



## Отзыв

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

Технологическое использование спиновых степеней свободы в различных свойствах конденсированных сред привело к появлению спинтроники. В частности, очень интересными с точки зрения приложений являются различные виды спинового транспорта, связанные с тепловыми эффектами. Экспериментально открыты спин-термические аналоги эффектов Зеебека, Нернста, Пельтье, и сейчас обсуждается возможность их практического использования. Естественно, что теоретическое исследование задач, возникающих в этой области, весьма актуально и составляет одну из горячих проблем современной физики магнитных явлений.

Согласно автореферату, диссертация посвящена развитию микроскопической теории спин-термических эффектов, описывающей спиновую динамику в гибридных структурах металл (полупроводник)/ферромагнитный изолятор. Новым здесь является то, что теория развивается на базе хорошо зарекомендовавшего себя метода неравновесного статистического оператора (НСО), этот оператор строится в виде функционала от локально равновесного распределения и ищется отклик слаборавновесных систем на возмущения различного типа.

Перейдем к оригинальным и важным результатам диссертации, изложенным в автореферате. На базе квантового метода НСО в диссертации исследован спиновый транспорт в гибридной структуре нормальный металл/ферромагнитный изолятор. Это позволило с единых позиций охарактеризовать спиновый эффект Зеебека, эффекты спиновой диффузии и спиновой накачки (pumping), а также по-новому взглянуть на эффекты магнетонного увлечения. Для структуры полупроводник/ферромагнитный изолятор на основе развитой в диссертации теории предложен метод резонансного возбуждения спин-волнового тока в изоляторе электромагнитными и звуковыми полями, возбуждающими электроны проводимости.

Резюмируя сказанное, хочу подчеркнуть, что научная часть работы производит солидное впечатление. Оно подкрепляется и списком публикаций автора по теме диссертации, содержащей такие журналы, как Phys.Rev. B и JMMM. Кстати, если говорить о списке работ автора, приведенных в автореферате, похвально намерение автора привести под одним номером две ссылки – на оригинальную работу, напечатанную в основном журнале с русскоязычным названием, и на «переводную» версию в англоязычной версии журнала. В этой связи не совсем понятно и немного обидно, почему ссылка на статью в уважаемом журнале «Физика металлов и металловедение», написанной на русском языке и имеющей русскоязычные выходные данные, приводится на английском языке и с применением латиницы [A7].

Таким образом, плавно переходим к замечаниям по автореферату. К сожалению, просмотр прочтение автореферата снижает впечатление о проделанной автором большой работе. Я не буду говорить, про запятые, которые появляются (исчезают) по причинам, не связанными ни с какими правилами. То же (раздельно!) касается и многократного употребления союза «также» в раздельной форме «так же», что превращает его в наречие и имеет совершенно другой смысл. Не буду упоминать и о появлении на первой странице автореферата упоминаний об эффектах Нерста и Пельте. Физиков с такими фамилиями в русскоязычной научной литературе мне найти не удалось. Не буду также (слитно!) писать о стиливых особенностях текста и о засилье англоязычных терминов, один «пампинг» чего стоит! Отмечу только, что, на мой взгляд, термин «спиновый угловой момент» не понятен и явно избыточен – это масло масляное, намазанное маслом, поскольку спин – это уже собственный механический момент.

Теперь о замечаниях по автореферату.

1. С моей точки зрения, термин «частота релаксации», используемый в автореферате диссертации,

является неудачным, поскольку этот термин неявно ведет к неправильному представлению, что релаксация является периодическим процессом. Лучше использовать стандартный термин, который также встречается в тексте (но значительно реже) – «обратное время релаксации».

2. В конце последнего пункта, раздела «Научная новизна автореферата», говорится об описании немонотонной зависимости спинового коэффициента Зеебека. В последней фразе автореферата также говорится о согласии развитой в диссертации теории и результатов экспериментальных работ по изучению магнитотермических эффектов в гибридных структурах. К сожалению, в основном тексте автореферата, описывающем полученные результаты по главам, я не нашел каких-либо сравнений теории и эксперимента. Более того, в тексте нет ни одной ссылки на «чужие» работы, в том числе и экспериментальные!
3. Во всех трех рисунках, приведённых в автореферате, используются серые полутона и очень мелкий шрифт, что приводит к невозможности что-то разглядеть в бумажной версии. При обращении к электронной версии и достаточном ее увеличении выяснилось, что рис. 1 значительно богаче по содержанию своего печатного варианта (есть дополнительные «электроны» и «фононы»), есть слово *interface* и обозначение для ферромагнитного изолятора). В печатном варианте в рис. 2 плохо различимы символы и индексы, и, как выяснилось при сравнении с электронным оригиналом, вообще полностью пропала левая часть рисунка, а в центре не видны ключевые слова «когерентные» и «термические». В рис. 3 кроме нечитаемых символов с индексами есть и принципиальный вопрос – о масштабе осей. Особенно это касается горизонтальной оси «временных промежутков» (так написано в тексте у автора!): одинаковы ли эти «промежутки» для всех трех графиков, или на крайнем правом он почти в два раза больше? И почему?
4. На стр. 17 автореферата, после формулы (13) говорится, «что пропорциональность среднего значения спина магнонов поглощенной полупроводником мощности внешних полей приводит к генерации момента в ферромагнетике резонансным образом». Это важный вывод, но из формулы (12), приведенной чуть выше, непонятно, откуда возникает эта «пропорциональность», поскольку из (12) следует линейная зависимость среднего значения спина  $\langle S_z \rangle$  от поглощенной мощности  $Q$ :  $\langle S_z \rangle \sim A + B \cdot Q$ , где  $A$  и  $B$  – некие параметры.
5. И, наконец, я бы сократил, число Положений, выносимых на защиту, попарно объединив 3 и 4, а также 5 и 6 пункты. Это бы не изменило основных выводов работы, но привело бы к большей значимости каждого из получившихся четырех пунктов. Кстати, это соответствует тому, что автор в Заключение привел именно четыре основных результата работы.

Приведенные замечания относятся к изложению и оформлению автореферата диссертации и не затрагивают сути работы, которая свидетельствует, что автор освоил сложный метод расчета и получил значимые результаты для объяснения и предсказания ряда спин-тепловых эффектов в рассматриваемых гибридных структурах. Результаты прошли хорошую апробацию на многочисленных представительных конференциях (29 тезисов!) и опубликованы в рейтинговых журналах.

Таким образом, исходя из содержания автореферата, можно сделать вывод, что диссертационная работа М.С. Огорокова «Спин-термические эффекты в гибридных наноструктурах металл (полупроводник)/ферромагнитный диэлектрик» удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Зав. кафедрой теоретической физики,  
доктор физико-математических наук, профессор

Прошин Ю.Н.

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
Институт физики, Кремлевская, 18, Казань, 420008  
Тел. +7-843-2337342; Факс +7-843-2380994  
E-mail: Yuri.Proshin@kpfu.ru  
Web: http://kpfu.ru/Yuri.Proshin

10 октября 2018 г.

Ссылка в отрывке 11.12.2018

М.С. Огороков М.С.