



Гл. редактор: А.П. Пятаков

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

ТОМ 14

сентябрь 2013 г.

№3

Начало осени оказалось "урожайным" на магнитные конференции. Настоящий номер Бюллетеня приурочен к трем конференциям: XIX Международной конференции по постоянным магнитам (МКПМ-2013, Суздаль), проходящей при информационной поддержке МАГО, к Пятому евро-азиатскому симпозиуму "Trends in Magnetism" (EASTMAG 2013, Владивосток) и к Международной конференции по функциональным материалам (ICFM-2013, Партенит, Украина). Желаем участникам интересного и плодотворного общения!

Поздравляем юбиляра!

30 июля 2013 года президенту Магнитного Общества профессору Анатолию Константиновичу Звездину исполнилось 75 лет!



А.К. Звездин – один из самых известных и авторитетных ученых в области магнетизма, пользующийся широким признанием в России и за рубежом.

А.К. Звездин родился в 1938 году Свердловске, где в 1961 году окончил Уральский Государственный Университет имени М. Горького. Дальнейшая научная биография А.К. Звездина связана с работой в таких научных центрах, как НИИ физ. проблем в Зеленограде, Проблемная лаборатория магнетизма МГУ, Институт Общей Физики РАН и др. Он работал по приглашению во многих научных институтах и

университетах мира: Италии, Франции, Англии, Испании, Бельгии, США, Бразилии. Столь же разнообразны научные интересы Анатолия Константиновича: наномагнетизм, спинтроника, магнитооптика, магнитоэлектрические явления, магнитные молекулярные кластеры. Работы А.К. Звездина по редкоземельному магнетизму получили высокую оценку: в 1984 году А.К. Звездину с коллективом авторов присуждена Государственная премия СССР в области науки и техники. В настоящее время научная группа А.К. Звездина работает над решением актуальных вопросов спинтроники, физики мультиферроиков и магнитоплазменных кристаллов. Основные результаты исследований опубликованы в вышедших за последние четыре года семи статьях группы журналов *Nature*.

А.К. Звездин воспитал множество учеников – докторов и кандидатов наук, работающих в ведущих лабораториях мира. А.К. Звездиным опубликовано более 300 работ в ведущих российских и зарубежных научных журналах, издано несколько монографий, среди которых «Редкоземельные ионы в магнитоупорядоченных кристаллах», «Магнитооптика тонких пленок», «Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках», «Modern Magneto-optics and Magneto-optical Materials», а также научно-популярные книги и статьи. Написанные по-научному строго и в то же время доступным языком, они оказывают неоценимую помощь при подготовке молодых специалистов.

“Магнитное общество” вместе со всем магнитным сообществом России от всей души поздравляет Вас, глубокоуважаемый Анатолий Константинович, с юбилеем, желает крепкого здоровья, сохранения присущей Вам творческой энергии и достижения новых научных успехов!

МАГНИТИНФОРМ**АКТУАЛЬНО****Скирмионы – новый тип магнитных объектов**

Оргкомитет XIV Всероссийской школы-семинара по проблемам физики конденсированного состояния вещества (СПФКС-14), которая пройдет с 20 по 26 ноября 2013 года в Екатеринбурге, приглашает к участию в работе школы.

Основные организаторы школы - Институт физики металлов УрО РАН при участии Института теплофизики и электрофизики УрО РАН и Уральского федерального университета имени Б.Н. Ельцина.

Тематика школы-семинара:

- Магнитные явления •
- Фазовые переходы и критические явления •
- Проводимость и транспортные явления •
- Резонансные явления •
- Структурные и механические свойства твёрдых тел •
- Неразрушающий контроль •
- Теплофизика •
- Электрофизика •
- Наноматериалы •
- Физика низких температур •
- Оптика и спектроскопия •
- Теория конденсированного состояния •
- Биофизика •

Программа конференции предусматривает лекции ведущих ученых РФ, устные и стендовые доклады участников. Сборник тезисов школы имеет номер ISSN. Планируется проведение конкурсов на лучший студенческий доклад. Лучшие работы будут опубликованы в журнале "Известия РАН. Серия физическая".

