

Основные результаты деятельности группы Фотоники и спинтроники

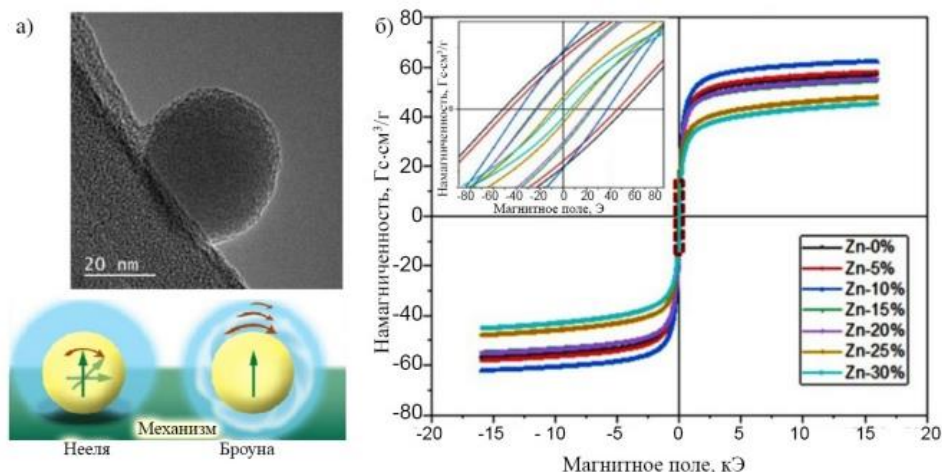
Научные результаты:

- Решение дилеммы «частота-поле»

Optimization of Zn–Mn ferrite nanoparticles for low frequency hyperthermia: Exploiting the potential of superquadratic field dependence of magnetothermal response, [Appl. Phys. Lett.](#) **120**, 102403 (2022).

В магнитной гипертермии, как и в любой медицинской практике, одной из главных проблем остается баланс между лечебным воздействием и побочными эффектами: переменные магнитные поля вызывают как полезный эффект нагрева магнитных наночастиц (накапливающихся в больных клетках), так и нежелательный нагрев здоровых биологических тканей.

Паразитный нагрев возникает за счет электромагнитной индукции Фарадея, величина которой пропорциональна производной магнитного поля по времени. Из этих соображений был сформулирован так называемый критерий Брезовича: произведение амплитуды поля на его частоту не должно превышать $10^9 \text{ A}/(\text{m}\cdot\text{с})$, что примерно соответствует частоте 100 кГц и полю 100Э (~200 полей Земли). Если увеличивать частоту магнитного поля, нужно уменьшать его амплитуду и наоборот. Так возникает дилемма: чему отдать предпочтение – большему полю или большей частоте?

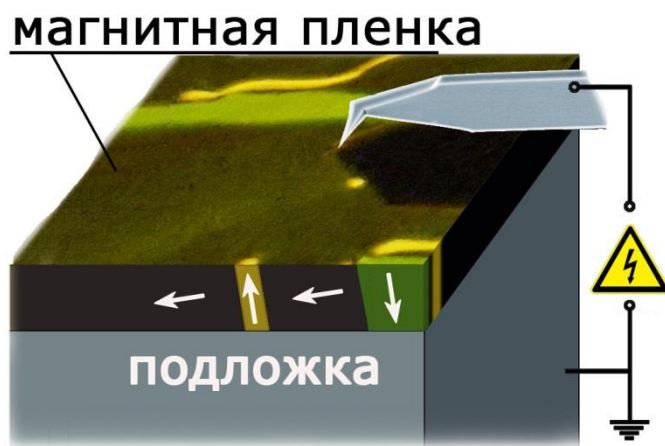


Механизмы нагрева наночастиц в переменном магнитном поле отличаются от индукционных и бывают нескольких видов: для малых (<10 нм) частиц преобладает магнитная релаксация (рис. 1а), которая делится на релаксацию Нееля (частица остается неподвижной и выделяет тепло при перемагничивании за счет преодоления магнитной анизотропии) и релаксацию Броуна (частица вращается и тепло выделяется за счет вязкого трения); для более крупных частиц уже становятся заметны потери на гистерезис (рис. 1б). Наиболее же перспективным, по мнению проф. А.П. Пятакова и его коллег-соавторов, оказывается механизм, связанный с потерями на гистерезис, поскольку площадь частной петли гистерезиса возрастает с амплитудой четвертой и даже пятой степени.

