

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: д.ф.-м.н., проф. А.П. Пятаков

ТОМ 18

июнь 2017 г.

№2



**ПРИВЕТСТВУЕМ
УЧАСТНИКОВ
MISM-2017
И ВТОРОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ ПО
ФИЗИКЕ ФЕРРОИКОВ!**

МАГНИТИНФОРМ



**XXI
Международная
конференция
по постоянным
магнитам**

г. Суздаль, 18 - 22 сентября 2017 г.

Настоящий номер приурочен к открытию Международного Симпозиума по Магнетизму MISM-2017 и конференции Novel Trends in Physics of Ferroics. Номер содержит материалы, присланные нашими читателями, обзор А.П. Пятакова, посвященный стрейн-инженерии графена, традиционную подборку новостей магнетизма, а также информацию о конференциях по магнетизму 2017-2018 годов, на которые открыта регистрация.

Moscow International Symposium on Magnetism (MISM-2017), начинающий свою работу 1 июля на физическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова, на протяжении многих лет остается одним из самых представительных форумов по магнетизму, собирая участников со всего мира. В этом году симпозиум пройдет уже в седьмой раз.

На следующий день после окончания MISM-2017 в Санкт-Петербурге в Физико-техническом институте имени А.Ф. Иоффе стартует Вторая конференция по физике ферроиков International Workshop "Novel Trends in Physics of Ferroics" 6 – 8 июля 2017.

**Желаем успешного проведения
конференций и летнего тепла!**

Конференция по постоянным магнитам призвана обеспечить квалифицированное обсуждение на представительном форуме последних достижений в области научных исследований, производства, применения и сертификации магнитотвердых материалов.

Срок подачи тезисов для читателей Бюллетеня продлен до **3 июля!**

- ♦ Физика магнитных явлений, процессы перемagnetизации и структура магнитотвердых сплавов.
- ♦ Физические основы технологии изготовления постоянных магнитов.
- ♦ Магнитные измерения: физика, техника, метрология, сертификация.
- ♦ Электромеханика и электрические аппараты.
- ♦ Расчёт и моделирование магнитных систем. Применение постоянных магнитов.
- ♦ Физические и физико-химические основы получения высокочистых материалов для постоянных магнитов. Переработка отходов производства постоянных магнитов

Контактная информация:

Лилеев Алексей Сергеевич
тел.: 8(495)6384638

E-mail: info@permanentmagnet.ru

Сайт конференции: <http://permanentmagnet.ru>



В этом году один из инициаторов создания МАГО, профессор, доктор технических наук **Вячеслав Константинович Раев** празднует свое **80-летие**.

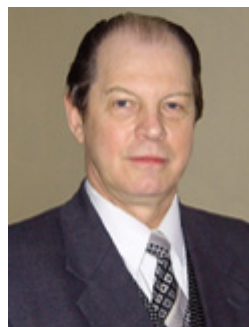
Именно Вячеславу Константиновичу Магнитное общество во многом обязано своим рождением в 1991 г.

Высокий профессионализм, разностороннее образование и организаторские способности Вячеслава Константиновича позволили ему создать научную школу, воспитавшую более двух десятков кандидатов и докторов наук.

По окончании в 1960 г. МЭИ, Вячеслав Константинович работал в Институте автоматики и телемеханики, где защитил кандидатскую диссертацию по магнитным решающим элементам. Параллельно он учился на Мехмате МГУ, а также закончил в 1966 г. Московский институт иностранных языков. Послужной список В.К. Раева включает стажировку в Токийском и Йельском университетах по тематике магнитных материалов и компьютерной памяти. С начала 70-х и до начала 90-х годов В.К. Раев руководит разработками в области запоминающих устройств на цилиндрических магнитных доменах в Институте электронных управляющих машин. В непростые для отечественной науки 90-ые годы профессиональные знания и разнообразные таланты Вячеслава Константиновича оказались востребованными зарубежными компаниями, куда он был приглашен в качестве научного эксперта и организатора работ в области радиотехнических, телевизионных и информационных систем.

