



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

март 2014 г.

№1

Уважаемые читатели, в первом номере 2014 года вашему вниманию предлагается обзор по магнитным монополям, традиционная подборка новостей со страниц сайтов и журналов, а также информация по основным магнитным конференциям 2014 года.

МАГНИТИНФОРМ



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

В 2014 году MISM пройдет с 29 июня по 3 июля на физическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова. Срок подачи тезисов докладов истекает **15 марта**.

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

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

First International Workshop

“Novel Trends in Physics of Ferroics”, 4-6 июля 2014

(Сателитная конференция MISM-2014)

На следующий день после окончания MISM-2014 в Санкт-Петербурге в Физико-техническом институте им. Иоффе стартует Первая 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.

Темы конференции:

- Спинтроника и магноники
- Мультиферроики
- Новые подходы к управлению зарядами и спинами
- Новые методы исследования ферроиков: терагерцовые, рентгеновские, нейтроннографические и др.

Контакты

E-mail: ferrolab@mail.ioffe.ru

Тел: +7 812 292 79 63

Сайт: <http://www.ioffe.ru/optics/NTPF2014>

АКТУАЛЬНО**Призрак монополя**

Последнее время все чаще на новостных сайтах встречаются сообщения о наблюдении объектов, обладающих свойствами магнитного монополя – частицы с ненулевым магнитным зарядом. Каждый раз говорится, что это сделано впервые, а вводные слова неизменно отсылают к гипотетической частице, предсказанной П. Дираком. Природа наблюдаемых объектов совершенно различна, а общее у них только то ... что ни один из них не является монополем в дираковском смысле (т.е. элементарной частицей), поскольку речь идет о феноменах, наблюдающихся в конденсированном состоянии вещества.

Различие между электрическими и магнитными явлениями было показано еще в начале 17-го столетия английским естествоиспытателем Уильямом Гильбертом в его труде «О магните, магнитных телах и о большом магните — Земле». Это различие проявляется, в том числе, и в отсутствии свободных магнитных зарядов, поиск которых практически прекратился после принятия научным сообществом гипотезы Ампера о молекулярных токах. Однако теоретики возвращались к этому вопросу и после становления классического учения об электромагнитных явлениях. В конце XIX века Пьер Кюри отмечал, что уравнения Максвелла были бы более симметричны, если предположить наличие магнитных зарядов, а в первой половине двадцатого века Поль Дирак, разрабатывая квантовую теорию электромагнитных явлений, вводит гипотетическую частицу, связывая ее существование с дробностью электрических зарядов [2]. С тех пор поиск таких частиц перестал быть занятием лишь маргиналов от науки: попытки обнаружить монополю ведутся на ускорителях, детекторах космического излучения и даже в древних горных породах (см. Бюллетень МАГО [3]). Однако в этом обзоре речь пойдет не об элементарных частицах, а об объектах, по какому-то признаку похожих на них, т.е. являющихся физическими моделями монополей.

Коллективные возбуждения в спиновом льду

Впервые об обнаружении магнитного монополя заговорили в связи элементарными возбуждениями, наблюдаемыми в структуре типа спиновый лёд [4].

Спиновому льду был посвящен специальный обзор в Бюллетене [5]. Напомним, что спиновым льдом называют такое состояние магнитоупорядоченного вещества, типичное для редкоземельных соединений типа $R_2Ti_2O_7$, в котором магнитные моменты ионов тетраэдрической кристаллической решетки подчиняются следующему правилу: два из них смотрят в центр тетраэдра, два наружу (по аналогии с обычным льдом, где такому же правилу подчиняются смещения атомов водорода от позиций в вершинах идеального тетраэдра рис. 1). В обоих случаях заряды скомпенсированы – магнитные и электрические, соответственно.

