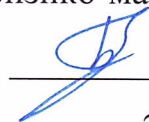


УТВЕРЖДАЮ

зам. директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе,
доктор физико-математических наук




П.Н. Брунков
24 сентября 2019 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

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.

Начатые в 70-ых годах прошлого столетия исследования резонансно-туннельного транспорта в полупроводниковых квантовых структурах положили начало целому классу наноэлектронных приборов. Эта область физики конденсированного состояния по-прежнему динамично развивается, выдвигаются новые идеи и разрабатываются принципы новых приборов и элементов наноэлектроники. Затрагиваемая в диссертационной работе тема представляется **актуальной**, так как в ней поставлен и решен ряд вопросов описания свойств открытых резонансных систем, таких как квантовые и молекулярные системы, подключенные к двум контактам. **Значимость** результатов диссертационного исследования, состоит как в построении удобного формализма для более глубокого описания резонансных транспортных свойств двухтерминальных квантовых систем, так и в потенциальной практической востребованности этих результатов при создании квантовых молекулярных проводников с заданными свойствами.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и шести приложений и списка литературы и содержит 36 рисунков. В *первой* главе проведен обзор литературы по транспортным свойствам открытых систем, не имеющих

стационарных состояний, явлению резонансного туннелирования, в частности, туннелирования через двух- или трехбарьерные структуры, свойствам систем с неэрмитовыми РТ-симметричными гамильтонианами.

Во *второй* главе формализм неравновесных функций Грина в базисе сильной связи использован для построения теории резонансного баллистического транспорта и связанных состояний в непрерывном спектре. Развитая теория естественным образом позволяет описать явления слияния резонансов и антирезонансов, а также коллапс резонанса Фано. Приведены иллюстрирующие примеры расчетов как для различных моделей сильной связи, так и в рамках непрерывного уравнения Шредингера для волновой функции электрона в гетероструктуре.

Третья глава посвящена анализу способов управления туннельной прозрачностью квантовых проводников путем изменения параметров системы. На основе построенной в главе 2 теории предложен новый механизм интерференционного управления проводимостью в системах с вырожденными уровнями. Показано, что на основе таких систем возможно построение квантовых интерференционных транзисторов и более сложных логических вентилях, обладающих потенциально крайне низким энергопотреблением. В отличие от двухтерминального кольца Ааронова–Бома, транспортные свойства которого управляются потоком магнитного поля, изучаемая в диссертации система является быстродействующей, так как коэффициент прохождения через нее контролируется электрическим полем.

Четвертая глава посвящена описанию динамических транспортных свойств симметричных квантовых проводников. С этой целью методом неравновесных функций Грина исследован линейный высокочастотный отклик, или электропроводность на переменном токе. Установлена аналогия между динамической задачей линейного отклика и задачей статического транспорта. В частности, показана наглядная аналогия между деструктивной квантовой интерференцией, наведенной переменным полем, и статическим транспортом через систему с вырожденными уровнями с подуровнями разной симметрии.

Список цитируемой литературы включает 165 наименования и полностью соответствует тематике работы.

Научная новизна основных результатов работы состоит в следующем:

1. Разработан оригинальный подход к описанию открытых квантовых систем. Показано, что положения максимумов туннельной прозрачности по энергии точно соответствуют собственным значениям некоторого вспомогательного неэрмитового гамильтониана.

2. Предложен квантовый интерференционный транзистор на основе квантовой системы с вырожденными уровнями. В качестве возможных кандидатов для физической реализации таких транзисторов предложено использовать молекулы с вырожденными орбиталями (дирадикалы). Оценки показывают высокую чувствительность и энергоэффективность таких возможных приборов молекулярной наноэлектроники.

3. Построена наглядная аналогия между высокочастотным линейным откликом симметричной квантовой системы и ее статической туннельной прозрачностью, которая позволяет проводить интерпретацию резонансных явлений в динамических свойствах системы.