С конца 90-х годов и по настоящее время В.К. Раев – профессор кафедры «Технические и информационные средства систем управления» МИРЭА. Студенты характеризуют его как *«самого веселого человека в институте и очень требовательного преподавателя»*.

Желаем Вам, уважаемый Вячеслав Константинович, сохранять Ваш оптимистический настрой, крепкого здоровья, творческих успехов и реализации всех планов!



9 июня профессору, доктору физико-математических наук **Алексю Сергеевичу Лилееву** – ведущему российскому специалисту в области исследования и разработки магнитных

материалов – исполнилось 75 лет.

Алексей Сергеевич яркий представитель и достойный продолжатель одной из самых передовых национальных школ магнитного физического металловедения, основанной в Московском институте стали и сплавов профессором Б.Г.Лившицем.

Окончив Московский институт стали и сплавов в 1965 г., Алексей Сергеевич занялся исследованием фундаментальных процессов формирования высококоэрцитивной структуры сплавов для постоянных магнитов. Став руководителем проблемной лаборатории постоянных магнитов А.С.Лилеев вместе с коллегами разработал и внедрил на ряде заводов оборонной, авиационной и приборостроительной промышленности технологии производства постоянных магнитов. По результатам этих работ Алексей Сергеевич награжден двумя медалями и дипломом ВДНХ.

В 1988 году А.С. Лилеев защитил докторскую диссертацию, положившую основу нового научного направления – теории процессов перемагничивания, позволяющей прогнозировать свойства и поведение магнитов при воздействии внешних магнитных полей. С 1987 в течение 20 лет руководил физико-химическим факультетом МИСиС, в настоящее время работает профессором кафедры физического материаловедения МИСиС. А.С.Лилеев – лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники, Заслуженный деятель науки Российской Федерации (2003г.), действительный член РАЕН. Работы, выполненные под его руководством, отмечены золотыми медалями выставок «Архимед» и «ИТЕХ».

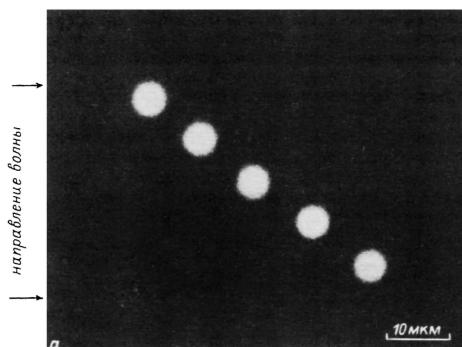
Алексей Сергеевич энергичен, оптимистичен и полон творческих планов и сил. Желаем юбиляру здоровья, благополучия, и плодотворной многолетней деятельности!

МАГНИТИНФОРМ

ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ

Снова о движении доменных стенок под действием звука

В декабрьском номере Бюллетеня в новостной заметке «Звук и стенки двигает» мы сообщили о публикации в *Physical Review Letters* (v.117, art. 237201), в которой теоретически рассматривается воздействие поперечных упругих волн на магнитные доменные границы и сделано предсказание о возможности их передвижения с помощью звука.



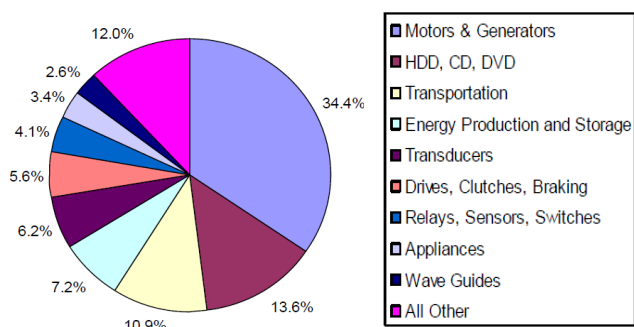
Дрейф ЦМД под действием 8 мкс-импульсов волн Рэлея на частоте ~20 МГц (длина волны 0.2 мм).

Как сообщают нам читатели, этот эффект уже обнаружен, причем задолго до его «предсказания» в PRL, в 1985 году [1]. В работе советских ученых [2] было показано, что возбуждение поверхностных акустических волн в эпитаксиальных пленках ферритов гранатов вызывало дрейф цилиндрических магнитных доменов под углом к направлению распространения волны. Смещение доменов задавалось продолжительностью импульса, а направление движения зависело от состояния ЦМД, т.е. от спиновой структуры его границ: прикладывая магнитное поле в плоскости образца, и меняя структуру доменных границ можно было регулировать направление смещения ЦМД.