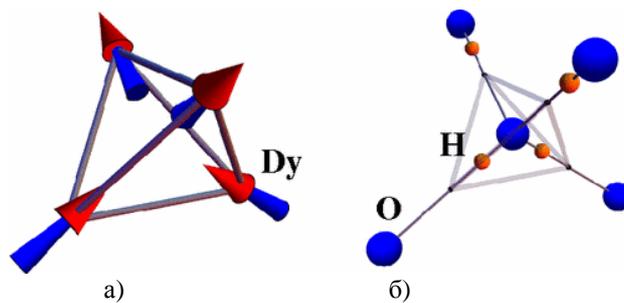


Рис. 1 а) Ориентация спинов в тетраэдре, образованном ионами диспрозия в спиновом льде б) смещение ионов водорода (мелкие шарики) относительно вершин тетраэдра в обычном льде

Теперь представим себе, что в каком-то из тетраэдров вследствие тепловых флуктуаций спин одного из ионов перевернулся. Это элементарное возбуждение соответствует рождению пары магнитных зарядов с противоположными знаками (рис. 2).

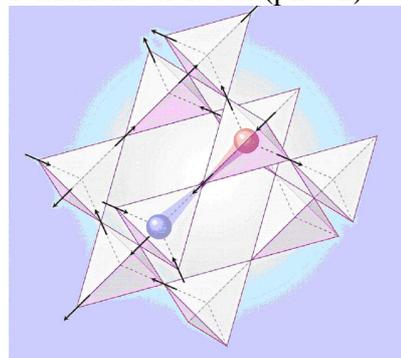


Рис.2 Образование пары монополей противоположного знака в спиновом льду вследствие разворота центрального спина.

Вновь появившиеся квазичастицы могут свободно перемещаться по кристаллу независимо друг от друга, подобно электронно-дырочной паре в полупроводнике.

Внешние проявления монополя могут быть различны: это и характерные для спинового льда магнитные фазовые переходы, которые можно объяснить лишь конденсацией газа из монополей [4], и непосредственно измеряемые с помощью мюонной спектроскопии [5] и нейтронографии [6,7], локальные магнитные поля вблизи монополя, а также магнитный аналог электрического тока [5] (рис.3) и возникновение неравновесной концентрации носителей магнитного заряда [8] (называют даже величину заряда свободных носителей – 5 магнетонов Бора на ангстрем [5] для соединения $Dy_2Ti_2O_7$).

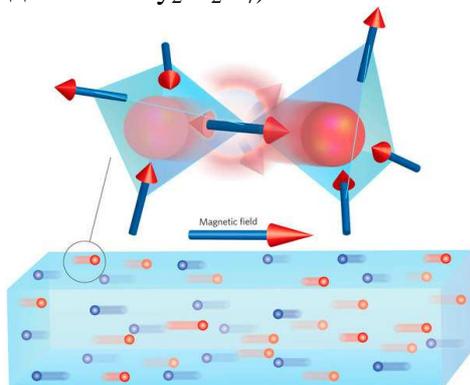


Рис. 3 Пара монополей противоположного знака и их разделение в магнитном поле.

Место встречи скирмионов

Распределение намагниченности, подобное магнитному монополю, возникает также в месте слияния двух скирмионов [9].

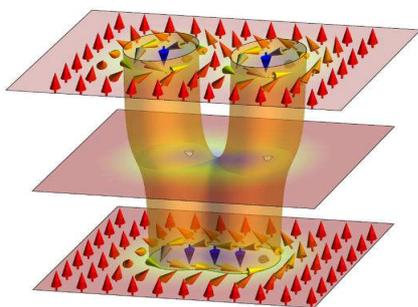


Рис. 4 Расположенные одно под другим изображения различных стадий процесса слияния скирмионов. Монополь находится в месте слияния двух скирмионов.