Замечания. 1) В диссертации найдены интересные свойства симметричной квантовой двухконтактной системы, с этой целью привлекается аппарат РТ-симметричных операторов. Заметим, что для анализа симметричных систем применяется еще один эффективный прием, см., например, статью [ФТТ 36, 2118 (1994), формулы (15) и (18)]: задача расчета отражения и пропускания разбивается на две вспомогательные, симметричную и антисимметричную, когда на структуру слева и справа падают две когерентные волны, амплитуды которых совпадают или отличаются по знаку. Возникает вопрос, позволяет ли указанный прием обогатить описание свойств симметричных систем. 2) Вопрос к таблице 2.1, стр. 41. В подписи к таблице написано: “По материалам работ [1,102]”. В статье [102] такая таблица приведена, а в статье [1] аналогичной таблицы нет. Вопрос: какое отношение имеет статья [1] к таблице 2.1? 3) Для расчета и анализа динамического кондактанса $G_{\alpha\beta}(\omega)$ автор использует формулы (4.11) и (4.12),

полученные в рамках метода неравновесных функций Грина. Остается неясным, эквивалентен ли этот результат известной формуле Бюттикера и др. [формула (2) из статьи Phys. Rev. Lett. 70, 4114 (1993)], где динамический кондактанс выражен через элементы матрицы рассеяния, и если да, то в чем состоит преимущество данного подхода? Указанные недостатки ни в коей мере не умаляют общего очень положительного впечатления от работы и не снижают ее высокого научного уровня.

Достоверность и обоснованность положений, выносимых на защиту, и результатов диссертационной работы в целом обеспечивается применением современных методов квантовой теории твердого тела и твердотельных наносистем, аппаратом функций Грина, а также сравнением с литературными данными.

Результаты работы опубликованы в 5 научных статьях в рецензируемых журналах, входящих в базу Web of Science, а также доложены на российских и международных конференциях.

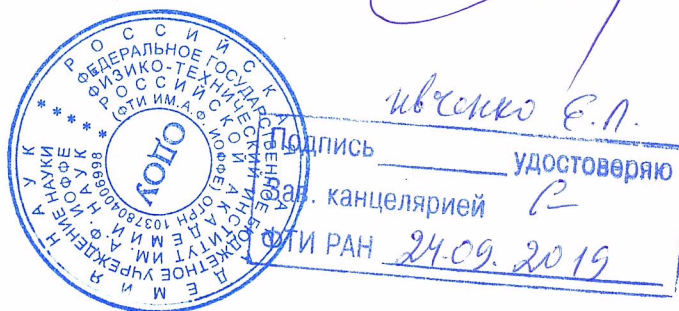
Диссертационная работа может быть использована при проведении исследований в ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, ИРЭ РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, МФТИ, Институте физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН и других научных учреждениях физического профиля. Автореферат полностью отражает суть диссертации и основные выводы проделанной работы.

Диссертация Шубина Николая Михайловича «Исследование резонансов и анти-резонансов 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 (ред. от 01.10.2018), а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Доклад соискателя Шубина Н. М. заслушан 23 сентября 2019 г. на общеинститутском “Низкоразмерном семинаре” ФТИ. Отзыв на диссертацию составлен главным научным сотрудником Сектора теории квантовых когерентных явлений

в твердом теле Центра физики наногетероструктур ФТИ, член-корр. РАН, д. ф.-м. н. Ивченко Еугениусом Левовичем и одобрен на этом семинаре.

Ивченко Еугениус Левович,
член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, профессор,
главный научный сотрудник Сектора теории квантовых когерентных явлений в
твердом теле Центра физики наногетероструктур Федерального государственного
бюджетного учреждения науки «Физико-технический институт им. А.Ф.
Иоффе Российской академии наук»,
194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26,
тел. 7(812) 297-22-45,
эл. почта: ivchenko@coherent.ioffe.ru



Голуб Леонид Евгеньевич,
доктор физико-математических наук, профессор, заведующий Сектором теории
квантовых когерентных явлений в твердом теле Центра физики наногетеро-
структур Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Фи-
зико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук».



