



Гл. редактор: д.ф.-м.н. 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 15

сентябрь 2014 г.

№3

Номер содержит научный отчет Н.С. Перова и А.Б. Грановского о Международном симпозиуме MISM-2014, обзор А.П. Пятакова, посвященный атомным спиновым гироскопам, а также подборку новостей магнетизма и информацию о новых конференциях по магнетизму.

МАГНИТИНФОРМ



Отчет о MISM-2014

Московский Международный Симпозиум по Магнетизму проводится на регулярной основе раз в три года, начиная с 1999 г., и в этом году состоялся в шестой раз. За прошедшие 15 лет MISM превратился в крупнейший международный форум по магнетизму в России, а по числу участников и научному уровню стал и одним из крупнейших в мире. Достаточно отметить, что предварительно для участия в MISM-2014 было зарегистрировано 1052 заявок, а непосредственно в работе MISM участвовало 737 магнитологов из 42 стран, представивших более 750 работ. Научная программа MISM-2014 за четыре рабочих дня включала 8 пленарных лекций по наиболее актуальным проблемам магнетизма, устные заседания 12 секций, а также соответствующие стендовые по следующим темам:

1. Спинтроника и Магнитотранспорт
2. Магнитофотоника (линейная и нелинейная магнитооптика, магнитофотонные кристаллы)
3. Высокочастотные свойства и Метаматериалы
4. Магнитные полупроводники и Оксиды
5. Магнитные наноструктуры и Низкоразмерный магнетизм
6. Мягкие материалы (магнитные полимеры, жидкости, суспензии)
7. Новые магнитные материалы
8. Материалы с памятью формы и Магнитокалорический эффект
9. Мультиферроики
10. Магнетизм в биологии и медицине
11. Магнетизм и сверхпроводимость
12. Теория



Всего было представлено 346 устных докладов и 397 стендовых. Следует отметить обширную географию участников – помимо более чем полутысячи россиян, в симпозиуме приняли участие 211 зарубежных коллег из 34 стран. Наиболее представительные делегации были из Германии (46 человек), Японии (43 человека) и Франции (25 человек). Из стран бывшего СССР были представители Украины (6 человек), Латвии, Белоруссии и Молдавии (по одному человеку).

Следует отметить, что успешная работа MISM во многом была обеспечена спонсорской поддержкой как наших традиционных спонсоров (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Физический факультет МГУ, Российский фонд фундаментальных исследований, Российская академия наук, Институт теоретической и прикладной электродинамики РАН, Фонд "Династия", Японское общество поддержки науки JSPS), так и новых – департамент науки, промышленной политики и предпринимательства города Москвы и немецкий дом поддержки исследований и инноваций.

Тематика MISM включала все аспекты современной физики магнитных явлений, поэтому в кратком сообщении невозможно проанализировать все направления, и кратко рассмотрены только некоторые из них.

2.1. Пленарные доклады

В докладе *Р. Виездангера* (R. Wiesdinger, Германия) были рассмотрены возможности наблюдения и управления спиновыми структурами со сверхвысоким разрешением с помощью спин-поляризованного туннельного микроскопа и подробно проанализировано состояние исследований скирмионов и решеток скирмионов. В докладе *А. Кимеля* (Нидерланды), посвященного магнитофотонике, рассмотрены возможности высокоскоростного перемагничивания с помощью ультракоротких лазерных импульсов и возможность управления обменного взаимодействия светом. То есть, если ранее традиционно считалось, что магнитофотоника связана с управлением светом при намагничивании, то в докладе показана и возможность управления намагниченностью светом. Доклад *С. Бадера* (США) был посвящен различным современным аспектам спинтроники и наномagnetизма. В частности, им был приведен ряд последних результатов по магнитомеханическому воздействию вытянутых наночастиц на раковые клетки, что открывает новые перспективы применения наночастиц в медицине. Доклад президента магнитного общества Японии *Х. Футамото* был целиком посвящен проблемам магнитной записи. Основной вывод докладчика состоял в том, что наиболее важным в ближайшем

будущем будет перпендикулярная магнитная запись, и в связи с этим *Х. Футамото* подробно остановился на анализе материалов с перпендикулярной магнитной анизотропией. *С. Демокритов* (Германия) рассмотрел возможности новой области спинтроники, так называемой магноники, и обсудил две возможности возбуждения спиновых волн – с помощью спин-торка и с помощью спинового эффекта Холла. Доклад *М. Фарле* (Германия) был целиком посвящен магнетизму наночастиц. Наряду с обзором, в докладе утверждалось о наблюдении ферромагнетизма наночастиц при комнатной температуре, связанного с интерфейсами. В докладе *А. Буздина* (Франция) рассматривались вопросы триплетной сверхпроводимости и сосуществования магнетизма и сверхпроводимости. Доклад *Ю. Райхера* (Россия) был посвящен изложению результатов исследования магнитных жидкостей и магнитоэластов.