Последний срок подачи тезисов – **20 сентября 2013 года**. Открытие школы – **20 ноября 2013 года**.

Официальный сайт школы <http://smu.imp.uran.ru/spfks>.

Контактный e-mail: spfks@imp.uran.ru.

Топологические структуры, названные в честь английского физика Тони Скирме, рассматривавшего особый тип вихрей для объяснения свойств пимезонов, внезапно стали актуальными в теории конденсированного состояния вещества и магнитоупорядоченных сред. А.Н. Богдановым и др. [1-3] было предсказано существование подобных топологических структур (рис.1) в кристаллах без центра симметрии. Интерес к скирмионам подогревается сообщениями об их необычных электродинамических свойствах, в частности, перемещении под действием электрического тока, что может найти практические приложения в спинтронике.

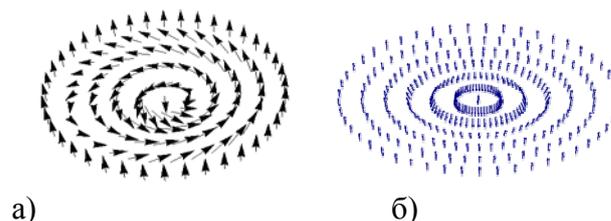


Рис. 1 Различные типы магнитных скирмионов: а) с разворотом намагниченности в касательной плоскости б) с разворотом в радиальной плоскости

Наблюдение скирмионов

Долгие годы скирмионы не удавалось обнаружить, но в последнее время появились сообщения, в которых с помощью дифракции нейтронов была зарегистрирована некая новая фаза магнитного упорядочения, возникающая при приложении внешнего постоянного магнитного поля в веществах $MnSi$ и $Fe_{12-x}Co_xSi$ [4,5]. Эта фаза могла быть интерпретирована как решетка вихрей. Впрочем, одно дело наблюдать дифракционную картину, другое дело — непосредственно увидеть отдельные вихри

и процесс их зарождения. Это удалось сделать с помощью лоренцевской просвечивающей электронной микроскопии (рис. 2 а, б) [6].

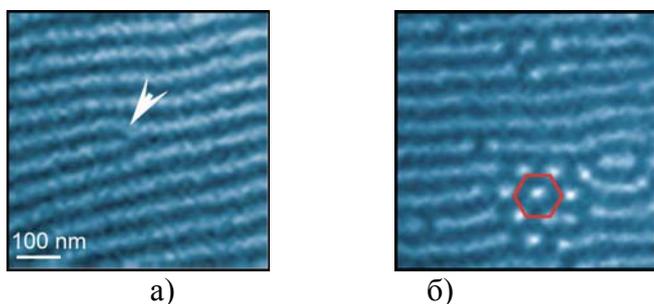


Рис. 2

а) полосовая геликоидальная спиновая структура, спонтанно образующаяся в $Fe_{0.5}Co_{0.5}Si$ (стрелкой показана дислокация)

б) появление гексагональной решетки вихрей во внешнем поле 20 миллиТесла (элементарная ячейка показана красным цветом) [6].

Внешне зарождение скирмионов очень напоминает образование решетки цилиндрических магнитных доменов (ЦМД) в классическом микромагнетизме: в изначальной полосовой структуре (рис. 2 а) зарождается область с гексагональной упаковкой (рис. 2 б). Однако на характерных размерах вихря (~100 нм) уже нет смысла говорить о доменах и границах между ними. Различаются также и причины образования ЦМД и скирмионов: домены возникают вследствие магнитостатического диполь-дипольного взаимодействия, причиной же появления вторых является неоднородное взаимодействие Дзялошинского [2].

