



## Рассеяние электронов на магнитном скирмионе

«Физика»

*Кузьмин Сергей Алексеевич, Рожанский Игорь Владимирович (научный руководитель, Доктор ф.-м. наук, снс),  
место выполнения работы: ФТИ им. А.Ф. Иоффе*

Скирмионы – маленькие вихреподобные участки намагниченности размерами до 10 нм. Они крайне перспективны для изучения благодаря малому размеру, топологической устойчивости и мобильности - своё применение скирмионы нашли в концепции Racetrack memory, в которой они играют роль битов информации. Детектируются скирмионы с помощью топологического эффекта Холла, который я и исследовал в своей работе. Налетающие электроны отклоняются из-за обменного взаимодействия с атомами материала. Тем не менее, задачу можно решить в классическом подходе, 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. Поставленные задачи: вывести формулу эффективного магнитного поля от координаты в скирмионе; численно рассчитать траекторию электрона через скирмион; посчитать поперечный ток через скирмион и связать его с топологическим зарядом; проделать то же скирмиониумом и убедиться, что в нём поперечного тока не возникает; вычислить поправку в поперечный ток - side jump; исследовать spin torque; рассмотреть взаимодействие электронов со скирмионом, начальные скорости которых меньше тепловых; исследовать ТЭХ в антиферромагнитных скирмионах.

В своей работе я численно моделировал топологический эффект Холла, side jump, spin torque на Питоне 3, для визуализации данных был применён пакет numpy. Расчёт траектории электрона в скирмионе и скирмиониуме был произведен также численно в программе, методом итераций. Для построения графиков использовался Matlab, для сложных аналитических вычислений - Wolfram Mathematica. Работа проводилась в Физико-техническом институте имени А. Ф. Иоффе.

В данной работе удалось в явном виде вывести зависимость эффективного магнитного поля в скирмионе и скирмиониуме, рассчитать траекторию электрона в скирмионе и скирмиониуме программно, вычислить два вклада в переменный ток (поперечная скорость и side jump), численно посчитать топологический заряд этих структур, показать связь между поперечным током и топологическим зарядом, обнаружить спиновый торк, решить задачу рассеяния электронов на антиферромагнитном скирмионе.

В моём исследовании особо важно то, что рассмотренные эффекты можно обобщить на трёхмерные аналоги скирмионов, например, на хопфионы. Наличие спинового торка говорит о том, что хопфионы можно вращать в пространстве и так записывать информацию. Но прежде всего хочется подчеркнуть, что скирмионы имеют практическое применение. Воплощение “Racetrack memory” в жизнь в десятки раз уменьшит размеры носителей информации и ускорит её считывание.