[1] A.S. Yurov, A.N. Karpov, V. K. Raev, and G.Y. Khodenkov. – Acoustic control of bubble domain propagation – Digest of INTERMAG Conf. Sant-Paul, USA, May 1985 vol.MAG-12, p.GB-8.

[2] А.С. Юров, А.Н. Карпов, В.К. Раев, Г.Е. Ходенков, М.П. Шорыгин, Перемещение ЦМД поверхностной волной Рэлея в висмут-содержащей феррит-гранатовой пленке, Письма в ЖТФ, т.12, вып.4, с.201-205 (1986)

В последние десятилетие вышли сотни научных работ, в которых интенсивно обсуждается вопрос о возможности применения редкоземельных постоянных магнитов в электрических машинах различного назначения. Целью статьи [1], опубликованной в сборнике *Инноватика и экспертиза* (издается Республиканским исследовательским научно-консультационным центром экспертизы) является краткое описание текущего состояния дел в редкоземельной отрасли, а также изложение новых идей, уже используемых в автомобилестроении, авиастроении и других отраслях (например, магнитных систем на основе Хальбах-цилиндров, псевдопрямого привода и др.) для снижения массо-габаритных показателей электроприводов специального назначения и повышение плотности крутящего момента.



Сравнительная диаграмма различных применений редкоземельных постоянных магнитов.

Представленный в публикации материал, позволяет также развеять фобии о стоимости постоянных магнитов, об их коррозии, старении (временной стабильности), размагничивании, устойчивости к ударным нагрузкам, радиационному воздействию и их вредном влиянии на человеческий организм.

[1] А.М. Тишин, Перспективы применения редкоземельных постоянных магнитов в электроприводах специального назначения. К 100-летию использования постоянных магнитов в технике, *Инноватика и Экспертиза*, вып.1, 2017 http://inno-exp.ru/archive/19/innov_2017-1_175-192.pdf

АКТУАЛЬНО**Стрейн-инженерия графена и двумерных материалов**

Годом ранее в Бюллетене мы писали о *стрейнтронике* – направлении микроэлектроники, использующей механические напряжения, сделав акцент на магнитной записи информации. При таком подходе задачи стрейнтроники становятся служебными по отношению к спиновой электронике, а само направление оказывается едва ли не «падчерицей» спиновой электроники. Однако вряд ли бы с этим согласились специалисты, занимающиеся двумерными материалами, наиболее известный из которых – графен. Механическая прочность графена поразительна: он выдерживает относительные растяжения величиной 25%, что позволяет существенно менять его свойства, осуществляя «стрейн-инженерию» графена [1]. Деформации растяжения появляются в графене естественным образом, за счет рассогласования постоянных кристаллической решетки графена и подложки (чего не скажешь о деформациях сжатия, которые самопроизвольно снимаются за счет появления складок и морщин на поверхности графена). Деформации можно также создавать искусственно, осуществляя внешние воздействия на подложку: изгибая ее, прикладывая к ней электрические напряжения (в случае подложки из пьезоэлектрика) или нагревая ее (в этом случае используется разница в коэффициентах теплового расширения подложки и графена).

Помимо модификации электронной структуры графена, проявляющейся в спектре рамановского рассеяния, деформации порождают эффективные поля, которые по своему действию на электроны аналогичны магнитным полям. Величины этих эффективных полей достигают впечатляющих величин десятков и сотен Тесла, что позволяет наблюдать явления, представляющие несомненный интерес для специалистов по магнетизму: уровни Ландау, квантовый эффект Холла в нулевом магнитном поле и экзотический «долинный» эффект Холла (valley Hall effect).

Прежде чем перейти к рассказу о них, рассмотрим, вначале, какие изменения вносит механическое напряжение в электронную структуру графена.