Узелок завяжется, узелок развяжется...

Скирмион как топологический объект представляет собой устойчивое образование, подобно завязанному узелку. Однако внешним воздействием с помощью зонда магнитного силового микроскопа становится возможным зарождение, а также слияние скирмионов [7,8]. Последнее сопровождается образованием нетривиальных спиновых конфигураций, в

частности, магнитного монополя. Чтобы сделать топологическую структуру более понятной читателю, авторы [7] прибегают к образу застёжки типа «молнии», расположив изображения различных стадий процесса слияния скирмионов одно под другим (рис. 3 а).

Магнитные скирмионы интересны не только в фундаментальном аспекте: от них ожидают сильного воздействия на спиновый ток, протекающий через них, что можно использовать в магнитной памяти и спинтронных транзисторах [9]. Электрон, движущийся сквозь скирмион, несколько раз меняет спиновую ориентацию, подстраивая ее под локальное распределение намагниченности, в результате чего на него действует эффективная сила, изменяющая направление его движения (рис. 3 б), что макроскопически должно проявляться как разновидность эффекта Холла.

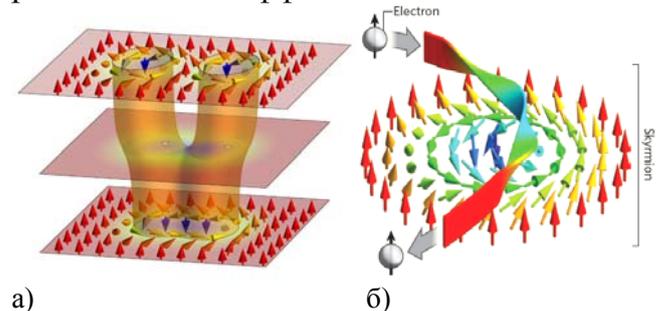


Рис. 3 Скирмионы как топологические структуры:

а) образование монополя в момент слияния двух скирмионов (сверху вниз показаны различные стадии процесса) [8]

б) Эффективная «топологическая» сила, действующая на электрон, движущийся сквозь скирмион [9].

Скирмионы выходят на старт

Особые надежды возлагают на использование скирмионов в спиновой электронике. Одна из популярных в настоящее время концепций, называемая трековой памятью (race track memory, дословно «память на беговой дорожке»), основана на движении доменных границ вдоль нанопроволоки [10]. Однако

управление доменными границами с помощью спинового тока предполагает высокие значения его плотности (10^6 - 10^7 А/см²), что приводит к износу элементов памяти. В то же время плотности токов, необходимые для приведения в движение скирмионов (критическая плотность тока депиннинга), в десятки тысяч раз меньше. Другим их достоинством является то, что расстояния между скирмионами можно сделать предельно малыми – единицы нанометров, в то время как расстояние между доменными границами определяется минимальным размером доменов, составляющим значения десятки нанометров. Высокая плотность упаковки скирмионов позволит существенно повысить скорость записи/считывания информации даже при малых скоростях движения самих скирмионов [11] (дело в том, что, несмотря на различие критических плотностей токов депиннинга для скирмионов и доменных стенок, скирмионы не отличаются большей подвижностью по сравнению со стенками).

...а лучше и вовсе без тока

Поскольку появились сообщения об обнаружении скирмионных состояний в магнитных диэлектриках и мультиферроиках [12,13], естественным образом возник вопрос о возможности управления скирмионами, вовсе не прибегая к действию токов – с помощью электрического поля.

Исследование воздействия электрического поля на решетку скирмионов в Cu_2OSeO_3 проводилось методом малоуглового рассеяния нейтронов, поскольку период модуляции спиновой структуры намного превосходил длину волны излучения. В результате дифракции нейтронов получается характерная дифракционная картина (рис. 4 а), соответствующая решетке скирмионов, зарождающейся в магнитном поле, перпендикулярном плоскости решетки.

