

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

март 2017 г.

№1

Уважаемые читатели, в первом номере 2017 года вашему вниманию предлагается обзор А.П. Пятакова по нейроморфной спинтронике, традиционная подборка новостей со страниц сайтов и журналов, а также информация по основным магнитным конференциям 2017 года.



**Поздравляем женскую половину
магнитного сообщества
с наступающим праздником 8 марта!**

МАГНИТИНФОРМ



Moscow International Symposium on Magnetism (MISM) на протяжении многих лет остается одним из самых представительных форумов по магнетизму, собирая участников со всего мира.

В 2017 году MISM пройдет в МГУ им. М.В. Ломоносова с 1 по 5 июля. Срок подачи тезисов докладов истекает **1 апреля**.

Труды конференции в форме статей будут опубликованы в журналах **Journal of Magnetism and Magnetic Materials** (для приглашенных докладов) и **EPJ Web of Conferences** (для устных и стендовых докладов).

Сайт конференции: <https://mism.magn.ru>

Second International Workshop "Novel Trends in Physics of Ferroics", 6-8 июля 2017

(Сателлитная конференция MISM-2017)

На следующий день после окончания MISM-2017 в Санкт-Петербурге в Физико-техническом институте им. Иоффе стартует Вторая международная конференция «Новые тенденции в физике ферроиков». Цель конференции — собрать вместе ученых, работающих в области физики магнитоупорядоченных материалов, сегнетоэлектриков и мультиферроиков. Особое внимание будет уделено физическим аспектам управления зарядовыми и спиновыми степенями свободы в новых быстроразвивающихся областях спинтроники и магноники.

Контакты

E-mail: ferrolab@mail.ioffe.ru

Тел: +7 812-292-79-63

Сайт: <http://www.ioffe.ru/optics/NTPF2017>



С 20 по 24 августа 2017 года на побережье Балтийского моря будет проводиться International Baltic Conference on Magnetism: focus on functionalized magnetic structures for energy and biotechnology. В рамках данной конференции будут освещены наиболее актуальные и перспективные исследования и разработки как в области биомедицины (магнитожидкостная гипертермия, адресная доставка лекарств, тераностика), так и энергосберегающих технологий (мультикалорики, композиционные материалы, постоянные магниты без редких земель и др.). Ведущие в данной области ученые со всего мира соберутся в курортном городе – Светлогорске. Конференция будет проводиться на базе Балтийского федерального университета имени И. Канта.

Подача тезисов для участия в конференции открыта до **1 апреля 2017 года**. Труды конференции будут опубликованы в журналах **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**.

Темы конференции/ключевые слова:

- Magnetic materials for biomedical applications
- Manipulation of nanoparticles. Tweezers
- Hyperthermia
- Drug delivery
- MRI
- Magnetic particle imaging
- Microfluidics + NPs

- Lab-on-a-chip
- Bio-sensors
- Simulation Methods
- Rare earth-free permanent magnets and applications
- Caloric and multicaloric materials
- Phase transitions and magnetic materials
- Multiphase and composites materials
- Magnetostrictive and magnetoelastic materials

Пленарные докладчики:

Prof. Russel Cowburn
(Великобритания)

Prof. Kannan M. Krishnan (США)

Prof. Oliver Gutfleisch (Германия)

Приглашенные лекторы:

- Prof. Ekkes Brück (Нидерланды)
- Dr. Elena Rozhkova (США)
- Prof. Andrei V. Petukhov (Нидерланды)
- Prof. Manuel Vazquez (Испания)
- Dr. Rastislav Varga (Словакия)
- Prof. Arkady Zhukov (Испания)
- Prof. Jürgen Kurths (Германия)
- Prof. Alexander Majouga (Россия)
- Prof. Franca Albertini (Италия)
- Prof. Andrey Fedyanin (Россия)
- Prof. Anatoliy Snigirev (Россия)
- Dr. Davide Peddis (Италия)
- Dr. Makis Angelakeris (Греция)
- Prof. Nora Dempsey (Франция)
- Dr. Maria del Puerto Morales (Испания)

Контакты: http://lnmm.ru/ibcm_2017

E-mail: ibcm@lnmm.ru

АКТУАЛЬНО

В поисках четвертого элемента или нейроморфная электроника

В 1971 году Леон Чуа – профессор китайского происхождения из Университета Беркли обратил внимание на зияющую дыру в классификации элементов электрических цепей. Действительно, мы знаем, что сопротивление характеризуется вольт-амперной характеристикой, емкость связывает электрический заряд и напряжение, индуктивность – магнитный поток с электрическим током (рис.1). И только четвертый угол схемы на рисунке 1 остается не занятым никаким из известных элементов. В духе Фэн-шуй профессор Чуа решил уравновесить диаграмму четвертым элементом, связывающим магнитный поток и заряд, который он назвал *мемристором* [1].

