

# Магнетизм: новые объекты, нестандартные среды, моделирование

В последнее время появляется множество новых работ, в которых изучаются магнитные явления в различных средах и пространственных масштабах: от элементарных частиц до космологических объектов. В данном выпуске представлены работы, посвященные всевозможным проявлениям магнетизма в твердых телах. Выбранные авторами направления исследований отличаются большим разнообразием. Это ставшие уже «классическими» магнитоупорядоченные кристаллы, органические соединения, наноразмерные магнетики, элементы для спинтроники.

Выпуск открывается статьей И.В. Попова, А.Л. Чугреева и Р. Дронковски, посвященной исследованию свойств различных аллотропов углерода. Аллотропные модификации углерода и материалы на их основе являются перспективными объектами исследования как в фундаментальных, так и прикладных областях науки благодаря уникальным сочетаниям физико-химических свойств. Методом дедуктивной молекулярной механики построена аналитическая модель, которая позволяет получить представление о фундаментальных причинах квазивырожденности аллотропов с принципиально различной пространственной геометрией химических связей. На основе предложенной модели авторами разработан вычислительный пакет, позволяющий рассчитывать энергии аллотропов, их упругие свойства. Численные результаты, полученные с помощью этого пакета, находятся в хорошем согласии с экспериментальными данными.

В статье О.М. Багровой, С.И. Кулинича и И.В. Криве рассчитаны вольт-амперные характеристики одноэлектронного транзистора с вибрирующей квантовой точкой в случае, когда виброны находятся в когерентном (неравновесном) состоянии. При больших амплитудах колебания квантовых точек предсказано существенное подавление проводимости и усиление поляронной блокады напряжением смещения, которое проявляется в виде ступеней в зависимости тока от приложенного напряжения. Высоты этих ступеней отличаются от получаемых в рамках теории Франка–Кондона, справедливой для равновесных вибронов. Показано, что ток в данной модели насыщается при более низких напряжениях, чем для случая, когда виброны находятся в равновесном состоянии.

Работа А.А. Звягина и И.Ю. Робаковой посвящена изучению низкоразмерных органических наноразмерных материалов. Изучен линейный отклик цепочки молекулярного агрегата со случайным распределением межмолекулярных взаимодействий на внешнее би-хроматиче-

ское электромагнитное поле. Наличие линейно поляризованного поля вызывает дополнительное резонансное поглощение на комбинированных частотах поляризованной по кругу и линейной поляризации. Сила поглощения колеблется с амплитудой и частотой линейно поляризованного электромагнитного поля. Дополнительное резонансное поглощение слабее основного поглощения на частоте циркулярно поляризованного поля. Подобное поведение предсказано для взаимодействия бихроматического магнитного поля с квантовой цепочкой со спином  $1/2$  и со случайным распределением обменных констант между ближайшими соседями.

Статья В.О. Черановского, В.В. Славина и Е.В. Езерской посвящена изучению магнитных свойств графеновых нанолент с периодически внедренными атомами переходных металлов. Авторами предложена эффективная модель, позволяющая объяснить на полуквантовом уровне появление плато в профиле намагниченности чистого полиацена и полиацена с периодически внедренными магнитными атомами переходных металлов. Результаты, полученные в рамках предложенной модели, согласуются с численными расчетами, проведенными квантовым методом Монте-Карло, и могут быть обобщены на случай более сложных магнетиков на основе графеновых нанолент.

В работе А.Б. Бабаева и А.К. Муртазаева с помощью классического метода Монте-Карло изучено влияние замороженных немагнитных примесей на фазовые переходы в двумерной модели Поттса с числом состояний спина  $q = 5$ . Показано, что внесение в систему слабого замороженного беспорядка изменяет фазовый переход первого рода на фазовый переход второго рода.

Подобная задача рассмотрена в статье М.К. Бадиева, А.К. Муртазаева, М.К. Рамазанова, М.А. Магомедова. В ней изучаются фазовые переходы в рамках антиферромагнитной модели Изинга на слоистой треугольной решетке во внешнем магнитном поле. Основным инструментом исследования также является классический метод Монте-Карло. Установлено, что в определенном интервале внешних магнитных полей реализуется фазовый переход второго рода. Дальнейшее увеличение магнитного поля снимает вырождение основного состояния и размывает фазовый переход. Обнаружено, что в зависимости от величины магнитного поля в системе наблюдаются неупорядоченная, частично упорядоченная и полностью упорядоченная фазы.