Если зарождение решетки происходит не только в магнитном, но и

электрическом поле, то ориентация решетки изменяется, что проявляется в азимутальном смещении дифракционных пиков (рис. 4 б). Смещение прямо пропорционально приложенному электрическому полю и достигает заметных величин в десятые градуса уже в полях порядка 1 кВ/см.

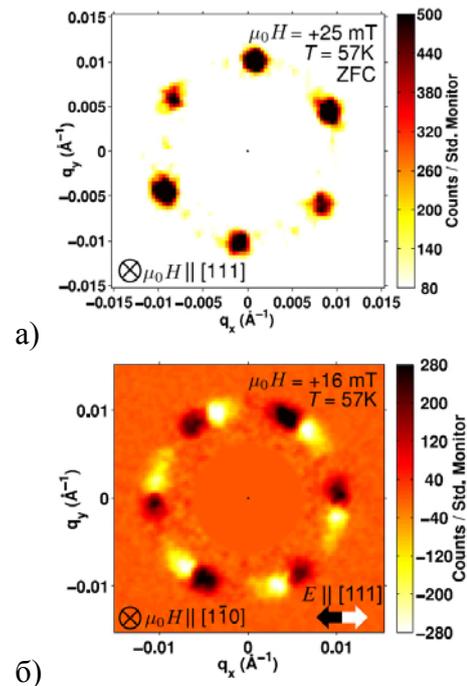


Рис. 4 Дифракционные картины от решеток скирмионов

а) гексагональная симметрия решетки скирмионов, образующихся в магнитном поле смещения

б) разностный кадр между дифракционными узорами от решеток скирмионов, образовавшихся в одновременно приложенных магнитных и электрических полях (черный и белый цвет обозначает, соответственно, положение пиков в электрическом поле, направленном налево и направо) [14].

Поскольку управление скирмионами в диэлектриках с помощью электрического поля, в отличие от управления с помощью токов в металлах, не сопровождается омическим потерями, то данное явление может представлять интерес для индустрии сверхплотной магнитной памяти.

Однако, говоря о практическом применении скирмионов, не следует забывать о температурных ограничениях: пока скирмионы наблюдаются при температурах не выше 250 К. Впрочем, расчеты предсказывают, что в пленках железа скирмионы могут быть стабильны и при комнатных температурах [15].

А. Пятаков

Литература

- [1] A.N. Bogdanov, D.A. Yablonski, *Thermodynamically stable "vortices" in magnetically ordered crystals. The mixed state of magnets*, JETP, **68**, 101 (1989).
- [2] A. N. Bogdanov, U. K. Rößler, M. Wolf, and K.-H. Müller, *Magnetic structures and reorientation transitions in noncentrosymmetric uniaxial antiferromagnets*, Phys. Rev. B **66**, 214410 (2002)
- [3] U. K. Rössler, A. N. Bogdanov, C. Pfleiderer, *Spontaneous skyrmion ground states in magnetic metals*, Nature, **442**, 797 (2006)
- [4] S. Mühlbauer, B. Binz, F. Jonietz, C. Pfleiderer, A. Rosch, A. Neubauer, R. Georgii, P. Böni, *Skyrmion Lattice in a Chiral Magnet*, Science, **323**, 915 (2009).
- [5] W. Münzer, A. Neubauer, T. Adams, S. Mühlbauer, C. Franz, F. Jonietz, R. Georgii, P. Böni, B. Pedersen, M. Schmidt, A. Rosch, and C. Pfleiderer, *Skyrmion lattice in the doped semiconductor $Fe_{1-x}Co_xSi$* , Phys. Rev. B **81**, 041203(R) (2010).
- [6] X. Z. Yu, Y. Onose, N. Kanazawa, J.H. Park, J. H. Han, Y. Matsui, N. Nagaosa, & Y. Tokura, *Real-space observation of a two-dimensional skyrmion crystal*, Nature, **465**, 901 (2010)
- [7] P. Milde, D. Köhler, J. Seidel, L. M. Eng, A. Bauer, A. Chacon, J. Kindervater, S. Mühlbauer, C. Pfleiderer, S. Buhrandt, C. Schütte, A. Rosch, *Unwinding of a Skyrmion*