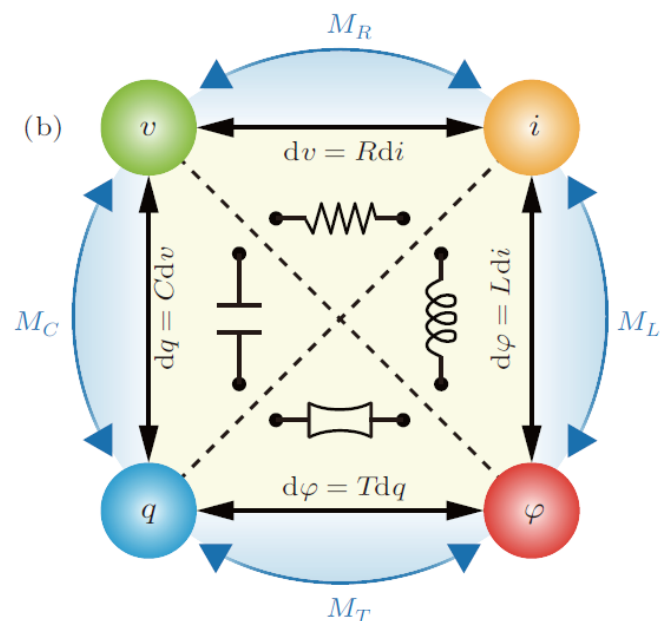


Рис.1. Диаграмма двухполюсных элементов электроники: линейные резистор, конденсатор и емкость дополнены четвертым элементом – *транстором* [2]. Элементы с памятью, соответствующие четырем основным элементам: M_R – мемристор, M_C – мем-конденсатор, M_L – мем-индуктивность и M_T – мем-транстор.

У нашего современника возникает соблазн связать это название с модным интернет-словечком «мем». Однако термин «мем» как единица культурной информации появился лишь пятью годами позже публикации Чуа – в книге Ричарда Докинза «Эгоистичный ген», как производная от греческого слова

«подражать». От того же корня, кстати, ведут свое происхождение мимы, мимикрия... и символ 8 марта – мимоза.

Хотя мемристор и стал своего рода научным мемом, название его происходит от совсем иного корня – *memory* (память), и связано оно с непростой историей рождения термина. Дело в том, что, указав на четвертый элемент, Чуа тут же сделал шаг назад, заявив, что последний, не имеет права на самостоятельное существование, и сводится ... к сопротивлению. Дескать, заряд есть интеграл от электрического тока, а магнитный поток (в силу закона электромагнитной индукции Фарадея) – интеграл от напряжения. И потому, мол, нетривиальным элементом был бы элемент с нелинейной, гистерезисной зависимостью между потоком и зарядом (а значит, между напряжением и током). Так четвертым элементом был объявлен, по сути, резистор с памятью. Отсюда проистекает позднейшая путаница, приведшая к появлению дополнительных названий того же элемента вроде «транстора», а также термина-химеры мемтранстора [2], по аналогии с ранее введенными мем-конденсатором и мем-индуктивностью [3].

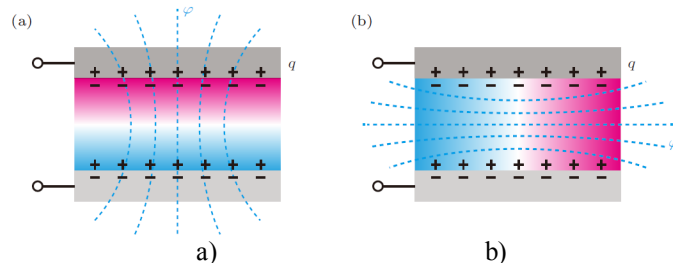


Рис.2. Реализация четвертого элемента на основе магнитоэлектрического эффекта: а) продольный магнитоэлектрический эффект б) поперечный магнитоэлектрический эффект.

