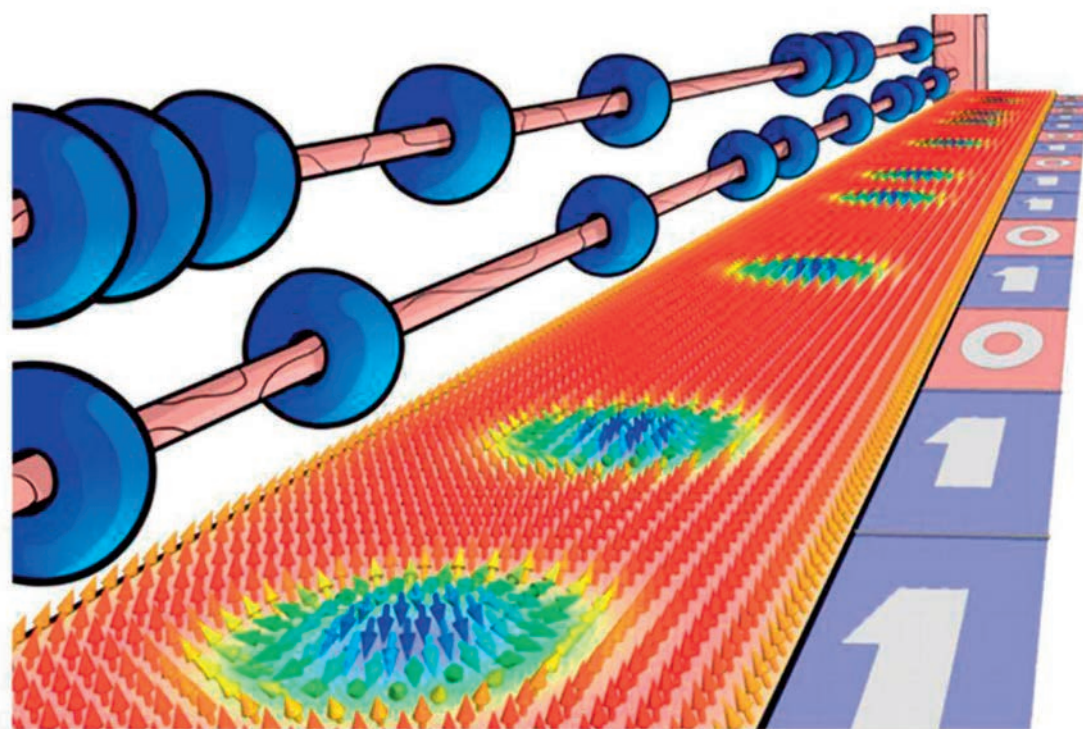


# Физики научились управлять движением магнитных вихрей

Международный коллектив ученых исследовал характеристики движения магнитных вихрей в сверхтонких пленках. Сделан важный шаг на пути к полному управлению магнитными вихрями, а умение ими управлять позволит создать устройства для хранения и передачи информации, более эффективные, чем современные жесткие диски.



Магнитное и электрическое поля взаимосвязаны — первое порождает второе и наоборот. В проводящих электрический ток пленках толщиной несколько ангстрем при воздействии магнитного поля образуются завихрения, называемые скирмионами. Эти объекты в миллионы раз меньше миллиметра и ведут себя так, словно являются настоящими частицами: могут двигаться и отвечать на изменения магнитного поля. Скирмионы обнаружены недавно. А в традиционных магнетиках давно известны другие магнитные возбуждения — магныны (кванты спиновой волны). Магнын — это один перевернутый спин, путешествующий по кристаллу, в котором все остальные спины смотрят в противоположную сторону. Одним из наиболее интересных и актуальных вопросов в мире магнетизма является поиск режимов взаимодействия магнынов и скирмионов. Эти исследования находятся на стыке двух научных направлений — магноники и скирмионики.

