Скирмионные текстуры в магнитных полупроводниках с электростатическим беспорядком

Денисов К.С.^{1,2}, Рожанский И.В.^{1,2}, Аверкиев Н.С.^{1,2}, Lahderanta E.²

¹ ФТИ им. А.Ф.Иоффе, 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26

² Lappeenranta-Lahti University of Technology, 630090, Lappeenranta, FI-53851, Finland

DOI 10.34077/Semicond2019-285

Исследование механизмов кирального спинового упорядочения имеет большое значение для физики спин-зависимых явлений. Формирование киральных спиновых текстур, таких как магнитные скирмионы, приводит к ряду новых явлений, обусловленных сложным пространственным распределением магнитных моментов. В этой работе мы показываем, что магнитные системы подвержены образованию термодинамически-равновесных киральных спиновых возмущений электронного газа, наведенных в результате электростатического беспорядка. Многочисленные дефекты любой реальной системы, такие как примесные центры, вакансии или встроенные напряжения являются источниками локального кирального спинового упорядочения в поляризованном электронном газе. Это явление проявляется тем значительнее, чем сильнее спин-орбитальное взаимодействие в системе. Теория показывает, что различные полупроводниковые магнитные системы со спин-орбитальным расщеплением спектра, такие как топологические изоляторы с магнитными примесями или асимметричные квантовые ямы разбавленных магнитных полупроводников, заполнены скирмионными текстурами, локализованными вблизи неоднородностей структуры. Развитие кирального спинового порядка существенным образом влияет на кинетические свойства таких систем в силу топологического эффекта Холла. В случае открытой поверхности исследуемый эффект может рассматриваться в качестве инструмента для анализа свойств поверхностного электронного газа методами спин-разрешенной сканирующей туннельной микроскопии.

В работе мы исследовали реакцию спин-поляризованного двумерного электронного газа (2DEG) со спин-орбитальным взаимодействием на электростатическое возмущение. Показано, что при наличии градиента потенциальной энергии термодинамически равновесная спиновая плотность электронного газа наклоняется в плоскость движения электронов. Механизм этого процесса связан с процессией электронного спина при его движении в области с неоднородным потенциалом. Ориентация спина однозначно определяется направлением градиента потенциала, таким образом вокруг сферически симметричных дефектов формируются равновесные скирмионные текстуры. Спиновый отклик электронного газа на изменение скалярного потенциала описывается корреляционной функцией типа спин-плотность. В работе получены точные аналитические выражения корреляционных функций для типичных двумерных систем, а именно для квадратичного спектра с линейным по импульсу спин-орбитальным расщеплением (асимметричные квантовые ямы), а также для дираковского спектра, описывающего поверхностные состояния объемного топологического изолятора с магнитными примесями. На основе корреляционных функций анализируется локальный и нелокальный (пространственная дисперсия) спиновые отклики 2DEG на различные дефекты. Обнаружено, что в результате клейновского туннелирования, поддерживающего дрейфовый поток электронов, системы с дираковским спектром являются аномально восприимчивыми к образованию скирмионных текстур.

[1] K.S. Denisov, I.V. Rozhansky, N.S. Averkiev et al., *arXiv:1903.02927* (2019).