Возвращаясь к исходному определению четвертого элемента, стоит отметить, что заряд может порождать магнитный поток вследствие совершенно иного механизма, кардинально отличающимся от электромагнитной индукции, первоначально предложенной профессором Чуа. Из рассмотрения Леона Чуа выпал открытый десятилетием ранее магнитоэлектрический эффект, при котором намагниченность возникает под действием постоянного электрического поля (рис.2). Таким образом, появляется возможность создания нетривиального четвертого элемента, равноправного остальным трем: взаимосвязь между

магнитным потоком и зарядом имеет магнитоэлектрическую природу и может быть линейной, подобно вольт-амперной характеристике резистора, а также аналогичным характеристикам индуктивности и конденсатора (рис.3). Чтобы не путать четвертый линейный элемент с мемристором, ученые из Института физики Китайской Академии наук в недавней статье [2] предложили его называть «транстором» (оставляя читателя самому гадать о причинах выбора именно такого названия, похожего до степени смещения с транзистором). Поскольку знак компонент тензора магнитоэлектрического эффекта может быть различным (рис. 3d), то появляется дополнительная возможность транстору иметь как положительную, так и отрицательную «транстость» (или кто-нибудь из читателей придумает лучший перевод к слову transtance?).

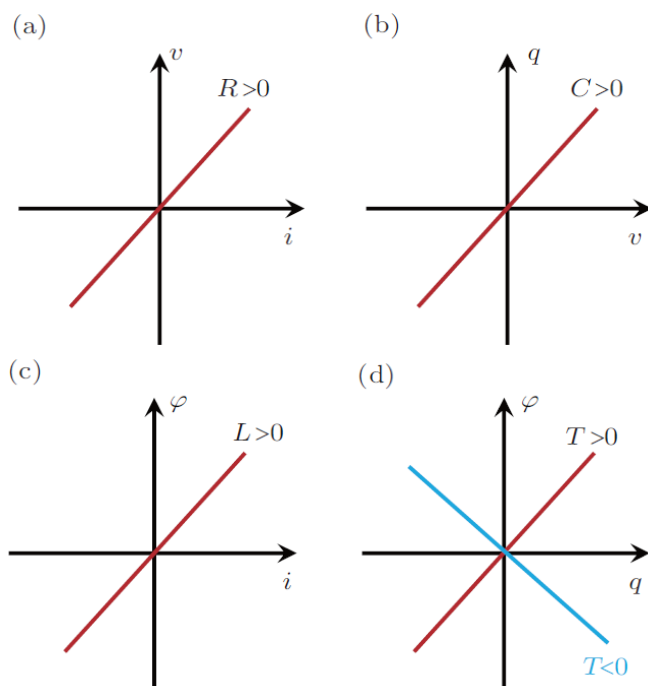


Рис.3. Характеристики четырех линейных элементов: а) резистора б) конденсатора с) индуктивности д) транстора

В этой же статье [2] предлагается и «внести порядок» в классификацию нелинейных элементов: нелинейный элемент мемристор остается сопротивлением с памятью, и ему должны соответствовать мем-кондесатор (memcapacitor), мем-индуктивность (meminductance), а также мемтранстор, как магнитоэлектрический элемент с памятью (обозначены на рис. 1 синими стрелками и

буквами “М” с индексами L,R,C,T). Характеристики таких элементов будут иметь гистерезисный характер (рис. 4).

