



ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Окорокова Михаила Сергеевича
«Спин-термические эффекты в гибридных наноструктурах металл
(полупроводник)/ферромагнитный диэлектрик»
представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений

Представляемая к защите диссертация М.С. Окорокова посвящена изучению транспортных эффектов в структурах типа металл(полупроводник)/ферродиэлектрик. Согласно автореферату, в работе решаются три задачи, каждой из которых посвящена отдельная глава.

Первая глава посвящена построению адекватного математического аппарата необходимого для описания реализующихся в рассматриваемых структурах спин-термических эффектов, таких как «накачка» спинов (spin pump), эффект спинового крутящего момента (spin torque) и спиновый эффект Зеебека. Для решения поставленной здесь задачи, автор использует линейное приближение по отклонению от равновесия в методе неравновесного статистического оператора (НСО) Д.Н. Зубарева, которое в прошлом было детально изучено в работах В.П. Калашникова. На основе этого формализма, автором получена система уравнений для средних плотностей z -проекции спина электронов проводимости в немагнитном металле и локализованных спинов. Получены и проанализированы выражения для кинетических коэффициентов, описывающих релевантные эффекты.

Вторая глава посвящена исследованию предложенного автором метода спиновой «накачки» ферромагнетика, путем воздействия внешним электрическим полем (или полем звуковой волны) на электроны проводимости металла в гибридной структуре металл/ферродиэлектрик. В основе исследования лежит возможность передачи энергии от внешнего электрического поля (или поля звуковой волны) спиновой подсистемы электронов проводимости через кинетическую подсистему благодаря спин-орбитальному взаимодействию. Этот эффект известен как комбинированный резонанс Рашбы. В работе вычислена мощность, поглощенная электронами проводимости, и показано, что возбуждаемый спиновый ток в ферромагнетике также имеет резонансный характер.

Термоэлектрические эффекты связаны с возникновением различного рода потоков, таких как электронные, фононные, магнонные и т.д. Взаимодействие между потоками приводит к эффектам увлечения. Анализ эффектов увлечения в рассматриваемой структуре содержится в третьей главе. Исходя из анализа экспериментальных результатов по исследованию спинового эффекта Зеебека, автором был предложен и проанализирован новый подход к описанию эффекта увлечения в таких структурах. Основу предложенного метода составляет «модель трех потоков» в системе: потока фононов, «термических» и «когерентных» магнонов. Также, обоснована возможность разбиения магнонной системы на две: когерентных и термических магнонов. Далее, используя метод развитый в первой главе, строится система дифференциальных уравнений для плотностей импульса фононов и двух потоков магнонов. Полученная система уравнений анализируется для различных соотношений между дрейфовыми скоростями потоков. Показано, что когерентные магноны могут привести как к усилению, так и к ослаблению спинового тока.

Из недостатков автореферата, я бы отметил отсутствие обсуждения того, как автор описывает «чистые» состояния, т.е. решает квантово-механическую задачу для рассматриваемой гибридной



системы. Без этого трудно понять как строятся вторично-квантованные операторы потоков. Также нет обоснования того, почему для описания спин-термических выбрана только продольная компонента спиновой плотности.

Указанные выше замечания не уменьшают положительное впечатление от работы, и не снижают её научную ценность. Одной из сильных сторон диссертации является использование метода НСО. Этот метод, являющийся элегантной комбинацией динамики (уравнения Лиувилля) и статистики (принципа максимума энтропии), привлекает к себе возрастающий интерес благодаря гибкости и автоматизму при выводе уравнений переноса (при обоснованном выборе базисных физических переменных).

Я считаю, что диссертация «Спин-термические эффекты в гибридных наноструктурах металл (полупроводник)/ферромагнитный диэлектрик» является новым, актуальным и оригинальным научным исследованием, соответствующим требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор **Окороков Михаил Сергеевич** заслуживает присуждения ему научной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений.

25.10.2018, М. И. Ауслендер, к.ф.м.н., Адъюнкт-профессор

Согласен с замечаниями 21.11.2018
Михаил Сергеевич Окороков М.С.