Скирмионы, подобно монополям, вошли в научную моду сравнительно недавно. Они представляют собой магнитные вихри, в центре

которых намагниченность смотрит противоположно направлению на периферии (рис. 4) Скирмионы возникают в киральных кристаллах и образуют упорядоченную гексагональную решетку. Являясь топологическими структурами, они не могут быть получены или разрушены непрерывной деформацией распределения намагниченности. Тем не менее, они исчезают с разрушением скирмионной решетки при переходе в кристалла в другую магнитную фазу. Этот процесс удалось наблюдать с помощью магнитного силового микроскопа при исследовании поверхности соединения $Fe_{0.5}Co_{0.5}Si$. Скирмионы исчезают путем слияния друг с другом, образуя продолговатые структуры. Численное моделирование показывает, что изменения в топологии происходят с образованием магнитной сингулярности. Эти точечные дефекты могут рассматриваться как квантованные магнитные монополи (рис.4).

Монополь в Бозе-конденсате

Другое направление поиска объектов, аналогичных монополю лежит в области «искусственного магнетизма». Вообще, создание искусственных электрических и магнитных полей – это новая быстро развивающаяся область. Примером тому служит физическое моделирование сверхсильных магнитных полей (больше 100 Тесла) с помощью механических напряжений в графене, о чем рассказывалось в Бюллетене [10].

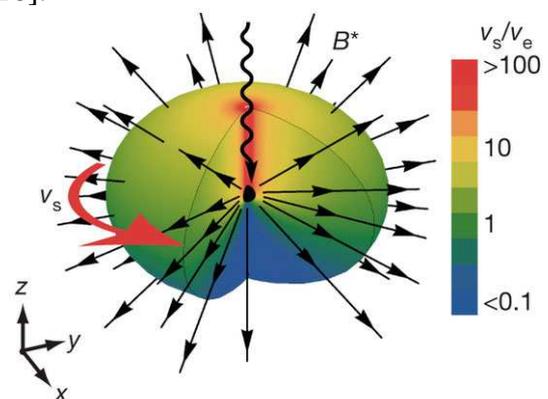


Рис. 5 Распределение скорости (цвет) и завихренности (стрелки) в Бозе-конденсате атомов рубидия. Радиально расположенные линии завихренности моделируют магнитное поле, расходящееся из положительного магнитного заряда. Волнистая линия показывает струну Дирака.

В работе [11] использована аналогия между векторным потенциалом и скоростью движения в газе атомов тяжелых атомов, находящемся в сверхтекучем состоянии при низкой температуре (Бозе-конденсат атомов рубидия при $T \sim 10^{-5} \text{K}$). Магнитному полю в этом случае соответствует вихревое движение.

В отличие от векторного потенциала потоки в газе относительно просто увидеть – это знает всякий, кто видел тень от горячего воздуха над костром или нагретой солнцем крыши. В работе [11] визуализация искусственного магнитного поля осуществлялась с помощью лазерной подсветки. Наблюдение теневой картины позволило обнаружить весьма нетривиальное состояние движения, показанное на рисунке 5 (его зарождали в газе с помощью самого настоящего магнитного поля, намагничивая атомы рубидия). Направления осей вихрей сходились в некоторой точке, а вихревое движение ослабевало по квадратичному закону по мере удаления от него. Если вспомнить, что завихрение аналогично магнитному полю, то картина, представленная на рисунке 5, соответствует магнитному монополю.

Как утверждает авторы [11] их искусственный монополю даже ближе к настоящему, чем те квазичастицы, которые наблюдаются в спиновом льду, поскольку имеет квантовую природу. Кроме того, искусственное магнитное поле позволяет визуализировать так называемую струну Дирака (показанную волнистой линией на рис.5) – одномерная особенность векторного потенциала, на концах которой находятся монополи противоположного знака.

Монополю из зазеркалья

И, наконец, полной абстракцией выглядит еще одна разновидность магнитного монополя, который как предсказывают в статье [12] должен наблюдаться ... в отражении.

Речь идет, конечно, не о зеркальном изображении, а о знакомом со школьной скамьи методе отражений в электростатике: точечный заряд, помещенный над поверхностью металла или диэлектрика, создает такое распределение заряда на поверхности, как если бы помимо заряда—

источника поля, был еще один, находящийся по другую сторону поверхности.