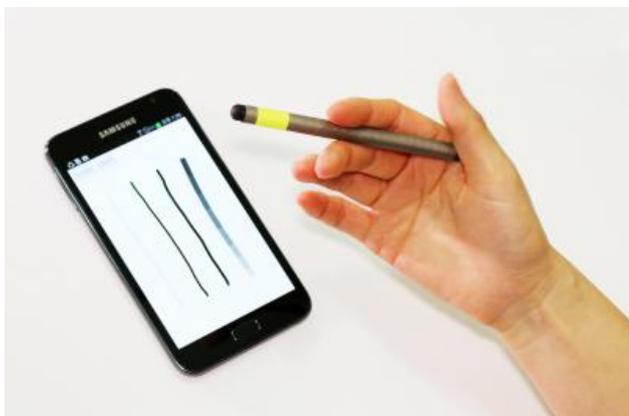
Lattice by Magnetic Monopoles, Science **340**, 1076-1080 (2013)

- [8] Niklas Romming, Christian Hanneken, Matthias Menzel, Jessica E. Bickel, Boris Wolter, Kirsten von Bergmann, André Kubetzka, Roland Wiesendanger, *Writing and Deleting Single Magnetic Skyrmions*" **341**, 636-639 (2013)
- [9] Ch. Pfleiderer, Ach. Rosch, *Condensed-matter physics: Single skyrmions spotted*, Nature, **465**, 880
- [10] S.S. P. Parkin, M. Hayashi, L. Thomas, *Magnetic Domain-Wall Racetrack Memory*, Science, **320**, 190-194 (2008)
- [11] A. Fert, V. Cros, J. Sampaio, *Skyrmions on the track*, Nature Nanotechnology, **8**, 153 (2013)
- [12] S. Seki, X. Z. Yu, S. Ishiwata, Y. Tokura, *Observation of Skyrmions in a Multiferroic Material*, Science, **336**, 198 (2012).
- [13] S. Seki, S. Ishiwata, and Y. Tokura, *Magnetoelectric nature of skyrmions in a chiral magnetic insulator Cu_2OSeO_3* , Phys. Rev. B, **86**, 060403(R) (2012)
- [14] J. S. White, I. Levatić, A. A. Omrani, N. Egetenmeyer, K. Prša, I. Živković, J. L. Gavilano, J. Kohlbrecher, M. Bartkowiak, H. Berger and H. M. Rønnow, *Electric field control of the skyrmion lattice in Cu_2OSeO_3* , J. Phys.: Condens. Matter, **24** 432201 (2012)
- [15] Stefan Heinze, Kirsten von Bergmann, Matthias Menzel, Jens Brede, André Kubetzka, Roland Wiesendanger, Gustav Bihlmayer, & Stefan Blügel, *Spontaneous atomic-scale magnetic skyrmion lattice in two dimensions*, Nature Phys., **7**, 718 (2011)

ЗАРУБЕЖНЫЕ ЖУРНАЛЫ И САЙТЫ

Магнитный стилус для смартфонов

В каждом смартфоне и мобильном приборе интегрированы средства обнаружения положения, а значит, есть встроенные магнетометры. Этим воспользовались исследователи из корейского физико-технического института (KAIST) для разработки нового вида интерфейса – с использованием магнитного стилуса.