Это позволяет сформулировать такое решение дилеммы: нужно уменьшать частоту, увеличивая амплитуду магнитного поля, оставляя неизменным и равным пределу Брезовича их произведение. Это означает отход от обычной практики использования ультрамалых суперпарамагнитных (<10 нм) частиц, в которых отсутствует гистерезисная петля.

- **Надувание магнитных «пузырей» электрическим полем**

Bipolar electric field-induced nucleation of magnetic domains with 90° domain walls, [Journal of Applied Physics](#), v.129 024103 (2021).



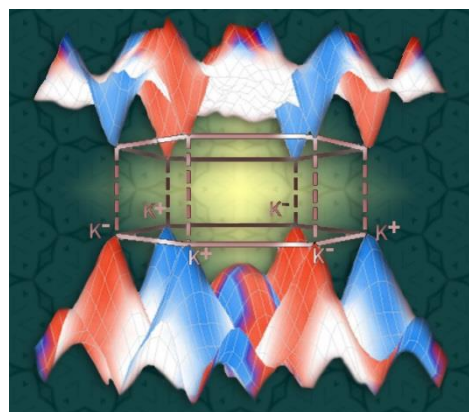
В англоязычной литературе цилиндрический магнитный домен называют “bubble domain”, т.е. домен-пузырь. И это не случайно, поскольку сходство между ними не только визуальное, но и физическое: силы, действующие на доменные границы, аналогичны поверхностному натяжению мыльных пленок. Как показано [в работе](#) сотрудников лаборатории фотоники и спинтроники электрическое поле от заряженного зонда-иглы играет как роль

«мыла» понижающего поверхностное натяжение доменной границы, так и роль давления воздуха, «раздувающего» домен. При этом домены с 90-градусными границами удается зарожать при обеих полярностях электрического напряжения.

- **Долинная поляризация – новый вид взаимосвязи электричества и магнетизма**

Magnetoelectric Coupling in Multiferroic Bilayer VS_2 , [Phys. Rev. Letters](#), v.125 247601 (2020)

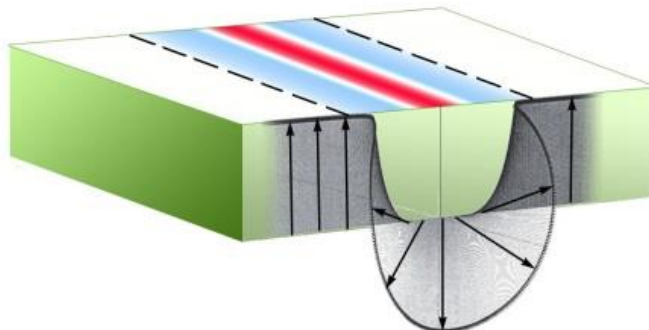
Все знают Кремниевую долину, но далеко не всем, даже физикам, известно понятие долины в кремнии и других полупроводниках. Так называют экстремумы энергетических зон (дно зоны проводимости, потолок валентной зоны). Если такой экстремум находится не в центре зоны Бриллюэна (например, в K-точке), то они представлены в двух «копиях», которые могут быть заселены по-разному, что называют долинной поляризацией электронов. [В статье](#) проф. А.П. Пятакова с коллегами из Шанхайского Университета на примере двумерного материала дисульфида ванадия VS_2 предложен новый вид взаимосвязи между магнетизмом и электрической поляризацией – посредством долинной поляризации.



- **Нуль-градусная доменная стенка как новый объект микромагнетизма и магнитоэлектричества**

The electric-field-induced "zero-degree domain walls" in ferromagnets, [EuroPhysics Letters](#), v.129 27004 (2020)

Само понятие 0-градусная доменная стенка может показаться оксюмороном, поскольку доменные стенки, как правило, разделяют области с различным направлением намагниченности, а здесь намагниченность как была направлена вверх, так и остается. Кроме того, существование такой неоднородности энергетически невыгодно, поскольку, доменная граница, подобно водяной пленке, имеет поверхностное натяжение. Однако, как показано [в работе](#) проф. А.П. Пятакова в соавторстве с коллегами из БашГУ все меняется в электрическом поле: там, где находится электрод (штриховая линия) покачивание намагниченности в одну и другую сторону оказывается энергетически выгодным. Такая 0-градусная граница может быть зародышем нового домена, что можно использовать в комбинированной памяти: электрической записи информации с магнитным считыванием.