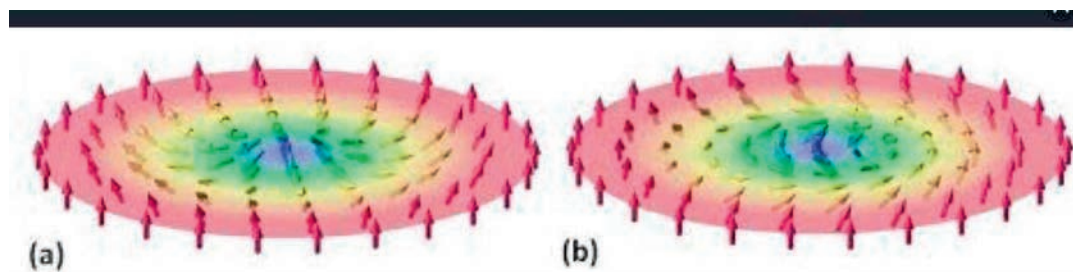
## Закон Мура и магныны

Большое число исследований сейчас направлено на решение фундаментальной научной задачи — поиск новых типов носителей и материальных сред для генерации, обработки и передачи сигналов. Как говорят, на создание альтернативной электроники. Согласно международной «дорожной карте» по развитию полупроводниковых технологий, за последние 15 лет выявились границы применимости закона Мура, согласно которому количество транзисторов, размещаемых на кристалле интегральной схемы, удваивается каждые два года. В области цифровых технологий, роботизированных систем и систем обработки данных эта проблема особенно актуальна, поскольку физический предел, когда закон Мура перестает работать, уже достигнут. Не менее важной проблемой при использовании традиционной полупроводниковой элементной базы является высокое тепловыделение, а как следствие необходимость создания охлаждающих станций.

— Топологическая защищенность и малые размеры скирмиона сулят ему роль важнейшего элемента новой электроники

Ангстрем (Å) — внесистемная единица измерения длины, равная десятой части нанометра (10–10 м, или 0,1 нм). Названа в честь шведского физика Андерса Ангстрема.

— Схематическое изображение скирмионов «разных сортов»



Поэтому актуальной задачей является переход на новую компонентную базу для энергоэффективных систем обработки сигналов на новых физических принципах. Одно из таких направлений — и одно из наиболее перспективных — это магноника, то есть создание новой компонентной базы на основе магнитных возбуждений.

Управление свойствами магнынов возможно в созданных в последнее время многослойных магнынных сетях, представляющих собой топологию планарных связанных магнитных наноструктур. Несомненным преимуществом магнынных сетей является возможность интеграции в полупроводниковые топологии стандартных интегральных микросхем. Это стало возможным благодаря созданию магнитных сред (на полупроводниковых подложках) с малым затуханием спиновых волн, что, в свою очередь, может сыграть ключевую роль в создании устройств нового поколения с повышенной радиационной стойкостью для передовых цифровых систем микроволнового и терагерцового диапазона.

## Магныны и скирмионы

Термин «скирмион» введен Тони Скирмом (Tony Skyrme, он конечно, Скайрм, но у нас прижилась буквальная транскрипция) в 1962 году для интерпретации полученного им решения нелинейных уравнений, причем первоначально в теории элементарных частиц. Позднее скирмион проник в физику магнетизма, здесь-то и был обнаружен экспериментально.

Сейчас благодаря прогрессу в технологии изготовления и исследования магнитных структур оказывается возможным не только наблюдать формирование скирмионов в магнитных пленках, но и управлять процессами генерации, распространения и взаимодействия скирмионов друг с другом.

Скирмион является топологическим объектом. Не вдаваясь в высокую терминологию, это означает вот что. Чтобы уничтожить обычный магнын, нужно перевернуть назад всего один спин. Поэтому магныны живут сравнительно недолго. Со скирмионом так не получится, чтобы его извести, надо повернуть огромное количество спинов. Скирмион живет долго, потому что он топологически защищен. Таким образом, скирмион — перспективный кандидат на роль носителя информационного сигнала в спинтронике.

В наших экспериментах двумерный скирмион формируется из трехмерного распределения намагниченности внутри магнитной пленки. Если представить магнитное поле как потоки воздуха, то скирмионы можно сравнить с вихрями, образующимися под действием локальной разности давления. Кроме того, внутри магнитной пленки распространяются и обычные спиновые волны — магныны.

Как и воздушные вихри и просто потоки воздуха, скирмионы и спиновые волны чувствительны к ландшафту под ними. Размер скирмионов во многом определяется свойствами материала, его несовершенствами. Например, возмущение магнитного поля может сформироваться возле неболь-