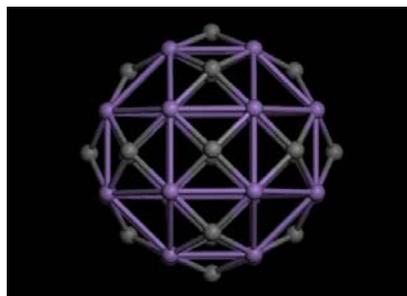
Помимо обычных преимуществ в функционале стилуса по сравнению с пальцевым вводом, магнитный стилус позволяет смартфону проявить ряд «сверхспособностей»: чувствовать направление, в котором указывает стилус, а также реагировать на вращение стилуса, что резко расширяет «жестовый репертуар» пользователя, ничего не изменяя в устройстве самого смартфона. Так, вращая стилус можно регулировать ширину линии или превращать перо в ластик.

4 июня 2013/ Новостной сайт Phys.org



Магнитный родственник фуллерена

В семействе углеродных материалов ждут пополнения: фуллереноподобных кластеров с магнитными свойствами.

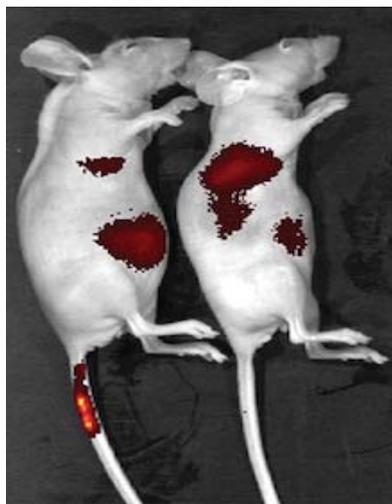


Как теоретически показали ученые из Университета Содружества Виргинии (Ричмонд, США), такие молекулы соединений углерода и переходных металлов, как Co_{12}C_6 , Mn_{12}C_6 , $\text{Mn}_{24}\text{C}_{18}$ имеют форму полуправильных многогранников. Молекулярный кластер фуллерена C_{60} , имеющий форму усеченного икосаэдра (большой части населения планеты известной по раскраске футбольного мяча), также относится к одному из классов полуправильных многогранников (архимедовых тел), однако в отличие от новоизобретенных молекул, магнитными свойствами не обладает. Наличие у последних большого магнитного момента (например, $\text{Mn}_{24}\text{C}_{18}$ имеет магнитный момент 70 магнетонов Бора) позволяет осуществлять адресную доставку лекарственных препаратов с помощью магнитного поля, что не позволяли делать контейнеры из фуллеренов.

[1] Menghao Wu and Puru Jena, J. Chem. Phys. **139**, 044301 (2013).

Транспортировка стволовых клеток с помощью магнита

Наночастицы оксида железа широко используются в медицине как контрастный агент в магниторезонансной томографии. Также ведутся активные исследования перспектив их использования для локального нагрева тканей и доставки лекарств в терапевтических целях. Американские исследователи нашли наночастицам оксида железа новое применение – транспортировка стволовых клеток для регенерации поврежденных тканей [1].



а) б)

Рис. 1 Локализация стволовых клеток, маркированных флуоресцентными метками, в теле крысы: а) после прикладывания магнита к основанию хвоста

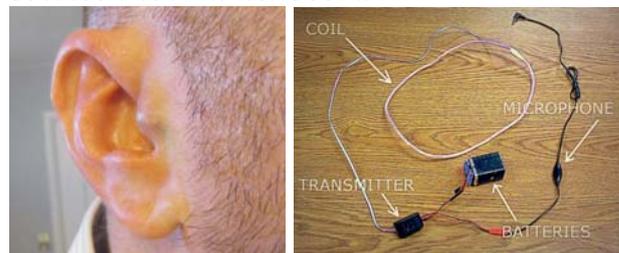
б) в отсутствие магнита введенные клетки оказываются в легких и печени.

