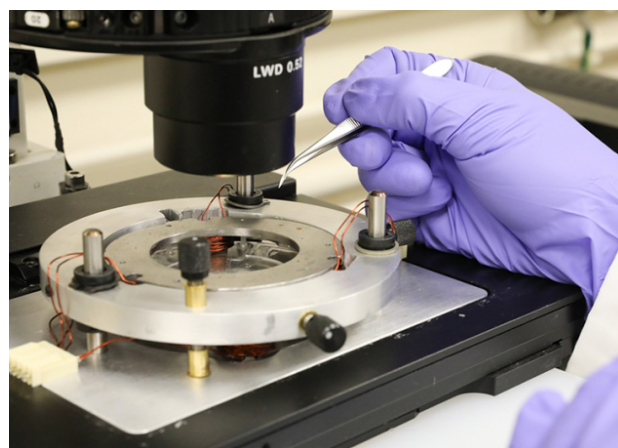
2 мая 2019/ Онлайн-журнал Physics.aps.org

Physics

Магнитный нанобатискаф

Инженеры-исследователи из Университета Торонто создали систему магнитных «пинцетов» которые могут ввести нанобота в живую клетку тканей человека и управлять его положением в ней.

Обычно для подобных целей используют оптические пинцеты – метод, за разработку которого была дана Нобелевская премия по физике прошлого года. Однако этот подход не позволяет развить достаточную силу, действующую на зонд, без повреждения мембраны и внутренней структуры клетки. С этой задачей справляется система из шести магнитных катушек размещенных вокруг покровных стекол. Магнитный зонд размером 700 нм, размещенный на покровном стекле, под действием магнитного поля отделяется от подложки и проникает внутрь клетки.



Магнитный пинцет, в отличие от обычного, в руки не возьмешь.

Положение нанобота внутри клетки ученые контролируют с помощью системы обратной связи на основе конфокального микроскопа с точностью до 400 нм, близкой к величине броуновских флуктуаций. Действуя на ядро клетки с силой, меняющейся от нуля до 60 пикоНьютонов (с шагом в 4 пН) ученые смогли обнаружить анизотропию упругих свойств ядра клетки, а также изменение жесткости при длительном воздействии.

X. Wang et al, Intracellular manipulation and measurement with multipole magnetic tweezers, *Science Robotics*, **4**, Issue 28, eaav6180, DOI: 10.1126/scirobotics.aav6180

13 марта 2019/ Сайт Университета Торонто



Конференции и школы по магнетизму 2019 года, открытые для регистрации

Даты проведения (дедлайн)	Название конференции	Место проведения, (сумма оргвзноса)	Контактная информация
21-22 августа (25 мая)	24th Soft Magnetic Materials Conference	Познань, Польша (490€)	https://www.ifmpan.poznan.pl/smm24
15-18 сентября (28 мая)	7th European Conference on Molecular Magnetism 2019 (ECMM2019)	Флоренция, Италия (400€)	http://www.ecmm2019.org
12-15 ноября (29 мая)	Molecular Electro-Opto-Spintronics	Майнц (200€)	https://www.spice.uni-mainz.de/electro-opto-2019-home
21-22 августа (31 мая)	The 8th International Workshop on Magnetic Wires (IWMW 2019)	Светлогорск (100 €)	http://lnmm.ru/ibcm_2019/iwmw-2019
24-27 сентября (31 мая)	Мультиферроики: получение, свойства, применение	Витебск (\$170)	http://mfpa2019.itanas.by/ru
8-12 июля (1 июня)	V International Workshop Dzyaloshinskii-Moriya Interaction and Exotic Spin Structures	Петрозаводск (17500 Р)	https://oiks.pnpi.spb.ru/events/DMI-2019
23-27 сентября (15 июня)	XXII Международная Конференция по постоянным магнитам	Суздаль (6500 Р)	https://permanentmagnet.ru
12-15 ноября (15 июня)	Novel Electronic and Magnetic Phases in Correlated Spin-Orbit Coupled Oxides	Майнц (200€)	https://www.spice.uni-mainz.de/novel-electronic-2019-home
4-8 ноября (21 июня)	Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials	Лас-Вегас, США	https://magnetism.org
22-28 октября (8 июля)	9th International Advances in Applied Physics & Materials Science Congress & Exhibition	Олюдениз, Турция (800 €)	http://www.apmascongress.org
29 октября-1 ноября (29 июля)	12th International Conference on Ferites (ICF 12)	Бостон, США	http://www.icf12boston.com
20-25 октября	International Workshop "Spintronics 2019"	Куско, Перу (\$650)	http://spinphys.riken.jp/workshop/spinperu



Выпуск подготовлен при поддержке компании ООО «Полимагнит» — одного из ведущих поставщиков магнитных материалов и технологий на российском рынке. Сайт компании: <http://www.amtc.ru>

Редколлегия:

Главный редактор: А.П. Пятаков

Научные редакторы: В.А. Сеин, М.П. Шорыгин, А.М. Тишин

Худ. редактор и корректор: З.А. Пятакова

Информация для авторов: редакция Бюллетеня осуществляет быструю публикацию информации, представляющей значительный интерес для членов общества. Работы просьба присылать по электронному адресу редакции: bulletin.mago@gmail.com Редакция осуществляет рецензию полученных работ и оставляет за собой окончательное решение об их публикации в Бюллетене.

Электронный архив бюллетеня расположен на сайте: <http://www.amtc.ru/news/bulluten>