**РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ НА МАГНИТНОМ СКИРМИОНЕ**

Кузьмин Сергей, лицей Физико-техническая школа

Рожанский Игорь Владимирович

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург

Магнитный скирмион - квазичастица, представляющая собой топологически устойчивый вихреподобный участок намагниченности, существующий в магнитных материалах, например в сплаве Co/Pt. Его можно использовать как ячейку хранения информации, и именно это нашло своё применение в концепции «racetrack memory». У скирмиона есть уникальные свойства: малый размер (порядка 100 нм) и устойчивость. Детектировать скирмион можно с помощью топологического эффекта Холла: направленный на скирмион пучок электронов отклонится благодаря обменному взаимодействию. Тем не менее, задачу можно решать в классической модели, поскольку в случае сильного обменного взаимодействия движение электрона через магнитный скирмион описывается с помощью геометрической фазы Берри и сводится к движению в эффективном магнитном поле[1].

Для того, чтобы исследовать рассеяние электронов на скирмионе, я получил из зависимости намагниченности от координаты зависимость эффективного магнитного поля и построил его график. Потом был численно смоделирован полёт электрона в скирмионе – зависимость координаты от времени – программно на Питоне 3. Далее была рассмотрена модель, в которой на скирмион налетает пучок электронов. Вследствие отклонения из-за взаимодействия со скирмионом, что происходит благодаря топологическому эффекта Холла, электроны приобретают скорость вдоль оси Y, и возникает поперечный ток. Теоретически предсказано[1], что с точностью до умножения на константу он равен топологическому заряду скирмиона независимо от его размера. Я показал это численно.

Для того, чтобы выявить пропорциональность между топологическим зарядом и поперечным током, был рассмотрен скирмиониум. Это объект схожей природы, топологический заряд которого равен 0. Оказалось, что поперечного тока в нем действительно не возникает. Кроме того, был обнаружен исследован эффект под названием «spin torque», то есть эффект передачи электронами скирмиону углового момента.

Помимо магнитных скирмионов, интерес представляют антиферромагнитные скирмионы. С ними была проделана аналогичная работа: по известным формулам [3], с помощью метода сильной связи [4], были рассчитаны траектории электронов и поперечный ток в антиферромагнитном скирмионе в пересчете на эффективный топологический заряд.

По итогам исследовательской работы была найдена зависимость эффективного магнитного поля в скирмионе от координаты и рассчитана траектория электрона, влетевшего в скирмион и в скирмиониум. В дополнение к этому был численно вычислен поперечный ток, и была подтверждена связь между топологическим зарядом и поперечным током и исследовано явление спинового торка. Также было смоделировано рассеяние электронов на антиферромагнитном скирмионе. Оказалось, что на краю зоны Бриллюэна основной вклад в отклонение поперечного тока от стандартной величины дает аномальная скорость. В других случаях, такой эффект происходит из-за параметра перекрытия решетки.

[1] Rozhansky I., Denisov K. Topological Hall effect // Magnetic Skyrmions and Their Applications. 2021.

[2] K. S. Denisov I. V. Rozhansky N. S. Averkiev, L ̈ahderanta E. General theory of the topological Hall effect in systems with chiral spin textures // Phys. Rev. B **98**, 195439 (2018).

[3] Patrick M. Buhl Frank Freimuth Stefan Bl ̈ ugel Yuriy Mokrousov. Topological spin Hall effect in antiferromagnetic skyrmions // Rapid Research Letters **11(4)**. 2017.

[4] Chuchalin Vladimir. Calculation of electronic states in graphene and topological insulators by tight-binding approach. 2021.