Частицы с ядром из оксида железа диаметром 15 нм и оболочкой из этиленгликоля имеют свойство накапливаться в клеточных лизосомах (органеллах клетки, ответственных за переработку отходов) и сохранятся в них длительное время (одна клетка может аккумулировать в себе до 1.5 миллиона таких частиц). Как показывают тесты, жизнеспособность клеток, а также специфические свойства стволовых клеток, не меняются от таких примесей. В то же время они позволяют перемещать клетки с помощью магнитного поля. Первые эксперименты на крысах, которым путем внутривенной инъекции запускались в кровотоки нашпигованные магнитными наночастицами стволовые клетки, показывают, что с помощью магнита значительную часть клеток удается локализовать (например, в основании хвоста, рис.1 а), в то время как без магнита частицы оказывались в основном в печени и легких (рис. 1 б).

1. Landázuri N, Tong S, Suo J, Joseph G, Weiss D, Sutcliffe DJ, Giddens DP, Bao G, Taylor WR., *Magnetic Targeting of Human Mesenchymal Stem Cells with Internalized Superparamagnetic*

Iron Oxide Nanoparticles, Small, doi: 10.1002/sml.201300570

Магнитные имплантаты расширяют возможности человека



а) б)
Рис. 1 а) Ухо человека с внедренным многофункциональным имплантатом
б) Электронные устройства, связанные с имплантатом

34-летний житель штата Юта Ричард Ли, имплантировав в ушные хрящи магниты (рис. 1 а), приобрел сверхспособности – воспринимать с помощью ушей не только звуки, но и переменное магнитное поле.

Магниты на основе сплава неодима покрыты слоем золота и заключены в биосовместимую оболочку для предотвращения отторжения имплантатов. Источником поля служит ожерелье из медной проволоки, снабженное источником питания, усилителем, микрофоном, аудиоразъемом (последний позволяет воспринимать сигнал от портативных устройств непосредственно, минуя наушники и динамики). Микрофон Ричард может использовать не только по прямому назначению, но и как стетоскоп, научившись синхронизировать свое сердцебиение с сердечным ритмом жены.

Вся эта затея могла бы показаться блажью, если бы не суровая необходимость, толкнувшая обладателя имплантата на этот шаг: Ричард постепенно теряет зрение, и он рассчитывает частично компенсировать этот изъян, научившись эхолокации – как это умеют делать летучие мыши.

Новостной сайт <http://www.popsci.com>

POPSCI

**Конференции и школы по магнетизму и магнитным материалам 2013-2014 года,
на которые открыт прием заявок.**

Даты проведения (дедлайн)	Название конференции	Место проведения	Контактная информация
2-5 декабря (14 сентября)	<i>MORIS</i>	OMIYA SONIC CITY, Япония	http://mst.nagaokaut.ac.jp/~moris2013
20 - 26 ноября (20 сентября)	<i>СПФКС</i>	Екатеринбург	http://smu.imp.uran.ru/spfks
6-10 января, 2014 (30 сентября)	<i>Зимняя школа для теоретиков: Topological Phases of Condensed Matter</i>	Таллахасси, Флорида, США	http://www.magnet.fsu.edu/mmediacenter/seminars/winterschool/2014
8-20 июня 2014 (15 октября)	<i>CIMTEC 2014 (13th International Conference on Modern Materials and Technologies)</i>	Монтекатини Терме, Италия	http://www.cimtec-congress.org/2014
7-10 декабря (10 ноября)	<i>2013 EMN Fall Meeting (Energy, Materials, Nanotechnology)</i>	Орландо, Флорида	http://www.emnfall.org
27 апреля-2 мая 2014 (25 ноября)	<i>4th International Conference on Superconductivity and Magnetism- ICSM2014</i>	Анталья, Турция	http://icsm2014.org
7-11 июля 2014 (30 Марта, 2014)	<i>International Conference on Highly Frustrated Magnetism 2014</i>	Кембридж, Великобритания	http://hfm2014.tcm.phy.cam.ac.uk



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: М.П. Шорыгин, В.А. Сеин, 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>