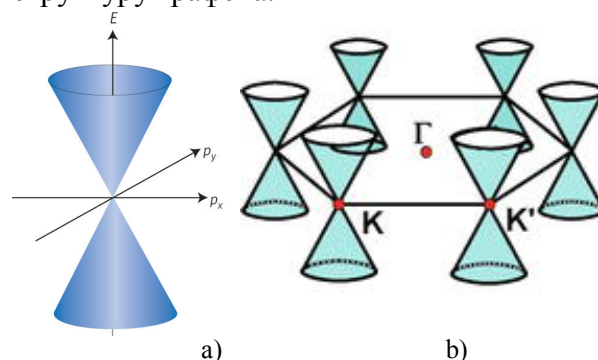


Рис.1. Конус Дирака: а) линейная зависимость энергии от импульса электронов в графене б) расположение конусов Дирака в зоне Бриллюэна.

Когда говорят об электронных свойствах графена, в первую очередь обращают внимание на необычный линейный характер зависимости энергии частицы от импульса, так называемый конус Дирака (рис. 1 а). Вершины конусов Дирака располагаются на краю зоны Бриллюэна в шести симметричных К-точках (рис. 1б).

Одноосная деформация вносит асимметрию в решетку графена и сдвигает конусы в соседних К-точках относительно друг друга (рис. 2): расстояние в импульсном пространстве для направления 1 и направлений 2 и 3 меняются противоположным образом, соседние точки К и К' перестают быть эквивалентными, и возникает расщепление электронных состояний двумерной системы по долинам К и К'.

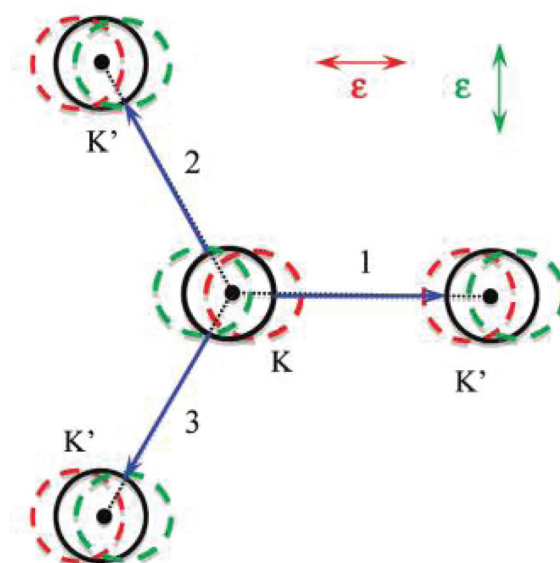


Рис.2. Смещение конусов Дирака под действием одноосного растяжения (вид «сверху» по отношению к Рис.1).

Долина зоны проводимости становится такой же степенью свободы электрона, как спин: в научном обиходе появились термины «вырождение/расщепление по долинам», «долинная поляризация», «долинный ток» и даже ... «валлейтроника» (от англ. valley – долина) [2]. Вполне логично в таком контексте и появление *долинного эффекта Холла*: поперечного сноса электронов, зависящего от того, к какой долине принадлежат электронные состояния [3]. Долинный ток, образующийся при эффекте Холла, нейтрален по заряду и по спину. Первое не так плохо – при протекании долинного тока отсутствует диссипация энергии, так же как и при чисто спиновом токе. Ранее долинный ток получали с помощью воздействия циркулярно-поляризованным светом [4], а в недавней работе предлагается использовать для этих целей неоднородное механическое напряжение [3].

Неоднородное механическое напряжение действует как своего рода магнитное поле. Наиболее наглядным подтверждением этого стали исследования с помощью сканирующего зондового микроскопа нанопузырьков графена, образующихся при остывании графена на подложке из платины (рис.3). В месте их нахождения графен испытывает относительные деформации порядка 10% [5]. Измерение локальной электронной структуры графена методом сканирующей туннельной спектроскопии показывает наличие хорошо различимых пиков локальной плотности состояний при определенных значениях энергии, расположенных эквидистантно на расстоянии порядка сотен миллиэлектрон-вольт (рис.3 б). Теоретическое рассмотрение недвусмысленно свидетельствует, что данные пики соответствуют уровням Ландау в эффективном поле порядка 300 Тесла.

