

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе
Денисова Константина Сергеевича
«Теория транспортных явлений в системах с киральным спиновым порядком»
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности – 01.04.02 – теоретическая физика.

Все транспортные характеристики реальных металлических и полупроводниковых систем определяются тем, какой тип рассеяния электронов в них преобладает. Про рассеяние на примесях, электрон-фононное и электрон-электронное рассеяние известно очень много. Однако в современных системах с сильным спин-орбитальным взаимодействием появляется еще один тип рассеяния, который приводит к необычным транспортным эффектам. Это рассеяние на киральных спиновых структурах. Такое рассеяние может приводить в некотором смысле, к разделению зарядовых и спиновых токов. Особенно существенно это может проявляться в низкоразмерных системах, где, во-первых, спин-орбитальное взаимодействие усиливается, во-вторых, появляется возможность до некоторой степени управлять этим взаимодействием.

Построение теории такого рассеяния сложнее, чем для других типов рассеяния. Но теория необходима для понимания всех особенностей данного рассеяния и поиска возможности управления транспортными характеристиками. Эту задачу и решает в своей диссертации К.С. Денисов.

Первая глава является вводной, в ней даются необходимые сведения о киральных структурах и топологическом эффекте Холла, что необходимо для понимания дальнейшего материала.

Собственно результаты К.С.Денисова начинаются со второй главы. В ней рассмотрена задача рассеяния одного свободного электрона на разных спиновых структурах. Для конкретных расчетов выбрана магнитная структура некоторого достаточно общего вида. Существенно, что в диссертации развит метод точного расчета сечений рассеяния. Это позволяет исследовать поведение рассеяния при различных соотношениях параметров системы и сравнить с ответом, даваемым адиабатическим «квазиклассическим» подходом. В работе прослежен переход от «быстрого» рассеяния на скирмионе малого радиуса, к «адиабатическому рассеянию на структуре большого размера.

К существенным результатам этой главы можно отнести важное наблюдение, что для появления «топологического» эффекта Холла совсем не обязательно должны существовать в системе топологически нетривиальные спиновые структуры (важна только их киральность).

Результаты этой главы являются основой для вычисления физических характеристик систем с киральными спиновыми структурами в 3-ей главе.

В 3 главе вычисляется матрица проводимости и найдены холловские компоненты сопротивления при различных параметрах. Из точных формул виден переход между различными режимами рассеяния. Интересна зависимость от приведенного (к длине волны электрона) размера локальной киральной структуры – немонотонная зависимость из-за смены одного режима другим. Поскольку положением уровня Ферми (то есть импульсом электронов) можно управлять затвором, в принципе, немонотонная зависимость могла бы наблюдаться экспериментально.

Сложные магнитные структуры обычно наблюдаются в ферромагнитных пленках. Но параметрами этих структур трудно управлять. Поэтому представляет большой интерес поиск возможностей создавать локальные киральные спиновые структуры в полупроводниках. В полупроводниках имеется гораздо больше возможностей управлять их свойствами. Поэтому 4-ая глава диссертации посвящена изучению возможности создавать киральные спиновые структуры в полупроводниках. Для полупроводников с сильным спин-орбитальным взаимодействием предложены два механизма: упорядочение магнитных моментов на локализованном состоянии – магнитный полярон и появление локальной киральной структуры на неоднородном электростатическом потенциале. Оба этих механизма являются достаточно общими и действительно могут дать практическую возможность создавать киральные структуры.

В целом, изложенный в диссертации материал, безусловно, содержит новые результаты, по качеству и объему исследований работа заведомо соответствует кандидатской диссертации. Принципиальных недостатков в диссертации не видно, есть только некоторые рабочие замечания.

На мой взгляд, мало обсужден вопрос о пренебрежении интерференцией рассеяния на обычном беспорядке и на спиновых структурах. Например, когда говорится о рассеянии на плотной структуре скирмионов, это не совсем точно. Это просто случай более сильного рассеяния на скирмионах, чем на немагнитных примесях, поскольку при выводе формулы (3.16) уже пренебрегалось интерференцией между различными рассеивателями, поэтому о плотной структуре скирмионов говорить сложно.

В диссертации сказано, что для скирмионных кристаллов можно пользоваться приближением среднего эффективного поля для оценки эффекта Холла. Однако, кажется, что для случайных плотных скирмионных структур беспорядок должен приводить к уравнениям типа диффузии в пространстве углов рассеяния, результат среднего поля может поменяться.

В главе 4 о формировании локального магнитного полярона задача разбита как бы на два этапа. На первом учитывается упорядочение моментов при взаимодействии только со связанным состоянием. На втором этапе рассматривается рассеяние электронов проводимости на получившейся структуре. Однако, при вычислении проводимости в системе с конечной концентрацией носителей надо было бы решать задачи первого и второго этапов совместно, так как все электроны участвуют в передаче взаимодействия между примесями. Следовательно, наличие электронов проводимости должно влиять на установление магнитного порядка в локальном магнитном поляроне.

Приведенные выше замечания никак не затрагивают основные результаты диссертации и не влияют на положительную оценку диссертации в целом. Вошедшие в диссертацию результаты были своевременно опубликованы в 8 статьях в ведущих журналах по физике, рекомендованных ВАК России и индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus. Достоверность и корректность результатов не вызывает сомнений. Содержание автореферата дает достаточно полное представление о результатах диссертации.

Таким образом, диссертация Денисова Константина Сергеевича «Теория транспортных явлений в системах с киральным спиновым порядком» полностью удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

10 января 2020 г.

Официальный оппонент

Арсеев Петр Иварович

Гнс Отделения теоретической физики им. И.Е. Тамма
Физического института им. П.Н. Лебедева РАН
д.ф.-м.н., член-корреспондент РАН
Почтовый адрес: 119991 Москва,
Ленинский проспект 53
Тел. 499-1326271
ars@lpi.ru

Подпись П.И.Арсеева заверяю

Ученый секретарь ФИАН,
к.ф.-м.н.

А.В. Колобов