

**Отзыв на автореферат диссертации Шубина Николая Михайловича  
«Исследование резонансов и антирезонансов в квантовых проводниках и элементах  
молекулярной наноэлектроники на их основе»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических  
наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»**

Диссертация Шубина Н.М. посвящена исследованию управляемых резонансов в открытых квантовых системах и интерференционных приборах на их основе. С прикладной точки зрения, мотивацией данной работы является необходимость построения приборов наноэлектроники (прежде всего, полевых транзисторов) с малым напряжением питания и высокой крутизной подпороговой характеристики. С фундаментальной точки зрения, работа развивает новый подход к транспорту электронов в открытых квантовых системах.

Шубину Н.М. в своей работе удается построить общую теорию резонансов, антирезонансов и связанных состояний в открытых квантовых системах, соединенных с контактами. Данное построение основано на точных преобразованиях в задаче транспорта через одномерную цепочку, описываемую в модели сильной связи. Решение этой задачи использует ценные аналогии с РТ-симметричными системами, которые в настоящее время активно изучаются в оптике. Автор переносит некоторые идеи из оптики в электронику и добивается значительных результатов. Данный результат, в силу его фундаментальности, я считаю самым важным.

Далее автор применяет развитый метод для установления положения резонансов и антирезонансов в коэффициенте пропускания различных одномерных цепочек, связанных цепочек и кольцевых структур. Предсказано явление слияния антирезонансов, которое приводит к появлению широкого окна непрозрачности в энергетической зависимости коэффициента пропускания. Предсказано также управляемое полем затвора снятие вырождения в системах с вырожденными молекулярными орбиталями, которое может менять туннельную прозрачность на несколько порядков величины.

Важной положительной стороной работы я считаю также предложение и расчет интерференционных транзисторов на основе предсказанных эффектов. Автором показано, что явление управляемого снятия вырождения уровней позволит увеличить крутизну сток-затворной характеристики выше, чем  $e/kT$ . Раннее достижение данной цели было возможно лишь в транзисторах с межзонным туннелированием, ударно-ионизационных транзисторах, или приборах с отрицательной емкостью.

Автореферат написан достаточно подробно, так, что по его содержанию можно сделать вывод о высоком уровне диссертационной работы. Даны схематические выводы основных соотношений, подкрепленные расчетными графиками; также даны ссылки на актуальную литературу.

У меня имеется лишь одно небольшое замечание к автореферату/работе, касающееся практических характеристик интерференционных транзисторов. Известно, что в туннельных транзисторах крутизна в точке включения (в теории) обращается в бесконечность, т.к. туннельный ток обращается в ноль. Средняя же крутизна характеристики туннельного транзистора при переключении от  $I_{on}$  до  $I_{off}$  оказывается гораздо хуже и может даже не превосходить 60 мВ/дек. В главе 3.2.3 автор утверждает, что средняя крутизна интерференционного транзистора хуже максимальной лишь в 1.3 раза. Было бы интересно проследить физическую причину столь «позитивного» вывода и в этой связи обсудить различие между туннельными и интерференционными




транзисторами. Однако, данное замечание не умаляет общей важности работы и фундаментальной значимости ее основных результатов.

В целом по качеству выполненных исследований, научной новизне практической значимости, достоверности и важности результатов, приведенных в автореферате, работа удовлетворяет всем требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (постановление Правительства РФ №842 от 24.09.2013г.), предъявляемым диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор – Шубин Николай Михайлович, заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Отзыв подготовлен кандидатом физико-математических наук по специальности 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нано-электроника, приборы на квантовых эффектах», заведующим лабораторией Оптоэлектроники двумерных материалов Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» Свинцовым Дмитрием Александровичем.

24 сентября 2019 г.

 Свинцов Д.А.

Адрес: 141707 г. Долгопрудный, Институтский пер. д. 9

Тел. рецензента: +7 926 720 84 91

Эл. почта: [svintcov.da@mipt.ru](mailto:svintcov.da@mipt.ru)

Подпись Свинцова Д.А. заверяю

Ученый секретарь МФТИ Скалько Ю.А.