Помимо графена существуют и другие 2D материалы – кремниевый «кузен» графена *силицен*, гексагональный нитрид бора, а также халькогениды переходных металлов. Последние, являясь полупроводниками, служат хорошим дополнением полуметаллическому графену и диэлектрическому нитриду бора. Они также представляют интерес для стрейтроники и валлейтроники [4].

А.П. Пятаков

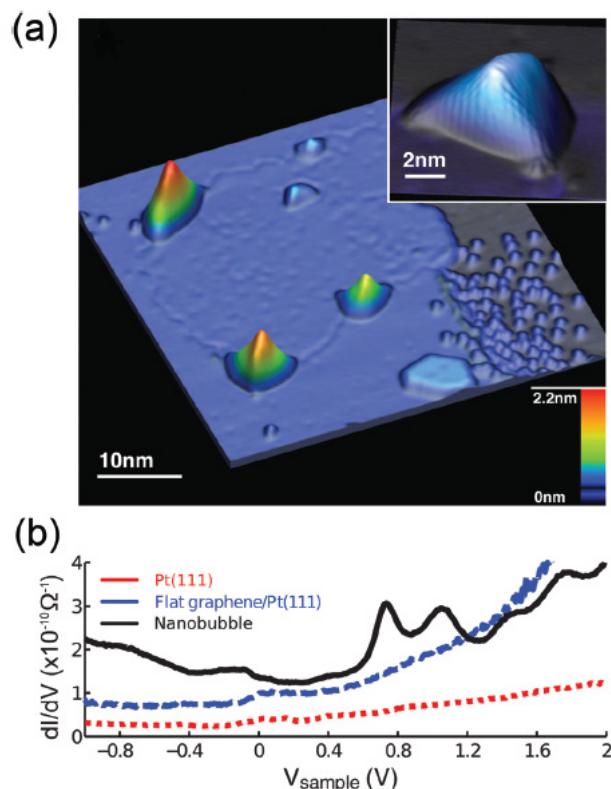


Рис.3. Псевдомагнитное поле в нанопузырьках графена: а) изображение поверхности графена в сканирующем туннельном микроскопе б) спектры, соответствующие различным участкам поверхности: сплошная черная линия – пузырьки графена, штриховая синяя – ровная поверхность графена, красная пунктирная – подложка из Pt [5].

Литература

- [1] C. Si, Z. Sun, and F. Liu, “Strain engineering of graphene: a review,” *Nanoscale*, vol. 8, no. 6, pp. 3207–3217, 2016.
- [2] A. Rycerz, J. Tworzydło, and C. W. J. Beenakker, “Valley filter and valley valve in graphene,” *Nat. Phys.*, vol. 3, no. 3, pp. 172–175, 2007.
- [3] X.-P. Zhang, C. Huang, and M. A. Cazalilla, “Valley Hall Effect and Nonlocal Transport in Strained Graphene,” *2D Mater.*, vol. 4, p. 024007, 2017.
- [4] X. Xu, W. Yao, D. Xiao, and T. F. Heinz, “Spin and pseudospins in layered transition metal dichalcogenides,” *Nat. Phys.*, vol. 10, no. 5, pp. 343–350, 2014.
- [5] N. Levy *et al.*, “Strain-Induced Pseudo-Magnetic Fields Greater Than 300 Tesla in Graphene Nanobubbles,” *Science (80-.)*, vol. 239, no. July, pp. 544–547, 2010.

НОВОСТИ МИРОВОГО МАГНЕТИЗМА

Дорожные работы за 5 минут

Асфальт – самый практичный материал для дорожного покрытия и вряд ли ему найдут замену в ближайшем будущем. Его пористая структура, с одной стороны помогает заглушать вибрацию, а с другой – становится источником его саморазрушения: микродефекты превращаются в трещины и опасные выбоины.



