

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Тиходеева Сергея Григорьевича

на диссертацию Шубина Николая Михайловича

«Исследование резонансов и антирезонансов в квантовых проводниках и элементах молекулярной наноэлектроники на их основе»,

представленную к защите на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

В диссертации Шубина Н. М. выполнено теоретическое исследование туннельной проводимости молекулярных проводников, для чего также была разработана теория, позволяющая подробно анализировать резонансные интерференционные явления в транспорте носителей. Тематика диссертационного исследования представляется **актуальной** в контексте развития молекулярной наноэлектроники и разработки ее перспективных базовых элементов. **Значимость** результатов состоит как в развитии теоретических методов описания открытых квантовых систем с привлечением неэрмитовых операторов, так и в возможности непосредственного использования результатов в разработке активных элементов молекулярной наноэлектроники.

Диссертация изложена на 147 страницах, состоит из введения, четырех глав, заключения и 6 приложений. Работа содержит 36 рисунков и 1 таблицу, а список цитируемой литературы насчитывает 165 наименований. Во *введении* обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель, задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, а также представлены положения, выносимые на защиту.

В *первой главе* проведен обзор литературных данных по теме диссертации. Приводятся основные определения и перечисляются свойства открытых квантовых систем и явления резонансного туннелирования.

Вторая глава посвящена построению теоретической модели, позволяющей с одних позиций описывать резонансы, антирезонансы и связанные состояния в непрерывном спектре в квантовом проводнике. В главе получено выражение для туннельной прозрачности, позволяющее точно определять энергии единичной и нулевой туннельной прозрачности, а также описывать явления слияния резонансов и антирезонансов.

Показана аналогия между формированием связанного состояния в непрерывном спектре и фазовым переходом с расходящейся функцией отклика.

В *третьей главе* проводится теоретическое исследование различных механизмов управления транспортными свойствами квантовых проводников. Обоснована эффективность интерференционного управления проводимостью. В качестве примера рассмотрена система с вырожденными уровнями, в которой процесс туннелирования сильно отличаются от систем без вырождения. Показано, что на основе таких систем возможно построение энергоэффективных квантовых интерференционных активных элементов цифровой молекулярной электроники.

Четвертая глава посвящена исследованию проявления различных резонансных явлений, имеющих место в статическом транспорте, в линейном высокочастотном отклике симметричной квантовой системы. Построена наглядная аналогия между высокочастотной и статической проводимостью, которая позволяет описывать динамические интерференционные явления, используя разработанный формализм для стационарного случая.

В *заключении* указаны наиболее существенные результаты диссертационного исследования.

Научная новизна диссертации видится в следующем:

1. Предложен формализм описания баллистического транспорта в квантовых проводниках, позволяющий наглядно и точно описывать основные резонансные явления, их взаимодействие друг с другом и образование связанных состояний в непрерывном спектре.
2. Описан эффективный интерференционный механизм управления проводимостью, основанный на управляемом снятии вырождения уровней в квантовой системе.
3. Построена аналогия между динамической и статической задачами рассеяния для симметричных систем, которая позволяет проводить интерпретацию резонансных явлений в высокочастотном отклике.

Достоверность и обоснованность положений, выносимых на защиту, обеспечивается применением современных методов квантовой теории, а также сравнением результатов с литературными данными.

К **недостаткам** работы можно отнести следующее:

1. В Главе 2 диссертации автором предложен метод вычисления вероятности туннелирования через цепочку локализованных уровней с помощью вспомогательного неэрмитового гамильтониана. Нельзя ли получить аналогичные результаты физически более прямым методом резонансного разложения матрицы рассеяния системы одномерных квантовых ям с учетом интерференции с состояниями континуума, как в открытой системе с резонансами типа Фано? Тем более что в конце Главы 2 автором приведены примеры как раз таких систем, вполне адекватно демонстрирующие обнаруженное автором характерное поведение вероятности туннелирования при слиянии резонансов. Было бы интересно это проанализировать.

2. В Главе 2 (рис. 2.4) продемонстрирована интересная возможность создания структуры с широкой энергетической щелью в прозрачности вследствие слияния антирезонансов. Представляет ли такая щель практический интерес для каких-либо приложений, и если представляет, насколько чувствительны параметры такой щели к неизбежным технологическим неточностям изготовления соответствующих структур? Следовало бы это обсудить в диссертации.

3. В Главе 3 автором предложены возможные реализации разработанных им квантовых переключателей на системах с органическими молекулами. При этом туннелирование электронов через молекулы предполагалось упругим. Однако хорошо известно, что туннелирование через молекулы может содержать неупругие каналы с возбуждением (или поглощением при конечных температурах) колебательных квантов молекулы. Насколько существенна роль неупругого туннелирования для «выживания» рассмотренных в диссертации эффектов? Это следовало бы проанализировать в диссертации.

Указанные недостатки ни в коей мере не уменьшают ценности диссертации, выполненной на высоком и современном научном уровне. Автореферат диссертации соответствует содержанию работы. Результаты работы опубликованы в 5 научных статьях в рецензируемых журналах, входящих в базу Web of Science, а также доложены на 10 российских и международных конференциях.

Диссертация Шубина Николая Михайловича «Исследование резонансов и антирезонансов в квантовых проводниках и элементах молекулярной наноэлектроники на их основе» представляет собой законченное исследование и полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с

Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

Профессор кафедры общей физики и физики конденсированного состояния Физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», доктор физико-математических наук, профессор

Тиходеев Сергей Григорьевич

Адрес: 19991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1

Телефон: +7(495)-939-11-42

E-mail: tikh@gpi.ru

Подпись профессора Тиходеева С.Г. удостоверяю

Декан Физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», доктор физико-математических наук, профессор



Сысоев Николай Николаевич

27 сентября 2019 г.

Список основных публикаций Тиходеева С.Г.

в рецензируемых научных изданиях по теме диссертации за последние 5 лет.

1. T. Weiss, M. Schäferling, H. Giessen, N. A. Gippius, S. G. Tikhodeev, W. Langbein, and E. A. Muljarov. Analytical normalization of resonant states in photonic crystal slabs and periodic arrays of nanoantennas at oblique incidence // *Phys. Rev. B.* – 2017 – Т. 96, С. 045129.
2. M. S. Komlenok, S. G. Tikhodeev, T. Weiss et al. All-carbon diamond/graphite metasurface: Experiment and modeling. // *Appl. Phys. Lett.* – 2018. – Т. 113. – С. 041101.
3. A. S. Brichtkin, S. G. Tikhodeev, S. S. Gavrilov. Transient optical parametric oscillations in resonantly pumped multistable cavity polariton condensates. // *Phys. Rev. B* – 2015. – Т. 92. – С. 125155.
4. S. S. Gavrilov, S. I. Novikov, V. D. Kulakovskii, N. A. Gippius, A. A. Chernov, S. G. Tikhodeev. Transient spectroscopy of near-condensate modes in the system of exciton polaritons in a semiconductor microcavity. // *JETP Lett.* – 2015. – Т. 101, № 1. – С. 7.
5. D. Floess, T. Weiss, S. Tikhodeev et al. Lorentz Nonreciprocal Model for Hybrid Magnetoplasmonics. // *Phys. Rev. Lett.* – 2016. – Т. 117, - С. 063901.
6. S. V. Lobanov, N. A. Gippius, S. G. Tikhodeev et al. Control of light polarization by voltage in excitonic metasurface devices. // *Appl. Phys. Lett.* – 2017. – Т. 111. – С. 241101.