Ниже приведена информация об основных тенденциях в магнетизме, выявленных авторами в ходе анализа докладов, прозвучавших на секциях (прим. ред.).

2.2. Спинтроника

По сравнению с MISM-2011 фокус исследований сместился к скирмионам, магнонике, спин-торку (*передача момента количества движения от спин-поляризованного тока, прим.ред.*) и спиновому эффекту Холла, а также к созданию спиновых токов без переноса заряда. Остается неясным причина высоких значений спинового эффекта Холла в ряде парамагнитных материалов, как платина и вольфрам. Продемонстрировано, что спиновый эффект Холла может быть использован для перемагничивания.

2.3. Наномagnetизм

Общий уровень исследований сегодня весьма высок. В последние годы группам в ИФМ УрО РАН, Институте физики им. Киренского СО РАН, Институте микроструктур РАН удалось существенно улучшить экспериментальную базу, и теперь по уровню исследований наноструктур приблизиться к уровню экспериментальных исследований за рубежом, хотя и имеется еще отставание. Существенно

увеличилось число работ по наночастицам, получаемых различными методами, нанопроволокам. В последние годы удалось создать составные наночастицы, полые наночастицы, ансамбли нанопроволок в различных матрицах.

2.4. Магнитофотоника

Наряду с традиционными темами (линейная и нелинейная магнитооптика, магнитофотонные кристаллы, магнитоплазмоника, материалы для оптоэлектроники) на этой секции много внимания уделялось сверхскоростной спиновой динамике и сверхскоростному перемагничиванию. Два заседания было посвящено магнитоплазмоне в связи с возможностями существенного усиления магнитооптических эффектов

2.5. Магнитномягкие и магнитнотвердые материалы

Эта проблема являлась и является одной из центральной в магнетизме, так как даже незначительное улучшение одной из характеристик магнитного материала может привести к кардинальным изменениям в технике. Весьма интересные доклады были посвящены исследованию аморфных, нанокристаллических и гранулированных микропроводов, сред для продольной и перпендикулярной магнитной записи, интерметаллидов.

2.6. Разбавленные магнитные полупроводники и оксиды

Число работ по исследованию манганитов и традиционных разбавленных магнитных полупроводников типа GaAs:Mn существенно уменьшилось, и фокус исследований сместился к более сложным оксидам типа кобальтитов и концентрированных магнитных полупроводников типа Si:Mn состава вблизи эквивалентного. В случае с Si:Mn исходный стехиометрический материал является парамагнетиком, но даже слабое изменение состава приводит к появлению ферромагнетизма с высокими температурами Кюри и аномальному эффекту Холла. Это открывает новые возможности создания магнитных полупроводников.

2.7. Новые магнитные материалы

На MISM-2014 большое число работ было посвящено материалам, перспективным для магнитного охлаждения. Одно из заседаний было целиком посвящено теории магнитокалорического эффекта, и на нем было показано, что в настоящее время еще не достигнуты предельные характеристики. Наибольший интерес вызвали сообщения о гигантском магнитокалорическом эффекте в сплавах Гейслера, причем как в форме объемных материалов, так и в форме лент и пленок, а также в разнообразных интерметаллидах. В области исследования новых магнитных материалов все большее значение приобретает поиск многофункциональных материалов и функциональных материалов, управляемых электрическим полем. В частности, существенный прогресс (по сравнению с MISM-2011) получило развитие мультиферроиков. Большое значение для практики имеет и поиск материалов для высокочастотных применений, такие материалы были рассмотрены на секции “Высокочастотные магнитные свойства и Метаматериалы”.

2.8. Магнетизм и Сверхпроводимость

Наибольшее число заседаний на MISM-2014 было посвящено проблеме “Магнетизм и Сверхпроводимость”. Заседания по этой секции проводились каждый день и утром, и вечером, и более того, в некоторые дни даже в параллельных заседаниях. Рассматривались вопросы как природы ВТСП, природы сверхпроводимости в содержащих железо сверхпроводниках, триплетная сверхпроводимость, эффект проксимити, мультислои сверхпроводник-ферромагнетик и т.д. К сожалению, как и на MISM-2011, было мало экспериментальных работ по этой тематике.