В работе [12] предлагают рассмотреть не обычный диэлектрик, а топологический изолятор, в котором для поверхностных состояний отсутствует запрещенная зона (в обыкновенном диэлектрике даже малое возмущение приводит к образованию запрещенной зоны для поверхностных состояний). Примерами таких сред, обладающих свойствами диэлектрика внутри и проводника на поверхности, могут служить полупроводящий сплав $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ или HgTe , подверженный одноосному растяжению.

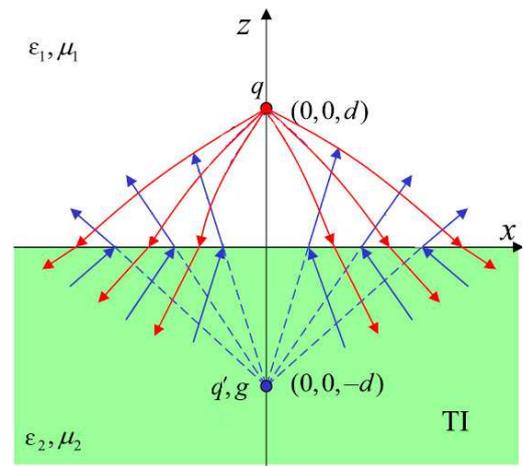


Рис.6 Схема наблюдения магнитного монополя а) магнитный монополю g и заряд q' как отражение заряда q в топологическом изоляторе (TI)

В топологическом изоляторе при условии нарушения временной инверсии (которое можно выполнить, например, покрытием топологического изолятора магнитной пленкой) наблюдается *топологический магнитоэлектрический эффект*. Подобно обычному магнитоэлектрическому эффекту, он описывается материальными уравнениями, в которые входят перекрестные члены по электрическому и магнитному полям. В данном случае электрическая индукция зависит от магнитной, а напряженность магнитного поля от напряженности электрического.

Магнитоэлектрический эффект придает новый смысл школьной задаче. В месте расположения мнимого заряда в такой среде появляется еще и мнимый магнитный монополю, который создает магнитное поле над поверхностью, убывающее с расстоянием как $1/r^2$ (рис. 6).

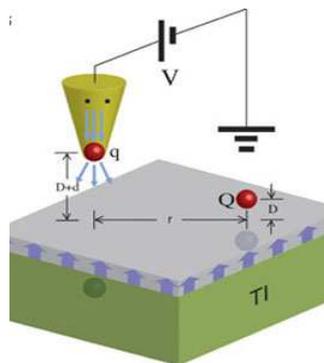


Рис.7 Предполагаемая схема экспериментального детектирования монополя с помощью иглы магнитного силового микроскопа.

Авторами [12] даже предлагается экспериментальная схема по обнаружению монополя методами сканирующей зондовой микроскопии (рис.7). Заряд – источник поля Q располагается над поверхностью топологического диэлектрика, покрытого магнитной пленкой (магнитная пленка нарушает временную симметрию, что является необходимым условием магнитоэлектрического эффекта). По силе притяжения зонда магнитного силового микроскопа к поверхности и ее зависимости от расстояния r можно определить существование и место расположения магнитного монополя под поверхностью. Чтобы отличить это действие от обычного кулоновского притяжения за счет электростатической индукции на игле, на зонд подается электрическое напряжение. Изменяя расстояние r и напряжение V , можно по величине силы, действующей на иглу, определить величину магнитного заряда монополя.

Стоит все же оговориться, что предлагаемая схема не противоречит известному тезису об отсутствии свободных магнитных зарядов и согласуется с уравнением Максвелла $\text{div}\mathbf{B}=0$. В случае обычной электростатической индукции наведение поверхностных зарядов на нейтральном объекте означает только то, что заряд противоположного знака ушел в отдаленные части объекта. Точно так же и здесь: полный магнитный поток через поверхность замкнутой сферы, окружающей заряд и его отражение, должен равняться нулю.