Фото: Белка Елкина | Facebook

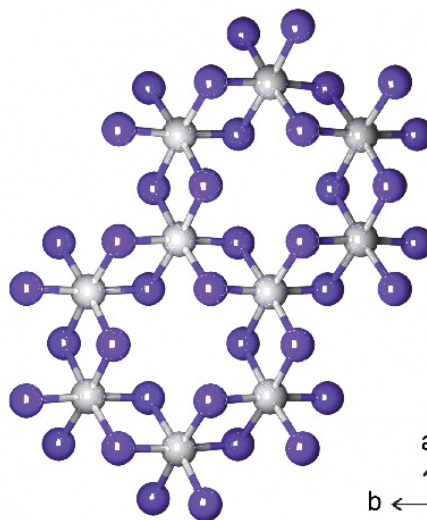
Ученые из Университета г. Делфт в Нидерландах уже на протяжении семи лет тестируют на дюжине дорог дорожное покрытие, представляющее собой асфальт с вживленными в него стальными волокнами, и констатируют успех эксперимента.

В отличие от самозаживляющихся наусников, описанных в выпуске Бюллетеня №4 2016, принцип восстановления покрытия не основан на магнитоэлектрическом взаимодействии, а сводится к нагреву стальных нитей за счет электромагнитной индукции от поля магнита, установленного в специальной машине. Достаточно такой машине проехать по дороге, как разогретые нити расплавят окружающие их области асфальтового покрытия, заделав все накопившиеся дефекты.

Впрочем, решающая фаза эксперимента, как говорит проф. Эрик Шланген, еще впереди, поскольку 10 лет – это и для обычного асфальта не срок. (Как говорится, «без комментариев», – *прим. ред.*)

2D ферромагнетик

Семейство двумерных материалов довольно обширно и не исчерпывается только графеном и его производными. Однако магнетизм 2D материалам не свойственен (а если о нем и говорят, то имеют в виду псевдомагнитные поля, см. обзор выше, – *прим. ред.*). И это не удивительно, поскольку с теоретической точки зрения магнитный порядок не может существовать в двумерных материалах по теореме Мермина-Вагнера.



Структура трийодида хрома.

Однако следует помнить, что и графен был открыт вопреки теоретическим предсказаниям. Вдохновляясь примером первых исследователей графена, используя даже их «скотчевый» метод получения одноатомных слоев, команда из университета Вашингтона и Массачусетского Технологического Института нашли новый магнитный материал – трийодид хрома CrI_3 [1]. Температура Кюри у 2D материала, правда, невелика ~45 K, но и у объемного аналога она не намного больше: 61 K. Любопытно, что двойной слой CrI_3 – уже антиферромагнетик, а три слоя – снова ферромагнитные. Вы спросите, как же теорема? Ее можно обойти, если учесть магнитную анизотропию, а это как раз случай трийодида хрома, который является изинговским магнетиком с перпендикулярной анизотропией.

[1] B. Huang et al, Nature 546, 270–273 (2017)

Магнитные терминаторы - нанотрансформеры

Магнитные наночастицы давно используются в локальной гипертермии – способе лечения злокачественных новообразований с помощью нагрева пораженных тканей в переменном магнитном поле. Наряду с этим начинает развиваться другой способ терапии – за счет механического повреждения клеток (см. также статью «Магнитные микрокиллеры» в декабрьском выпуске бюллетеня за прошлый год, – *прим. ред.*). Для того чтобы механическое воздействие было заметным, магнитный момент частиц должен быть достаточно велик, поэтому приходится использовать частицы микронных размеров.

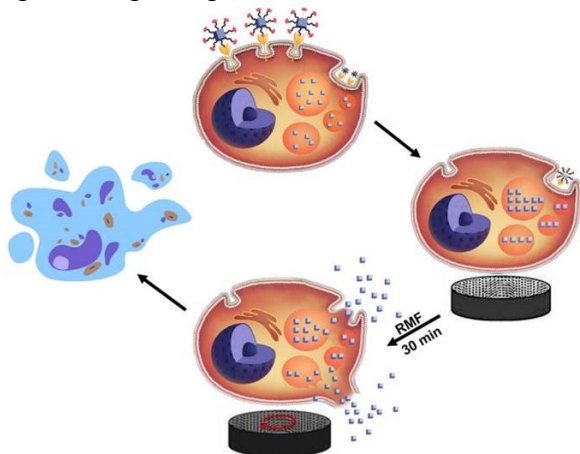


Схема предлагаемого механизма магнитной терапии [1]: высадка магнитных наночастиц на поверхность злокачественных клеток, проникновение и аккумуляция наночастиц в лизосомах; образование агрегатов наночастиц; нарушение проницаемости мембраны клетки с последующим апоптозом (управляемой гибелью клетки). RMF – вращающееся магнитное поле (частота 15 Гц, амплитуда 40 миллиТесла).