Из научного отчета о шестом Московском международном симпозиуме по магнетизму MISM-2014

Со-председатели оргкомитета MISM

А.Б. Грановский, Н.С. Перов

АКТУАЛЬНО

Атомные спиновые гироскопы

Спутниковые системы навигации прочно вошли в повседневную жизнь как автомобилистов, так и пешеходов, однако они не вытеснили гироскопов, которые используют в тех случаях, когда полагаться только на сигнал, подверженный внешним воздействиям и помехам небезопасно (в авиации), либо вообще невозможно (под водой, внутри помещений и т.п.). В настоящее время широко применяются гироскопы на основе микроэлектромеханических систем (MEMS), сочетающие относительно невысокую стоимость с высокой чувствительностью и миниатюрными (субмиллиметровыми) размерами [1]. Однако для MEMS-устройств характерен дрейф показаний, связанный с образованием зарядов на выступах механических деталей. Оптические гироскопы, используемые в авиации, более надежны, но громоздки и уступают по чувствительности лучшим механическим на два порядка [1]. В этой связи перспективным представляется иной подход: использовать созданные самой природой микроскопические гироскопы – спины атомных ядер. В атомном ансамбле спины атомов подобно волчку сохраняют свою ориентацию в пространстве по отношению к инерциальной системе отсчета, но в отличие от механического гироскопа *атомный спиновый гироскоп* не содержит движущихся частей и избавлен от проблем с трением. Данная тематика начала развиваться в 1960-х годах, и к настоящему времени предложено несколько типов атомных спиновых гироскопов, по характеристикам приближающиеся к навигационным приборам. В последнее время эта проблематика снова стала предметом повышенного интереса ученых в связи с открытием уникальных объектов – азотно-замещенных вакансий в алмазе (NV-центров) и возможностью создания *твердотельных* атомных спиновых гироскопов на их основе.

ЯМР гироскоп

Этот тип гироскопов часто называют *ядерными гироскопами*, поскольку в них для

детектирования сигнала используется ядерный магнитный резонанс (ЯМР).

Общий принцип ядерных гироскопов показан на рисунке 1. Во внешнем магнитном поле ядерный спин атома начинает прецессировать с частотой ларморовой прецессии, равной произведению гиромагнитного отношения γ на магнитное поле B . В системе отсчета, связанной с измерительной аппаратурой, частота прецессии складывается из ларморовой частоты в инерциальной системе отсчета и частоты вращения Ω лабораторной системы отсчета относительно инерциальной:

$$\omega = \gamma B \pm \Omega \quad (1)$$

Измерения прецессии осуществляются оптически с помощью лазера на суммарной частоте либо по модуляции оптического поглощения циркулярно поляризованного света (круговой дихроизм), либо по вращению плоскости поляризации линейно-поляризованного света (эффект Фарадея).

Поскольку нестабильность гироскопа не должна превышать 1° в час, то стабильность магнитного поля должна поддерживаться на уровне 100 фТл, что очень трудно реализовать на практике. Для обхода этой проблемы используется либо экранировка из сверхпроводящих материалов (что неизбежно сказывается на размере и стоимости устройств), либо схема с двумя типами ядер (в большинстве практических реализаций). В последнем случае для обоих типов ядер можно написать уравнение (1), и при решении данной системы неизвестное B можно исключить [2].

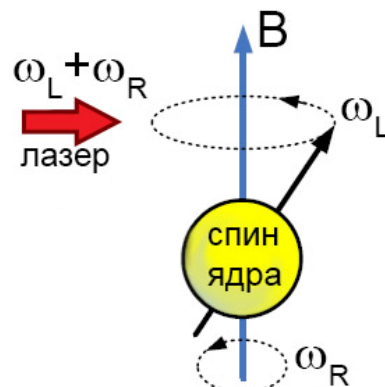


Рис. 1. Принцип действия атомного спинового гироскопа на основе ЯМР. Частота излучения на которой происходит резонанс складывается из ларморовой частоты прецессии ω_L и угловой скорости ω_R , с которой лабораторная система координат вращается относительно инерциальной системы отсчета.