 Все рассмотренные случаи относятся к физики конденсированного состояния вещества, а до обнаружения монополя – элементарной частицы все так же далеко. Это, впрочем, не помешало возникновению многочисленных спекуляций на данную тему (включая создание вечных двигателей [13]). Так что, увидев очередную новость об обнаружении монополя, стоит внимательно присмотреться ... и, скорее всего, мы различим лишь его призрак.

Литература

- [1] P Curie 1894 Séances de la Société Française de Physique (Paris) p. 76.
- [2] P A M Dirac 1931 Proc. Roy. Soc. Lond. A **133** 60
- [3] *Охотники за монополями* Бюллетень МАГО т.14 n.1 с. 4 (2013)
- [4] C. Castelnovo, R. Moessner, S. L. Sondhi, *Magnetic monopoles in spin ice*, Nature, **451**, 42 (2008)
- [5] S. T. Bramwell, S. R. Giblin, S. Calder, R. Aldus, D. Prabhakaran, & T. Fennell, *Measurement of the charge and current of magnetic monopoles in spin ice*, Nature **461**, 956-959
- [6] "Observation of Magnetic Monopoles in Spin Ice", H. Kadowaki, N. Doi, Y. Aoki, Y. Tabata, T. J. Sato, J. W. Lynn, K. Matsuhira, Z. Hiroi, J. Phys. Soc. Jpn. **78**, 103706 (2009).
- [7] D. J. P. Morris, D. A. Tennant, S. A. Grigera, et al Dirac Strings and Magnetic Monopoles in the Spin Ice $\text{Dy}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$, Science, **326** no. 5951 pp. 411-414 (2009)
- [8] C. Paulsen, M. J. Jackson, E. Lhotel, B.Canals, D.Prabhakaran, K.Matsuhira, S. R. Giblin, S.T. Bramwell, Far-from-equilibrium monopole dynamics in spin ice, Nature Physics **10**, 135–139 (2014)
- [9] 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)
- [10] *Графен и магнетизм* Бюллетень МАГО, **12** n.2-3 с. 3 (2011)
- [11] M. W. Ray, E. Ruokokoski, S. Kandel, M. Möttönen, and D. S. Hall, Observation of Dirac Monopoles in a Synthetic Magnetic Field, Nature **505**, 657–660 (2014)
- [12] Xiao-Liang Qi, Rundong Li, Jiadong Zang, Shou-Cheng Zhang, Inducing a Magnetic Monopole with Topological Surface States, Science, **323** no. 5918, pp. 1184-1187 (2009)
- [13] Easy to make free energy, perpetual motion machine using monopole magnet <http://youtu.be/xR6Qait2JGY>

ЗАРУБЕЖНЫЕ ЖУРНАЛЫ И САЙТЫ

Микропроволока как сенсор мобильных телефонов

Остеклованная микропроволока представляет собой металлический сердечник в стеклянной оболочке. Микропроволока была изобретена в СССР в военных целях, в качестве основы камуфляжа самолетов-разведчиков. Теперь не без участия наших соотечественников в Университете страны басков это направление развивается с целью создания чувствительных датчиков, например для мобильных телефонов.



Александр Чижик. Лаборатория магнетизма Университет страны басков.

Сердцевина микропроволоки делается из ферромагнитного сплава. Магнитные свойства и миниатюрность микропроволоки позволяет ее использовать в качестве чувствительного элемента электронного компаса системы навигации мобильного телефона. Совместно с японской компанией Aichi ведутся также разработки систем слежения за транспортом.

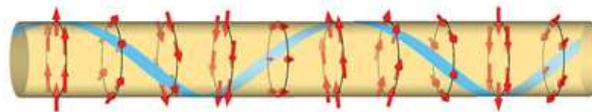
28 января 2014/ Новостной сайт Phys.org



Упорядочение электронных и ядерных спинов в квантовых нитях

Согласно работе американско-швейцарской команды ученых [1], в квантовых нитях при низких температурах может наблюдаться спонтанное упорядочение ядерных и электронных спинов. Исследователи измеряли проводимость в квантовых нитях,

созданных в гетероструктурах из арсенида галлия. Они обнаружили, что при температуре 0.1 К проводимость становится меньше кванта проводимости, что можно объяснить только магнитным упорядочением спинов электронов и ядер.