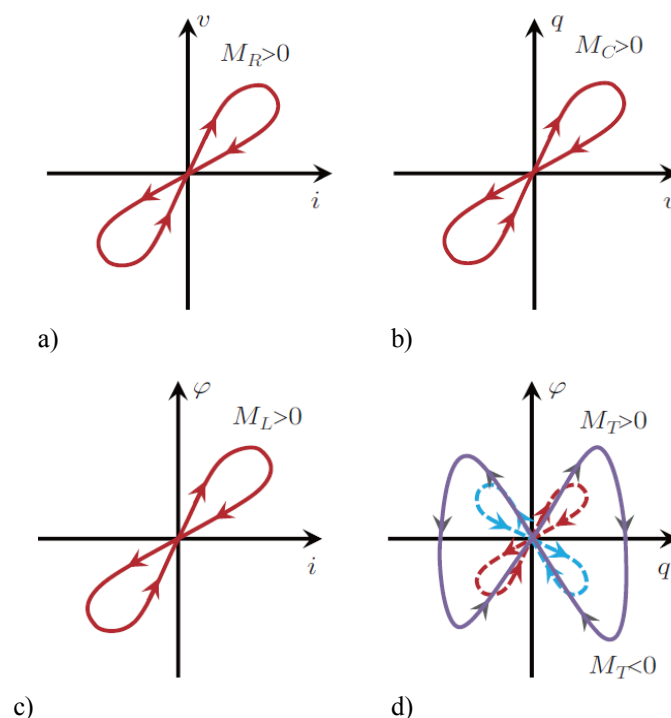


Рис.4. Гистерезисные характеристики элементов с памятью: а) мемристора, б) мем-конденсатора с) мем-индуктивности д) мем-транстора (бабочковидная траектория характерна для больших значений заряда и потока).

Эффект памяти для сопротивления может быть достигнут за счет перемещения кислородных вакансий в полупроводнике, как это было реализовано в структуре на основе оксида титана [4].

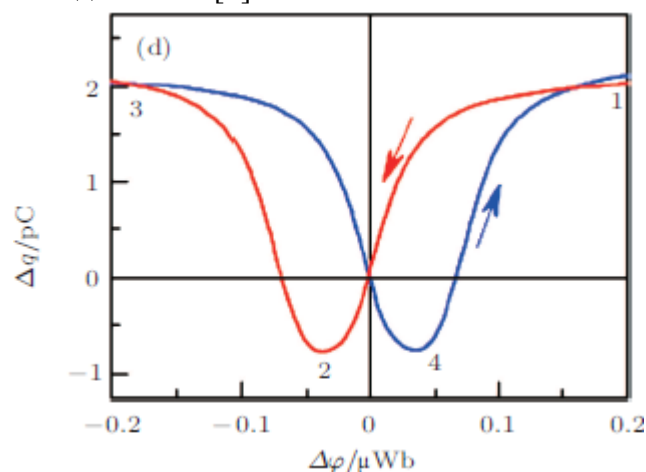


Рис.5. Гистерезис типа «бабочка» для зависимости заряд-магнитный поток для мемтранстора.

Для четвертого элемента эффект памяти не является чем-то сверхъестественным, поскольку магнитоэлектрические явления, как правило, наблюдаются в мультиферроиках, для

которых характерно наличие петель гистерезиса. Вполне закономерно, что реализация мемтранстора выполнена в структуре на основе высокотемпературного мультиферроика – гексаферрита Y-типа $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{1.5}\text{Co}_2\text{Fe}_{11}\text{AlO}_{22}$ [5]. Геликоидальная структура в нем под действием относительно небольшого магнитного поля трансформируется в коническую фазу. Последняя характеризуется электрической поляризацией, наведенной за счет антисимметричного обмена Дзялошинского-Мории (подробнее см., например, обзор *Спиновые структуры на новом витке* в Бюллетене МАГО №1 2012). Зависимость заряда на обкладках конденсатора, содержащего керамику гексаферрита, от магнитного потока представлена на рисунке 5. Она имеет форму бабочки и качественно соответствует теоретической зависимости, представленной на рисунке 4 д.

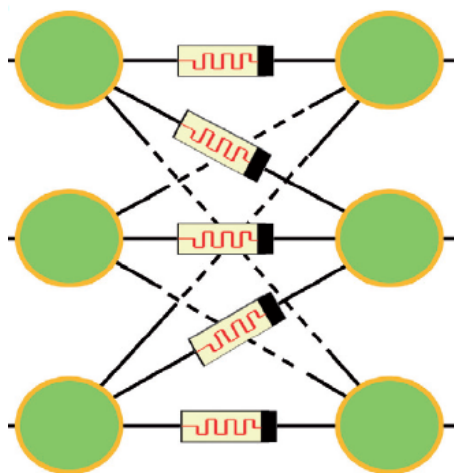


Рис.6. Нейронная сеть на основе мемристоров [3].