Однако, как показано [в работе](#) проф. А.П. Пятакова в соавторстве с коллегами из БашГУ все меняется в электрическом поле: там, где находится электрод (штриховая линия) покачивание намагниченности в одну и другую сторону оказывается энергетически выгодным. Такая 0-градусная граница может быть зародышем нового домена, что можно использовать в комбинированной памяти: электрической записи информации с магнитным считыванием.

- **Спектр изучения позволит предсказать срок службы диодного лазера**

*Прогнозирование срока службы мощных диодных лазеров по спектру их излучения на начальном этапе эксплуатации, **Известия Российской академии наук. Серия физическая**. Т. 84, № 2. — С. 225–228 (2020)*

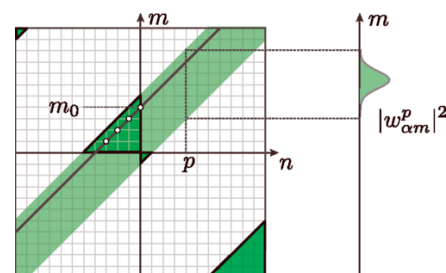
В [работе](#) доцента А.Г. Ржанова в сотрудничестве с коллегами из Национального исследовательского университета "МЭИ" показано, что в мощных лазерных диодах с широким контактом сравнение их спектра при первом включении и спустя 30 часов работы позволяет разработать теоретическую модель формирования спектров и каналов генерации в лазерах (на рисунке показаны картины излучения лазера в дальнем поле вначале работы и спустя 30 часов), а также предсказать срок их работы.



- **Новый вывод основного соотношения для электрической поляризации**

Geometry of projected connections, Zak phase, and electric polarization, [Physical Review B](#), v.**98**, 161101(R) (2018)

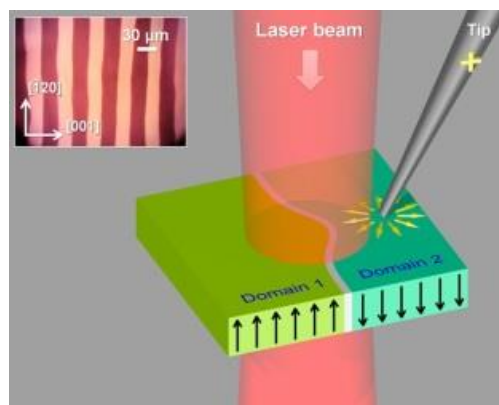
В работе с.н.с. А.С. Сергеева предложен новый подход к выводу основного соотношения современной теории электрической поляризации. Дело в том, что старое определение, которое учат в курсе общей физики (дипольный момент системы объема) мало подходит для периодического кристалла, а находят ее по среднему току через кристаллическую ячейку при изменении состояния кристалла (например, при воздействии на него электрического поля или механического напряжения). В статье показано, что изменение геометрической фазы, известной как фаза Зака, можно быть представлено в виде двух вкладов: ток через границу ячейки и изменение ее дипольного момента, что естественным образом позволяет связать фазу Зака с электрической поляризацией.



- **Доменная граница в роли затвора фотоаппарата**

Electric-field-driven magnetic domain wall as a microscale magneto-optical shutter, [Scientific Reports](#), v.**7**, 264 (2017)

Сотрудники лаборатории фотоники и спинтроники с помощью коллег из Российского Квантового Центра создали прототип устройства, управляющего интенсивностью света, которое работает на новом, электро-магнитооптическом, принципе. Прикладывая переменное напряжение к электроду-игле, можно заставить доменную границу двигаться, открывая и закрывая путь лучу лазера, подобно краю шторки пленочного фотоаппарата. Этот принцип управления может стать основой функционирования миниатюрных и быстродействующих модуляторов света для передачи информации в оптических системах связи.