Список основных публикаций сотрудников ведущей организации в рецензируемых научных изданиях по теме диссертации Н.М. Шубина за последние 5 лет:

1. Mantsevich, V. N. and Glazov, M. M. Fluctuations of tunneling currents in photonic and polaritonic systems // *Physical Review B*. – 2018. – Т. 97, № 15. – С. 155308.
2. Niyazov, R. A., Aristov, D. N. and Kachorovskii, V. Yu. Tunneling Aharonov-Bohm interferometer on helical edge states // *Physical Review B*. – 2018. – Т. 98, № 4. – С. 045418.
3. Dmitriev, A. P., Gornyi, I. V., Kachorovskii, V. Yu., Polyakov, D. G., Shmakov, P. M. High-Temperature Aharonov-Bohm Effect in Transport through a Single-Channel Quantum Ring // *JETP Letters*. – 2015. – Т. 100, № 12. – С. 839.
4. Davydov S. Yu. Hexagonal Two-Dimensional Layers of ANB_{8-N} Compounds on Metals // *Physics of the Solid State*. – 2016. – Т. 58, № 4. – С. 804.
5. Sadrieva Z. F., Belyakov M. A., Balezin M. A., et al. Experimental observation of a symmetry-protected bound state in the continuum in a chain of dielectric disks // *Physical Review A*. – 2019. – Т. 99, № 5. – С. 053804.
6. Afonin V. V. and Petrov V. Yu. Breaking a one-parameter ‘poor man’s’ scaling approach in the Luttinger liquid // *J. Phys.: Condens. Matter*. – 2019. – Т. 30, № 35. – С. 355601.
7. Gorlach M. A., Liberto M. D., Recati A., Carusotto I., Poddubny A. N., and Me-notti C. Simulation of two-boson bound states using arrays of driven-dissipative coupled linear optical resonators. // *Physical Review A*. – 2018. – Т. 98, № 6. – С. 063625.
8. Krainov I. V., Klier J., Dmitriev A. P., et al. Giant Magnetoresistance in Carbon Nanotubes with Single-Molecule Magnets TbPc₂ // *ACS Nano* – 2017. – Т. 11, № 7. – С. 6868.

9. Rozhansky I.V., Krainov I.V., Averkiev N.S., Lähderanta E. Resonant indirect ex-change in 1D semiconductor nanostructures // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* – 2017. – T. 383. – C. 34.
10. Saiz-Bretin M., Malyshev A. V., Orellana P. A., and Dominguez-Adame F. Enhancing thermoelectric properties of graphene quantum rings // *Physical Review B*. – 2015. – T. 91, № 8. – C. 085431.
11. Rybin M. V., Koshelev K. L., Sadrieva Z. F., et al. High-Q Supercavity Modes in Subwavelength Dielectric Resonators // *Physical Review Lett.* – 2017. – T. 119, № 24. – C. 243901.
12. Rybin M. V., Filonov D. S., Belov P. A., et al. Switching from Visibility to Invisi-bility via Fano Resonances: Theory and Experiment // *Sci. Rep.* – 2017. – T. 5. – C. 8774.
13. Poshakinskiy A. V. and Poddubny A. N. Phonoritonic Crystals with a Synthetic Magnetic Field for an Acoustic Diode // *Physical Review Lett.* – 2017. – T. 118, № 15. – C. 156801.
14. Koniakhin S. V., Utesov O. I., Terterov I. N., and Nalitov A. V. Substrate-induced reduction of graphene thermal conductivity // *Physical Review B*. – 2017. – T. 95, № 4. – C. 045418.
15. Rybin M. V., Samusev K. B., Kapitanova P. V., et al. Switchable invisibility of dielectric resonators // *Physical Review B*. – 2017. – T. 95, № 16. – C. 165119.