И, наконец, о практических приложениях новых элементов. Мемтранстору, также как ранее мемристору [6] прочат будущее в так называемой *нейроморфной электронике*, электрические цепи которой воспроизводят работу нейронных сетей. При этом роль нейронов могут выполнять обычные полупроводниковые транзисторы, а в качестве синапсов (соединений между нейронами) будут выступать элементы с памятью (рис. 6). Как было продемонстрировано учеными на примере мемристора [6], для элементов с памятью характерно свойство, называемое синаптической пластичностью — увеличение силы связи между нейронами при многократном воздействии. Синаптическая пластичность как раз и является механизмом,

обеспечивающим способность нейронных сетей к обучению.

Отметим, что магнитоэлектрический элемент с памятью можно реализовать не только на основе мультиферроика, но и в композиционной структуре пьезоэлектрик/магнитострикционный материал. При этом связь магнитного потока и электрического заряда будет опосредована механической деформацией (по-английски *strain*), поэтому такие нейроморфные элементы относят к *стрейнтронам* [7]. Стрейнтронике был посвящен обзор в №1 Бюллетеня МАГО 2016 года.

А. Пятаков

Литература

- [1] L. Chua, "Memristor-The missing circuit element," *IEEE Trans. Circuit Theory*, vol. 18, no. 5, pp. 507–519, 1971.
- [2] D.-S. Shang, Y.-S. Chai, Z.-X. Cao, J. Lu, and Y. Sun, "Toward the complete relational graph of fundamental circuit elements," *Chinese Phys. B*, vol. 24, no. 6, p. 68402, 2015.
- [3] M. Di Ventra and Y. V. Pershin, "Memory materials: A unifying description," *Mater. Today*, vol. 14, no. 12, pp. 584–591, 2011.
- [4] D. B. Strukov, G. S. Snider, D. R. Stewart, and R. S. Williams, "The missing memristor found," *Nature*, vol. 453, no. 7191, pp. 80–83, May 2008.
- [5] S.-P. Shen, D.-S. Shang, Y.-S. Chai, and Y. Sun, "Realization of a flux-driven memtranstor at room temperature," *Chinese Phys. B*, vol. 25, no. 2, p. 27703, 2016.
- [6] S. H. Jo, T. Chang, I. Ebong, B. B. Bhadviya, P. Mazumder, and W. Lu, "Nanoscale Memristor Device as Synapse in Neuromorphic Systems," *Nano Lett.*, vol. 10, no. 4, pp. 1297–1301, Apr. 2010.
- [7] A. K. Biswas, J. Atulasimha, and S. Bandyopadhyay, "The straintronic spin-neuron," *Nanotechnology*, vol. 26, no. 28, p. 285201, 2015.

НОВОСТИ МИРОВОГО МАГНЕТИЗМА

Еще раз о том, кто горшки обжигает

Как говорит известная поговорка, обжиг – не дело высших сил. Однако у исследователей из Тель-Авивского и Американского Еврейского университетов свой взгляд на этот вопрос. Как показали исследования, печать на сосудах ставит не только мастер, но и магнитное поле Земли.



Рис.1 Фрагмент ручки горшка с печатью из Рамат Рахель.

На Ближнем востоке еще до нашей эры была обязательной маркировка гончарных изделий, позволяющая судить о времени и регионе их изготовления. В то же время, наночастицы магнитных оксидов, содержащиеся в глине, остывая после нагрева в печи «запоминают» величину и направление магнитного поля, в котором они находятся.

В результате союза археологии и палеомагнетизма восстановлена картина долговременных изменений магнитного поля Земли. Как оказалось, на протяжении периода с восьмого по второй век до н.э., магнитное поле, испытывая кратковременные всплески, в среднем уменьшилось почти на треть. Это означает, что мы можем не драматизировать те изменения, которые наблюдаются в геомагнитном фоне на протяжении последних двух веков. Как всегда, история дает нам утешающий пример: бывало и хуже.

[1] E. Ben-Yosefa et al, Proceedings of the National Academy of Sciences (2017). DOI: 10.1073/pnas.1615797114

14 февраля 2017/ Новостной сайт Phys.org



Синапсы на скирмионах

Магнитные скирмионы – топологические солитоны, о которых много раз писалось в Бюллетене, рассматриваются в настоящее время как перспективные объекты для замены существующих способов магнитного представления битов информации. Китайские ученые предлагают пойти дальше – создать с помощью скирмионов элемент нейроморфных схем [1].

