

УДК 535.015

МАГНИТНЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДВУМЕРНЫХ ВАН-ДЕР-ВААЛЬСОВЫХ МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рахманова Г.Р. (Университет ИТМО), Иорш И.В. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Иорш И.В.
(Университет ИТМО)

Мы исследовали вклад асимметричного обмена четвертой степени в образование неколлинеарных магнитных структур в двумерных магнетиках с точечной группой симметрии D_{3h} . Затем проанализировали нелинейный оптический отклик таких материалов и показали, что двумерные магнитные материалы могут быть источником генерации второй гармоники в ТГц диапазоне.

Введение. Обработка и хранение постоянно увеличивающегося количества информации представляет собой серьезную проблему, которая является целью многих современных исследований. Количество данных, которое приходится хранить, каждый год растет на 30–40 процентов по сравнению с предыдущим годом. Появляется необходимость в создании принципиально новых устройств хранения, обеспечивающих высокую скорость обработки данных наряду с высокой плотностью записи. Так, новый класс двумерных (2D) магнитных ван-дер-ваальсовых материалов могут стать основой для будущих устройств памяти и магнитной записи информации. Немаловажно и то, что свойства различных 2D магнитных материалов можно комбинировать, объединяя их в гетероструктуры, для получения ранее недостижимых приложений, таких как атомарно-тонкие магнитооптические и магнитоэлектрические устройства для сверхкомпактной спинтроники и квантовых вычислений. Поэтому совершенствование теоретических подходов в направлении исследования двумерного магнетизма является масштабной и актуальной проблемой теоретической физики.

В 2017 году был обнаружен дальний магнитный порядок в 2D магнитных материалах $Cr_2Ge_2Te_6$, CrI_3 и Fe_3GeTe_2 . В таких материалах роль взаимодействия Дзялошинского-Мории (и любого другого дальнедействующего двухспинового асимметричного обмена) незначительна для формирования неколлинеарных структур, гладких на атомных масштабах. Несмотря на это, неколлинеарный порядок с периодами в сотни нанометров все же наблюдался в двумерных магнетиках в экспериментах. Это указывает на важность изучения других магнитных взаимодействий. Действительно, решетки с точечными группами симметрии D_{3h} и C_{3h} допускают взаимодействие спинов четвертой степени, которое может стабилизировать магнитные неколлинеарные структуры.

Среди прочего, 2D ван-дер-ваальсовые материалы несут в себе потенциал для квадратичных оптических откликов. Эффекты могут быть большими по сравнению с эффектами в обычных немагнитных материалах. Линейные отклики, такие как топологический эффект Холла и магнитоэлектрический эффект, были поняты на основе спинового механизма Берри, а систематическое исследование нелинейных откликов еще не разработано, несмотря на важность для будущего применения в оптических устройствах следующего поколения.

Основная часть.

Предполагается, что косвенное четырехспиновое взаимодействие играет важную роль в двумерных магнетиках с тригонально-призматической симметрией (D_{3h}), такие как монослой Fe_3GeTe_2 . Используя стандартный анализ симметрии, мы идентифицировали семь вкладов четвертого порядка в плотность свободной энергии, которые разрешены точечной группой симметрии D_{3h} . Только один из них независим и не исчезает для двумерных материалов. Мы рассмотрели анзац для вектора намагниченности, который описывает спиральное состояние,

и минимизировали функционал свободной энергии по волновому вектору и углам. Интересно отметить, что минимальная свободная энергия не зависит от азимутального угла вектора намагниченности. Это означает, что, управляя направлением вектора намагниченности, можно также управлять направлением распространения неколлинеарного состояния. Такое управление может быть достигнуто приложением небольшого внешнего магнитного поля. Результат минимизации приводит к фазовой диаграмме, которая отражает переход из коллинеарного в неколлинеарное состояние в зависимости от константы магнитной анизотропии и величины внешнего магнитного поля. Магнитное поле, ориентированное в плоскости, стабилизирует спиральное состояние для случая анизотропии легкой оси, а магнитное поле, ориентированное перпендикулярно плоскости, может дополнительно стабилизировать спиральное состояние для анизотропии легкой плоскости.

Далее мы изучили генерацию второй гармоники на двумерном магнитном материале с вкладом четырехспинового взаимодействия. Были проанализированы дисперсия и спектр электронных возбуждений. Мы посчитали нелинейную проводимость, используя теорию отклика второго порядка, основанную на формализме Кубо. Двумерные магнитные материалы могут быть источником генерации второй гармоники в ТГц диапазоне.

Выводы. Мы исследовали вклад асимметричного обмена четвертой степени в образование магнитной спиральной фазы в двумерных магнетиках с точечной группой симметрии D_{3h} , а также изучили оптические и транспортные свойства таких материалов. Наши результаты проложат путь для оптических электронных устройств следующего поколения, основанных на двумерном магнетизме.

Рахманова Г. Р. (автор)

Подпись

Иорш И.В. (научный руководитель)

Подпись