Гироскоп с комагнитометром

В данном типе атомного спигового гироскопа наряду с ядерным спином инертных газов используется электронный спин щелочных атомов. Такая система даже ближе к изначальной идее механического гироскопа, поскольку электронный спин оказывается экранированным от внешних полей и сохраняет ориентацию в пространстве. Ядерный момент инертного газа отслеживает все изменения внешнего поля и компенсирует их, так что ларморова прецессия электронных спинов не возникает вовсе (рис. 2).

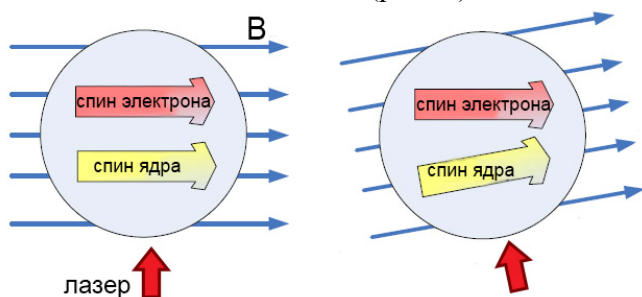


Рис. 2. Принцип действия атомного спигового гироскопа на основе комагнитометра.

В создании атомных спиговых гироскопов достигнуты определенные успехи, так, компании Northrop Grumman за счет использования постоянных магнитов и полупроводниковых лазеров с вертикальным резонатором удалось сократить размеры устройств до величин меньших кубического сантиметра.

Однако остаются проблемы. Так, схема с двумя типами ядер, применяемая в обоих типах атомных спиговых гироскопов, не позволяет полностью решить проблему с внешним магнитным полем: в реальной системе магнитное поле, действующее на атомы инертного газа и на атомы щелочного металла, различается [1]. Также размеры атомных спиговых гироскопов в настоящее время еще велики, не меньше кубического сантиметра, что не позволяет их интегрировать в электронные чипы.

Чувствительность обратно пропорциональна произведению концентрации атомов на время релаксации $n \cdot t$. Однако оба фактора одновременно увеличивать нельзя, поскольку рост концентрации атомов приводит к уменьшению времени релаксации. Кроме того, существует противоречие между требованием высокой чувствительности и малого времени

запуска, поскольку последнее тем меньше, чем короче время релаксации.

Твердотельные атомные спиговые гироскопы

Радикально решить проблемы повышения чувствительности и уменьшения размеров позволят твердотельные гироскопы на азотно-замещенных вакансиях в алмазе (NV-центры) [3]. Благодаря широкой запрещенной зоне алмаза спин атома азота практически изолирован от внешних воздействий, его время хранения спиновой информации достигает единиц миллисекунд. Принцип действия гироскопа на NV-центрах состоит в использовании эффекта фазы Берри (геометрическая фаза, набираемая при эволюции спина в магнитном поле, которое в свою очередь вращается относительно инерциальной системы отсчета [4]). Гироскоп на NV-центрах позволяет объединить достоинства двух типов атомных спиговых гироскопов: устойчивость ядерного спина ко внешним воздействиям (даже при высокой концентрации NV-центров) с возможностью управления и считывания спинового состояния ядра за счет взаимодействия с электронным спином, позволяющее сократить время запуска с сотен секунд для ЯМР гироскопа до микросекунды. В результате можно получить миниатюрные (с размерами порядка 1 мм^3) устройства с чувствительностью, сравнимой с MEMS-гироскопами.

А.П. Пятаков

Литература

1. Fang J., Qin J. Advances in atomic gyroscopes: a view from inertial navigation applications. // Sensors (Basel, Switzerland). 2012. Vol. 12, № 5. P. 6331–6346.
2. Donley E. a. Nuclear magnetic resonance gyroscopes // 2010 IEEE Sensors. Ieee, 2010. P. 17–22.
3. Ajoy A., Cappellaro P. Stable three-axis nuclear-spin gyroscope in diamond // Physical Review A. 2012. Vol. 86, № 6. P. 062104.
4. Ledbetter M.P. et al. Gyroscopes based on nitrogen-vacancy centers in diamond // Physical Review A. 2012. Vol. 86, № 5. P. 052116.

ЗАРУБЕЖНЫЕ ЖУРНАЛЫ И САЙТЫ

Магнитная стимуляция мозга



Ученые из Северо-западного Университета Чикаго продемонстрировали долговременный эффект улучшения памяти после действия импульсов магнитного поля. Следует уточнить, что в конечном итоге воздействие на ткани головного мозга имеет электрическую природу, но в отличие от применявшегося ранее для улучшения памяти и лечения депрессии непосредственного ввода электродов в мозг данный метод *транскраниальной магнитной стимуляции* (ТМС) неинвазивный, т.е. не приводит к повреждению кожи головы и костей черепа.

