

194021, Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, 26,
ФТИ им. А.Ф. Иоффе,
ученому секретарю
Диссертационного совета Д 002.205.02
д.ф-м.н. Сорокину Л.М.

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу **Пошакинского Александра Валерьевича** «Электронная спиновая динамика и корреляционные эффекты в полупроводниковых наносистемах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук (специальность 01.04.10 – физика полупроводников).

Одним из фундаментальных направлений развития современной физики конденсированных сред является изучение спиновых степеней свободы свободных и локализованных электронов. Исследование спиновой динамики и возможности воздействовать на нее внешними полями имеет, помимо чисто научного, прикладные аспекты, связанные со спинтроникой, опто-спинтроникой и т.п.

В круге этих актуальных проблем находится и тематика диссертации А.В. Пошакинского, где представлены результаты теоретического изучения спиновой динамики, спин-гальванических и поляризационно-зависимых оптических эффектов в полупроводниковых структурах с квантовыми ямами, квантовыми точками и спиновыми центрами. Ее **актуальность** бесспорна, о чем, помимо прочего, свидетельствует огромное число публикуемых научных статей и международных конференций, посвященных данной тематике.

Диссертация А.В. Пошакинского состоит из 5 глав. Первые три из них посвящены систематическому исследованию многочисленных эффектов спиновой кинетики в электронном (электронно-дырочном) газе в полупроводниковых квантовых ямах. С использованием кинетического уравнения или диаграммного формализма получено много новых результатов, разнообразие которых обусловлено богатством физических процессов в рассматриваемых системах.

Так, в главе 1 показано, что эффекты спин-орбитального взаимодействия могут привести к немонотонной зависимости наведенного спина от магнитного поля. Исследовано влияние анизотропного рассеяния электронов на спиновую релаксацию в двумерных системах. Вычислены параметры спиновой релаксации в квантовых ямах различной симметрии, где по-разному проявляются поля Рашбы и Дрессельхауза.

В главе 2 с помощью диаграммного подхода исследовано распространение равновесных спиновых флуктуаций в двумерном электронном газе и возможность извлекать из этого информацию о параметрах спин-орбитального взаимодействия в отсутствие возмущающих внешних полей. Установлен рост коррелированности спиновых флуктуаций вблизи режима спиновой спирали.

В главе 3 рассматривается поведение возбужденной системы с наведенной спиновой поляризацией. Вычислен спин-гальванический ток, возникающий в результате эффекта "дрожания" (квантовых флуктуаций скорости и смещения) спин-поляризованных электронов. Вычислены наведенная спиновая поляризация и фототок при возбуждении двумя последовательными оптическими импульсами двузонной системы (с рождением электронно-дырочных пар).

В четвертой и пятой главах рассматриваются спин-орбитальные эффекты в системах, где спиновые степени свободы представлены в отдельных локализованных квантовых объектах (кубитах, квантовых точках, "атомах").

В главе 4 систематически изучена тонкая структура центров со спином $3/2$ в гексагональном карбиде кремния во внешнем магнитном поле и вычислены интенсивности переходов, индуцированных радиочастотным магнитным полем.

В главе 5 рассматривается прохождение пар фотонов через одномодовый оптический резонатор, содержащий квантовые точки. В отличие от более простых моделей (типа модели Дике для двухуровневых атомов), предполагается, что квантовые точки описываются четырехуровневой схемой, порожденной оптическими переходами с различными круговыми поляризациями. Вычислены матрица рассеяния и корреляционные функции выходящих фотонов.

Полученные в диссертации результаты в ряде случаев напрямую соотносятся с экспериментами, а также стимулируют постановку новых экспериментов. **Важность, новизна и достоверность** результатов не вызывают сомнений.

Отмечу некоторые недостатки диссертации, связанные с не всегда подробным изложением.

1. В главе 1 утверждение об универсальности степенной асимптотики функции $S_z(t)$ (1.51) все же ограничено случаем, когда функция распределения поля Рашбы не обращается в ноль на малых полях.

2. В главе 2 использованный диаграммный подход пренебрегает диаграммами с пересечением примесных линий. В таком виде он является эквивалентным кинетическому уравнению, на основе которого ведется рассмотрение в главах 1 и 3. Разумеется, использование того или иного из двух эквивалентных механизмов вопрос удобства, но это следовало бы отметить в изложении.

3. В главе 3 слишком кратко, на мой взгляд, описан вывод ур-ия (3.15) из ур-ия (3.14) [и, возможно, из ур-ия (3.10)], ряд действий, видимо, остался за кадром. Такое же замечание о соотношении уравнений (3.32) и (3.33). Далее, следует ли считать, что выражение (3.36) получено в пренебрежении спиновой релаксацией между двумя импульсами? - если так, то это следовало бы отметить в тексте.

4. В главе 5, желательно было бы подробнее описать связь "резонатора" с внешним миром. Согласно рисунку 5.1, у рассматриваемого резонатора имеются две "точки" ("поверхности"), и, соответственно, имеет смысл понятие прохождения фотона через резонатор. Эта трактовка подтверждается тем, что в простейшем случае пустого резонатора "амплитуда прохождения фотона" (5.5) совпадает с таковой для прохождения через обычный одномерный резонатор вблизи резонанса с одной из его мод. Но в таком случае, не совсем понятно, какому физическому процессу соответствует вычисленная матрица рассеяния двух фотонов. Ведь есть и процессы, когда вошедшие в резонатор фотоны выходят в разных направлениях. А если сбор фотонов производится сразу с обоих "концов", без различия каналов, то однофотонная амплитуда (5.5) обязана была быть чисто мнимой (в силу унитарности рассеяния). Иными словами, в изложении главы следовало бы подробнее описать каналы рассеяния (именно эти детали ведут к различию эффективно киральных и обычных волноводов).

Однако, отмеченные недостатки изложения, хотя и затрудняют местами восприятие текста, не имеют принципиального характера и не влияют на **высокую положительную общую оценку** диссертации.

Диссертация представляет собой целостный научный труд, выполнена на высоком научном уровне и содержит принципиально новые важные результаты, которые были опубликованы в 8 журналах из списка ВАК и докладывались на многих представительных конференциях. Результаты диссертации могут быть рекомендованы к использованию в научных

организациях, проводящих экспериментальные и теоретические исследования в области физики полупроводников и оптики низкоразмерных систем (ФИАН, ИФТТ РАН, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, ИТФ им. Ландау, МГУ и др.). Автореферат полно и правильно воспроизводит основные идеи и выводы диссертации.

Диссертационная работа «Электронная спиновая динамика и корреляционные эффекты в полупроводниковых наносистемах» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор, Пошакинский Александр Валерьевич, несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Официальный оппонент
Главный научный сотрудник
теоретического отдела
Института спектроскопии РАН,

Юдсон Владимир Исаакович

шифр специальности оппонента – 01.04.02 «теоретическая физика»

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт спектроскопии Российской академии наук (ИСАН)
108840 г. Москва, г.Троицк
ул. Физическая, 5
Институт спектроскопии РАН
Телефон: + 7 495 851-0579

E-mail: yudson@isan.troitsk.ru, vyudson@hse.ru, v.yudson@gmail.com

5 декабря 2017 г.