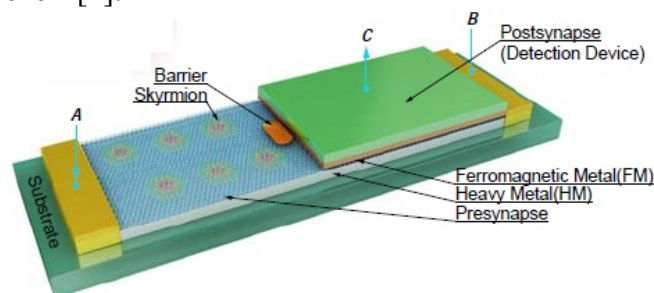


Рис. 2. Схематическое изображение трековой структуры (race track). А и В – электроды, через которые проходят обучающие импульсы. С – контакт, с которого можно считать «вес синапса» по магнитосопротивлению.

Устройство будет представлять собой элемент трековой памяти, т.е. магнитную полосу на подложке из тяжелого металла. В такой системе возможно появление скирмионов, перемещаемых импульсами спин-поляризованного тока [2]. Отличает данную схему от уже описанных ранее наличие энергетического барьера (области с измененной магнитной анизотропией), играющего роль синапса – контакта нервных клеток.

Как показывает численное моделирование, магнитосопротивление структуры зависит от предыстории движения скирмионов через барьер. Проводимость может как увеличиваться, так и уменьшаться под действием, соответственно, положительных и отрицательных стимулов. Это обуславливает способность схемы к обучению. Причем удалось смоделировать как кратковременную, так и долговременную синаптическую пластичность, создав твердотельную нейроморфную систему с относительно низким (около 1 пДж) энергопотреблением на одну операцию.

[1] Yangqi Huang et al, Magnetic skyrmion-based synaptic devices, *Nanotechnology*, Volume 28, Number 8, 08LT02 (2017)

31 января 2017/ IOP
Physicsworld.com

Ноктюрн на линиях магнитного поля

Пифагорейцы учили, что наша Земля окружена небесными сферами, которые издают особую музыку. Правда, слышать ее мог, похоже, только основатель школы, но выражение «музыка небесных сфер» осталось, вместе с традицией выделять в октаве семь нот (по числу планет, известных древним).

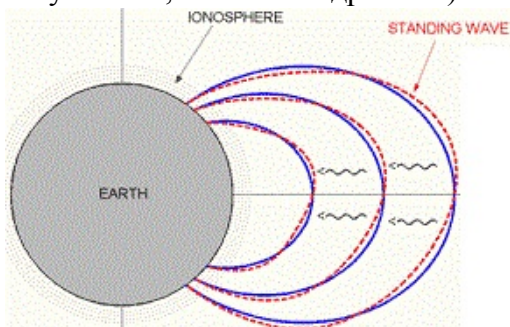


Рис. 3. Резонанс силовых линий: собственные колебания линий напоминают стоячие волны в струне. Волнистыми стрелками показаны также объемные волны.

Ирония ситуации заключается в том, что как оказалось, мы действительно, живем внутри гигантского музыкального резонатора – магнитосферы. Правда, звуковые волны путешествующие в нем, не совсем те, к которым мы привыкли, а магнитозвуковые волны в плазме.

Интересно разнообразие стоячих волн, возбуждаемых в магнитосфере – это и «резонанс силовых линий» (рис.3), и собственные колебания поверхности «мембраны» — границы магнитосферы, и колебания внутри объемного резонатора, образованного границами внутри магнитосферы. В музыкальных терминах, магнитосфера является одновременно и струнным, и ударным и духовым инструментом. К тому же магнитосфера подвержена постоянным изменениям под действием солнечного ветра, так что ее музыка весьма причудлива.

Британские ученые даже объявили конкурс на сайте [1], где можно скачать записи магнитозвуковых волн (усиленные и транслированные в звуковой диапазон) и сделать музыкальный ролик из понравившегося фрагмента.

[1] Space Sound Effects short-film competition <https://ssfx.qmul.ac.uk>

Магнитное поле закручивает гайки

... точнее, винты. По крайней мере, так поставлен эксперимент в исследовательской лаборатории компании Филипс [1].