- **Магнитные топологические дефекты – это не помеха, а напротив, «строительные блоки» спинтроники 4-го поколения**

Микромагнетизм и топологические дефекты в магнитоэлектрических средах, [Успехи Физических Наук](#), т. **185**, 1077–1088 (2015)

Неоднородности в распределении намагниченности – доменные границы, магнитные вихри и т.п. могут рассматриваться как подвижные элементы магнитной памяти и магнитной электроники. В статье сотрудников Лаборатории фотоники и спинтроники показано, что ими можно управлять с помощью электрического поля, что позволит перейти к новым принципам управления в спинтронике.



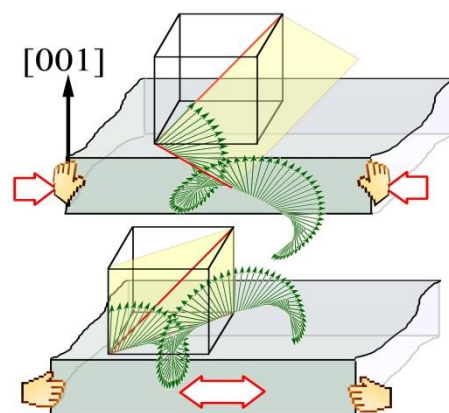
Pyatakov_photospin.mpeg

[Ссылка на видео](#)

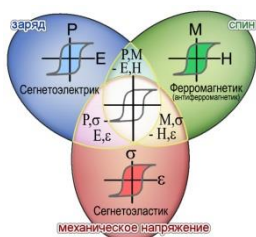
- **Дизайн магнитной текстуры в тонких пленках позволит регулировать работу устройств спинтроники**

Crafting the magnonic and spintronic response of BiFeO₃ films by epitaxial strain, [Nature materials](#), v. 12, 641–646 (2013)

Как показано в статье международной команды исследователей с участием сотрудников Лаборатории фотоники и спинтроники магнитные текстуры особого типа – *спиновые циклоиды*, могут быть использованы для настройки спектров магнонных мод материала, а также величины магнетосопротивления в устройствах спинтроники. Форма и ориентация спиновых циклоидов зависит от механических напряжений, возникающих при эпитаксиальном росте пленки, что позволяет, подбирая величину и знак деформации, проектировать спиновые структуры и создавать материалы с заданными свойствами.

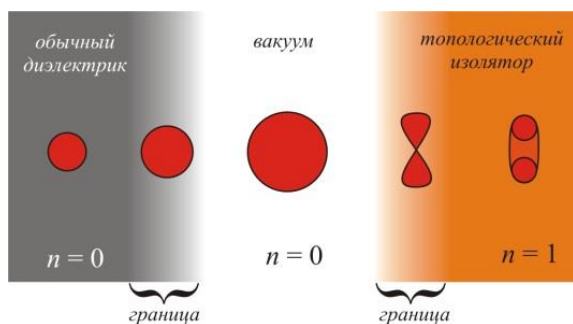
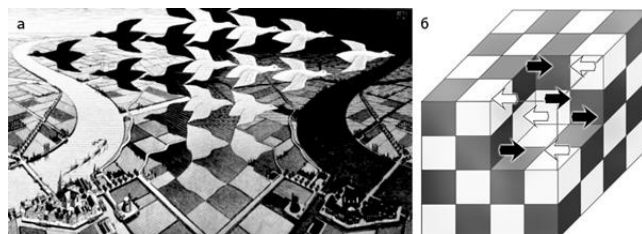


Научно-популярные публикации:



А.П. Пятаков «Мультиферроики» и связанные с ними статьи для [Большой Российской Энциклопедии](#)

А.П. Пятаков, А.К. Звездин, Магнит чувствует электрическое поле, для журнала «[Химия и жизнь](#) - XXI век». - 2013. - № 5. - С. 3-7



А.С. Сергеев «Удивительные свойства электронов» (о [топологических изоляторах](#)) для журнала «Квант» №1, 2014, стр. 7–11

Александр Пятаков, «Вулкан как источник вдохновения» (о [вулкане с молниями](#)), для научно-популярного журнала "КОТ ШРЁДИНГЕРА", n1, Октябрь 2014, с.136