Геликоидальное упорядочение электронных и ядерных спинов

Как известно, проводящие нити толщиной, сравнимой с фермиевской длиной волны (которая достигает сотни нанометров в двумерном газе гетероструктуры GaAs), представляют для электронов аналог волноводов, что проявляется в виде квантования проводимости с шагом $2e^2/h$, где e -- элементарный заряд, и h -- постоянная Планка. Двойка в формуле возникает вследствие двукратного вырождения по спину. И действительно, при температурах ~ 10 К квантовые нити подчинялись правилу квантования. Однако при температуре ниже 0.1 К проводимость упала вдвое – до e^2/h . Проводимость не изменялась под действием умеренных магнитных полей до 2 Тесла и при уменьшении температуры менее 0.01 К. Такое поведение могло означать одно – вырождение по спину снимается даже в отсутствие поля, что свидетельствует о наличии магнитного упорядочения. Возможность такого упорядочения в виде спирали геликоида из ядерных и электронных спинов ранее предсказывалась в работе [2] для углеродных нанотрубок и квантовых нитей в GaAs.

Следует отметить, что спонтанное упорядочение ядерных спинов наблюдалось и ранее, но при более низких температурах ~ 1 мК. В случае квантовых нитей одномерная геометрия способствует более сильному обменному взаимодействию, и, как следствие, высоким температурам упорядочения.

[1] C. P. Scheller et al, Possible Evidence for Helical Nuclear Spin Order in GaAs Quantum Wires, PRL **112**, 066801 (2014)

[2] Bernd Braunecker, Pascal Simon, and Daniel Loss, Nuclear magnetism and electron order in interacting one-dimensional conductors, Phys. Rev. B **80**, 165119 (2009)

21 февраля 2014/ Новостной сайт

Physicsworld.com

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

Даты проведения (дедлайн)	Название конференции	Место проведения	Контактная информация
29 июня – 3 июля (15 марта)	<i>Moscow International Symposium on Magnetism MISM-2014</i>	Москва, физ. фак. МГУ	https://mism.magn.ru
4-6 июля (23 марта)	<i>Novel Trends in Physics of Ferroics (Конференция-самелит MISM)</i>	Санкт-Петербург, ФизТех. им. Иоффе	https://mism.magn.ru
23 – 27 июня (15 марта)	<i>The European Conference Physics of Magnetism 2014 (PM'14)</i>	Познань, Польша	http://www.ifmpan.poznan.pl/pm14
7-11 июля (16 Марта)	<i>International Conference on Highly Frustrated Magnetism 2014</i>	Кембридж, Великобритания	http://hfm2014.tcm.phy.cam.ac.uk
25 - 25 августа (20 марта)	<i>Progress In Electromagnetics Research Symposium (The 35th PIERS)</i>	Гуанчжоу (Кантон), Китай	http://www.piers.org/piers2014Guangzhou
23 - 27 июня (1 апреля)	<i>International Conference "Magnetic resonance: fundamental research and pioneering applications" (MR-70)</i>	Казанский Федеральный Университет, Казань	http://mr70.kpfu.ru
19 - 23 августа (15 июня)	<i>VI Байкальская международная конференция "Магнитные материалы. Новые технологии", VICMM-2014</i>	Иркутская область, пос. Большое Голоустное (берег Байкала)	http://www.bicmm.isu.ru
3 - 7 августа	<i>«Бриллиэновская и микроволновая спектроскопия магнитных микро- и наноразмерных структур»</i>	Саратовский Государственный университет, г. Саратов	http://brilmics.sgu.ru



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, представляющую 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>