Как показали ученые, наблюдая с помощью магниторезонансной томографии действие магнитных импульсов на способности к запоминанию у шестнадцати добровольцев в возрасте от 16 до 40 лет, они заметили, что процедуры ТМС улучшают синхронизацию работы гиппокампа и других частей мозга, что приводит к долговременному положительному эффекту.

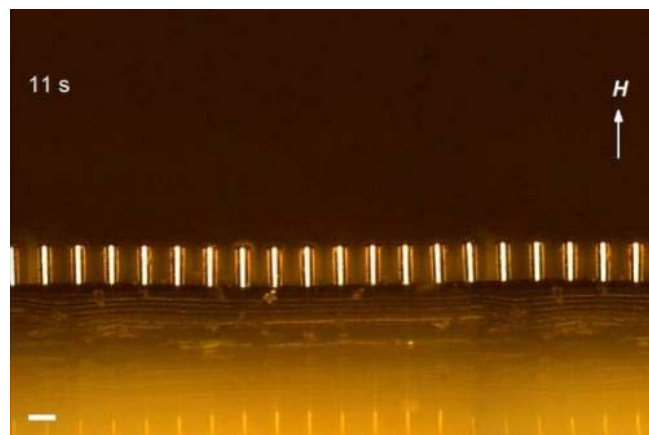
Вплоть до настоящего времени эксперименты проводились на здоровых добровольцах. В ближайшее время ученые займутся изучением терапевтического эффекта процедуры ТМС на больных с расстройством памяти. Нужны еще годы исследований, чтобы убедиться, что ТМС безопасна и эффективна для пациентов с болезнью Альцгеймера и другими нейродегенеративными заболеваниями.

1 сентября 2014/ Новостной сайт [Gizmag](#)
New and Emerging Technology News

gizmag

Магнитноуправляемые умные стекла

Исследователи из MIT разработали новый вид покрытия для стекол, состоящий из никелевых микроволосков, управляемых магнитным полем.



Никелевые микроволоски / MIT

Идею изобретения ученые подсмотрели у природы: внутри носовых ходов находятся реснички, которые своими микродвижениями заставляют пыль и другие инородные частицы выходить из организма.

На силиконовой подложке исследователи изготовили матрицу из никелевых волосков 70 мкм в длину и 25 мкм в диаметре. Помещая такое покрытие во внешнее магнитное поле, можно регулировать направление и величину наклона волосков, заставляя попавшую на покрытие воду двигаться только в определенном направлении. Кроме того, наклон волосков влияет и на интенсивность прошедшего света, позволяя приглушить слишком яркое солнечное освещение. Такое сочетание свойств, несомненно, представляет интерес для автомобильной промышленности, позволяя создавать всепогодные лобовые стекла, а также для строительства умных домов.

Среди других применений данных покрытий можно назвать также микросистемы химического анализа (лаборатории на чипе) для регулирования микропотоков жидкостей, а в будущем они могут пригодиться при создании умной непрмокаемой одежды.

6 августа 2014/ Новостной сайт [Phys.org](#)

PHYS.ORG

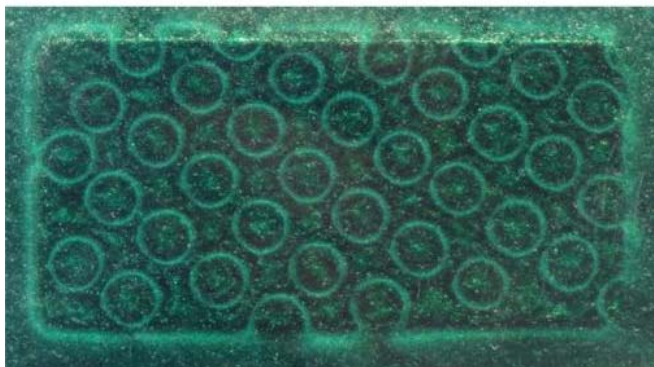
Левитация как обыденность

Похоже, магнитная левитация перестает быть низкотемпературной экзотикой или забавой физиков, работающих со сверхсильными полями (вспомним шнобелевскую лягушку Андрея Гейма). Благодаря новой технологии «печати доменов магнитного поля» (magnetic field domains printing) разработанной фирмой Correlated Magnets Research LLC, левитация станет столь же доступной, как и магнит на холодильнике.