Однако такие частицы не обладают главным преимуществом наночастиц – их проникающей способностью. Авторы [1] нашли выход: магнитные наночастицы, попав внутрь клеток, под действием магнитного поля собираются в стопки-агрегаты с большим магнитным моментом. Вращаясь в магнитном поле, агрегаты разрушают мембраны клеточных органелл, вызывая гибель клетки.

[1] Y. Shen et al, *Theranostics* 7, 1735 (2017)

13 июня 2017/ Новостной сайт Phys.org



Пчелиный компас

Вслед за птицами, рыбами и пресмыкающимися пчелы причислены к разряду животных, ориентирующихся по магнитному полю.



Группа канадских ученых сделала такой вывод на основании двух фактов: наличия в организме пчел магнетита и поведения пчел после воздействия сильного магнитного поля.

Частицы находятся в брюшках пчел. Это ученые продемонстрировали весьма наглядно, изготовив пилюли из трех основных частей тела насекомых – головы, грудного отдела, брюшка и поместив их в СКВИД-магнитометр. Характерная петля гистерезиса присутствовала только в полевой зависимости для третьего вида образцов.

В другом виде экспериментов пчелы обучались выбирать из двух приманок, ту, что была рядом с катушкой, создающей поле 15 Э. Далее половина пчел подвергалась действию поля 2 кЭ от постоянного магнита, после чего насекомых снова запускали на поиски корма. Способность находить еду у «намагниченных» пчел резко снижалась.

От редакции Бюллетеня: обращает на себя внимание тот факт, что поле приманки в 30 раз превышало магнитное поле Земли, а магнитный момент брюшка был едва заметен даже с помощью СКВИДа (10^{-6} электромагнитных единиц в расчете на одну пчелу). Не ставя под сомнение чувствительность пчелы к сильному магнитному полю, все же усомнимся в значении этого механизма для ориентации пчелы в естественных условиях. Тем более что у них уже есть отличный компас – чувствительность к поляризации света.

[1] Lambinet V et al *Proc. R. Soc. B* **284**, 20162873.

27 марта 2017/ IOP
Physicsworld.com

Конференции и школы по магнетизму 2017-2018, открытые для регистрации

Даты проведения (дедлайн)	Название конференции	Место проведения	Контактная информация
10-13 декабря 2017 (1 июля)	The 4th International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications (ISAMM)	Фукуок, Вьетнам	http://isamma2017.vn
25-27 октября 2017 (2 июля)	Workshop on Antiferromagnetic Spintronics	Гренобль, Франция	http://www.wkspastronics.fr
18-22 сентября 2017 (3 июля)	XXI Международная конференция по постоянным магнитам	Суздаль	http://permanentmagnet.ru
7-10 января 2018 (29 сентября)	Magnetics and Optics Research International Symposium 2018	Квинс Колледж, Нью-Йорк, США	http://www.moris-optics.org
16-20 июля 2018 (2 марта 2018)	International Conference on Magnetism (ICM-2018)	Сан-Франциско, США	http://www.icm2018sf.org
26-30 августа 2018 (19 февраля 2018)	The 25th International Workshop on Rare-Earth and Future Permanent Magnets and Their Applications	Пекин, КНР	http://www.repm2018.org
1-5 сентября 2018 (1 марта 2018)	International Conference on Molecule-based Magnets – ICMM2018	Рио де Жанейро, Бразилия	http://www.icmm2018.com.br



Выпуск подготовлен при поддержке компании ООО «Перспективные магнитные технологии и консультации» – одного из ведущих производителей магнитных систем и измерительного оборудования в области магнетизма на российском рынке.

Сайт компании: <http://www.amtc.ru/info/>

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>