В статье А.Н. Блудова, Ю.А. Савиной, В.А. Пашенко, С.Л. Гнатченко и соавторов проведены структурные, магнитные и тепловые исследования диспрозий-хромов-

вого бората  $\text{DyCr}_3(\text{BO}_3)_4$ . Структурные исследования показали, что образец является двухфазным с примерно одинаковым содержанием ромбоэдрической и моноклинной фаз. Для каждой фазы определены параметры решетки. Установлено, что обе структурные модификации упорядочиваются антиферромагнитно, при этом каждая имеет собственную температуру Нееля. Для ромбоэдрической фазы эта температура составляет  $T_{N1} = 9,1$  К, а для моноклинной  $T_{N2} = 7,5$  К. Обнаружены спонтанные магнитные фазовые переходы при температурах  $T = 3,6; 4,6; 5,5; 5,7$  К. В работе сделано предположение о том, что в каждой структурной модификации происходит двухступенчатый спин-ориентационный фазовый переход. При анализе температурной зависимости магнитной теплоемкости обнаружены проявления низкой размерности хромовой подсистемы.

Работа А.С. Ковалева посвящена сложным магнитным структурам со спиральной модуляцией намагниченности. Теоретически изучена полевая зависимость частот внутренних мод легкоплоскостных антиферромагнетиков со слабой внутривоскостной анизотропией в широком интервале полей, включая поле спин-флип перехода. Проведенное сравнение теоретических результатов с экспериментальными данными для мультиферроика  $\text{NdFe}_3(\text{BO}_3)_4$  позволило восстановить зависимость шага спиральной структуры от величины внешнего магнитного поля.

В работе О.В. Чаркиной и М.М. Богдана исследованы динамические свойства двумерных нелинейных магнитных метаматериалов, состоящих из наноразмерных элементов. Авторами предложена модель двумерной решетки емкостно и индуктивно связанных расщепленных нанорезонаторов. Показано, что ее длинноволновая динамика описывается регуляризованным нелинейным двумерным уравнением Клейна–Гордона. При помощи аналитических и численных методов рассчитан диамагнитный отклик на электромагнитное поле и эволюция долгоживущих метастабильных бризеров. Найдены два сценария развития неустойчивости этих бризеров в зависимости от параметров наведенной ЭДС и индуктивной связи между нанорезонаторами.

В работе Л.А. Пастура, В.В. Славина, А.В. Яновского изучаются спиновые вентили на основе материалов, в которых спин-флип переход подавлен пространственным разделением носителей заряда при сохранении электронейтральности в объеме. Как известно, спинтронные устройства имеют ряд преимуществ по сравнению с «обычными» электронными устройствами: они требуют меньших затрат энергии, обладают большей помехозащищенностью, позволяют передавать и хранить информацию с более высокой плотностью. Важную роль

в таких устройствах играют спиновые вентили — устройства, способные пропускать ток спинов определенного направления. В частности, эффект гигантского магнитосопротивления, возникающий в запертых спиновых вентилях, имеет важные технологические приложения, например, в современных жестких дисках и магнитных сенсорах. В работе обсуждена возможность использования таких вентилях в качестве аккумуляторов электричества. Показано, что, регулируя разность потенциалов на вентиле, можно ожидать эффекты несоизмеримости типа «чертовых лестниц», связанные с кулоновским взаимодействием и перераспределением электронов при зарядке и разрядке аккумулятора. Предсказаны эффекты возникновения и исчезновения спонтанной спиновой поляризации электронов проводимости при изменении уровня Ферми в вентиле.

В статье А.В. Малаховского, В.В. Соколова и И.А. Гудим измерены спектры магнитного кругового дихроизма (МКД) и спектры поглощения мультиферроика  $\text{HoFe}_3(\text{BO}_3)_4$  в области  $f$ - $f$  переходов  $^5I_8 \rightarrow ^5F_2$  и  $^5F_3$  при температуре 90 К. Спектры поглощения разложены на компоненты лоренцевой формы, а также определены интенсивности переходов. С помощью спектров МКД и спектров поглощения вычислены зеемановские расщепления некоторых переходов. Спектры МКД и зеемановские расщепления теоретически проанализированы в приближении волновых функций свободного атома с использованием концепции кристаллического квантового числа. Установлена особенность применения этой концепции к ионам с целым моментом и предложена модификация данной концепции. Обнаружены аномально интенсивные вибронные повторения электронных переходов из возбужденных подуровней основного мультиплета.

Статья Н.В. Крайнюковой, В.А. Гамалий, А.В. Пещанского, А.И. Попова и Е.А. Котомина посвящена исследованиям свойств гладких поверхностей монокристаллов  $\text{SrTiO}_3$  (STO) в интервале температур от 5,5 до 300 К. Поверхности исследовались методом дифракции высокоэнергетических электронов. В зависимости от температуры обнаружено пять структурных аномалий. Антиферродисторсионный фазовый переход из кубической структуры в тетрагональную, наблюдаемый в объеме STO при 105 К, происходит на поверхности в интервале температур от 70 до 120 К. Обнаруженные ниже 7 К и около 35 К аномалии аналогичны аномалиям в объеме. Две другие наблюдаемые аномалии являются совершенно новыми, они связаны исключительно с поверхностными слоями и ранее не наблюдались.

*В.В. Славин*