Левитация пластин пиролитического графита над постоянным магнитом с «напечатанными» доменами

Технология заключается в том, что с помощью импульсного намагничивания катушкой, перемещаемой вдоль поверхности постоянного магнита, на последнем можно «нарисовать» любой рисунок доменов. Этим воспользовался немецкий изобретатель Геральд Кюстлер, чтобы создать узор из магнитных полюсов (см. рисунок внизу), обеспечивающий парение диамагнитных предметов.



«Печатный» магнит (под визуализатором поля)

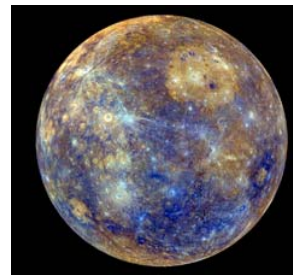
Левитация над постоянным магнитом, не требующая никаких затрат энергии, может кардинально решить проблему трения в микроэлектромеханических* устройствах.

28 августа 2014/ Новостной сайт Phys.org.



Почему на Меркурии так много железа

Несмотря на то, что репутация железной планеты принадлежит Марсу (благодаря его красному цвету, обусловленному оксидами железа), истинным рекордсменом по содержанию железа является Меркурий, в грунте которого 70% этого элемента.



Для объяснения столь необычного состава грунта ученые выдвигали различные гипотезы, неизменным мотивом в которых было испарение кремния за счет близости Солнца и высокой температуры. Однако это противоречит недавно опубликованным данным с американской станции Мессенджер о значительном содержании в грунте Меркурия калия, который тем более должен был бы испариться. Астрофизик Александр Хаббард предложил новую гипотезу о «магнитной эрозии», согласно которой накопление железа в этой области солнечной системы произошло в результате процесса, напоминающего магнитную сепарацию. Согласно гипотезе, формирование пород планеты происходило в условиях, соответствующих довольно узкому окну температур: не слишком высоких, чтобы железо оставалось в намагниченном состоянии ниже точки Кюри, но в то же время и не слишком низких, чтобы мог реализоваться механизм генерации магнитного поля за счет относительного движения слоев протопланетного диска. Частицы, богатые железом, намагничивались в поле до насыщения, притягивались друг к другу и сшибались с такой силой, что при столкновении дробились. В ходе такой «магнитной эрозии», частички породы, обогащенной железом, слипались, в том время как осколки, состоящие в основном из оксида кремния, напротив, отталкивались друг от друга, вследствие образования на них одноименных электростатических зарядов. В результате Меркурий обогатился железом, а вся «пустая порода» досталась другим планетам, в числе которых и наша Земля.

* И не только в «микро»: РЖД изучает возможность использования левитации для транспорта грузовых контейнеров до 40 т. О новостях левитации, читайте в последующих номерах Бюллетеня.

Конференции и школы
по магнетизму и магнитным материалам 2014-2015 годов,
на которые открыт прием заявок

Даты проведения (дедлайн)	Название конференции	Место проведения	Контактная информация
12 – 16 октября (21 сентября)	<i>VII Международная школа-конференция «Фундаментальная математика и её приложения в естествознании»</i>	Башкирский государственный университет, Уфа	http://matem.anrb.ru/bsuconf
13 – 20 ноября (30 сентября)	<i>Всероссийская школа-семинар по проблемам физики конденсированного состояния вещества СПФКС-15</i>	Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург	http://smu.imp.uran.ru/spfks
14-16 ноября (15 октября)	<i>Актуальные проблемы неорганической химии: перспективные магнитные и электропроводящие материалы</i>	Пансионат “Университетский”	http://www.inorg.chem.msu.ru Email: rodionpanin@gmail.com тел. 939-34-90.
31 января – 2 февраля 2015 (15 октября)	<i>2015 Conference on Magnetism and Its Applications (MIA2015)</i>	Шанхай, Китай	http://www.scirp.org/Conference Email: phy.feb@engii.org Tel: +86 15071343477
17-20 мая 2015 (15 марта 2015)	<i>International Workshop on Magnetic Nanowires and Nanotubes 2015</i>	Меерсбург, Германия	http://www.iwmnn2015.de
1 – 5 июня 2015	<i>Международная конференция "Spin physics, spin chemistry, and spin technology".</i>	ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург	Email: elif@mail.ioffe.ru Лифшиц Евгения
24 августа-4 сентября 2015 (15 апреля)	<i>The European School on Magnetism</i>	Клуж-Напока, Румыния	http://magnetism.eu/esm/2015



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>