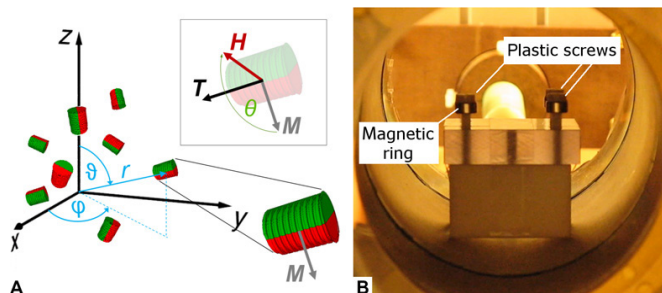


Рис. 4. Закручивание винтов магнитным полем: а) схематическое изображение б) фото эксперимента

Если магнитное поле циклически меняет направление, то оно может закрутить специальным образом намагниченную шляпку винта (рис.4а). Но как заставить крутиться определенный винт (рис. 4б), не затронув остальные? Экспериментаторы успешно справились с этой задачей, используя катушки Гельмгольца и Максвелла. Напомним, что в отличие от катушек Гельмгольца, в катушках Максвелла токи текут в противоположные стороны, создавая градиентное поле так, что посередине между катушками результирующее поле равно нулю. Если винт разместить в этой точке, то на него будет действовать только однородное вращающееся поле от катушек Гельмгольца, что и требуется для закрутки. При отходе от «нулевой» точки постоянное поле от катушек Максвелла уже не равно нулю, оно заклинивает оказавшийся в нем винт, наклоняя его ось. Нулевую точку перемещают за счет дополнительного постоянного поля смещения. Таким образом, можно прицельно закручивать один винт, блокируя остальные.

Это изобретение предлагается использовать в имплантологии, для «доводки» уже вживленных имплантатов, а также для управления роботами: пример такой игрушки из конструктора Lego можно увидеть в русском обзоре изобретения [2].

Подробнее:

[1] J. Rahmer et al, Spatially selective remote magnetic actuation of identical helical micromachines, Science Robotics, Vol. 2, Issue 3, DOI: 10.1126/scirobotics.aal2845

[2] Анатолий Алиазар, Физики научились закручивать винты магнитным полем <https://geektimes.ru/post/285960/>

16 февраля 2017

23 февраля 2017/ Новостной сайт Phys.org

Конференции и школы по магнетизму 2017 года, открытые для регистрации

Даты проведения (дедлайн)	Название конференции	Место проведения	Контактная информация
3-6 сентября (6 марта)	The 18 th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics	Шамони-Мон-Блан, Франция	http://isem2017.org
17-21 июля (7 марта)	International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES 2017)	Прага, Чехия	http://www.sces2017.org
19-21 июля (15 марта)	International conference on Advanced Nanomaterials (Magnetic, Spintronics)	Авейру, Португалия	www.anm2017.com
17-21 июля (15 марта)	International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES 2017)	Прага, Чехия	http://www.sces2017.org
7-11 августа (31 марта)	Magnonics 2017	Оксфорд, Великобритания	https://magnonics2017.com
1-5 июля (1 апреля)	The Moscow International Symposium on Magnetism (MISM)	Москва	https://mism.magn.ru
20-24 августа (1 апреля)	International Baltic Conference on Magnetism 2017	Светлогорск	http://lnmm.ru/ibcm_2017
25-28 июля (1 апреля)	Topology matters	Майнц, Германия	https://www.spice.uni-mainz.de/tm-workshop-2017
2-6 июля (14 апреля)	Workshop MagIC2017 – Magnonics, Interactions and Complexity	Познань, Польша	http://magic2017.amu.edu.pl
9-20 октября (15 апреля)	2017 European School on Magnetism	Каржез, Корсика	http://magnetism.eu/66-esm-2017.htm
15-17 ноября (15 апреля)	The 9th European Conference on Numerical Methods in Electromagnetics (NUMELEC 2017)	Париж, Франция	https://numelec2017.sciencesconf.org
27-31 августа (1 мая)	6th European Conference on Molecular Magnetism 2017 (ECMM2017)	Бухарест, Румыния	http://ecmm2017.ro
17-22 сентября (1 мая)	Bad Honnef Physics School on Magnetism: From Fundamentals to Spin based Nanotechnology	Дуйсбург, Германия	http://www.dpg-physik.de/dpg/pbh/aktuelles/S317.html
Сентябрь 2017	XXI Международная конференция по постоянным магнитам	Суздаль	http://permanentmagnet.ru



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>

Редколлегия:

Главный редактор: А.П. Пятаков

Научные редакторы: М.П. Шорьгин, 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>