

УДК 530.145

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫМ ТРАНСПОРТОМ В СИСТЕМЕ ДВУХ ОРТОГОНАЛЬНЫХ КВАНТОВЫХ КОЛЕЦ, НАХОДЯЩЕЙСЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Смолкина М.О. (федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»),

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Попов И.Ю.

(федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»)

В работе изучена модель квантового устройства, представляющего собой систему двух ортогональных колец, находящуюся в магнитном поле и имеющую один входной и два выходных провода. А также изучено влияние различных параметров системы (магнитного поля, углов поворота, радиуса колец, волнового числа) на электронный транспорт. Помимо этого, найдены значения параметров, при которых рассматриваемое квантовое устройство ведет себя как переключатель между двумя каналами.

Введение.

Существует ряд работ, описывающих спектральные и рассеивающие свойства системы, состоящей из квантовых колец. Манипулирование величиной магнитного поля позволяет управлять электронным транспортом в наноструктурах. Но в этих работах квантовые графы рассматриваются в плоскости. Такие модели не позволяют управлять электронным транспортом путем изменения направления внешнего магнитного поля. В данной работе предлагается конструкция, состоящая из двух ортогональных колец (т.е., граф не плоский), которая позволяет управлять прохождением электронов за счет направления магнитного поля или, другими словами, за счет ориентации конструкции в зависимости от магнитного поля. Среди макромолекул можно найти структуры такого типа, например молекулы дифенила. В частности, описаны дискретные модели молекул дифенила, используемые в качестве электродов. Эта молекула содержит связанные некомпланарные кольца, как и рассматриваемая в данной главе система, хотя геометрия отличается.

В ходе работы строится разрешимая непрерывная модель, в отличие от имеющихся дискретных аналогов. Предложенная модель упрощает выбор параметров системы для лучшего управления электронным транспортом.

Основная часть.

В ходе работы была построена модель квантового устройства, состоящего из двух одинаковых изогнутых квантовых проводов, каждый из которых образует круг. Один круг находится в плоскости XOY , а другой - в плоскости ZOY . Эти две окружности ортогональны друг другу и имеют общий центр в точке $(0; 0; 0)$. Устройство также имеет входной провод, который подключается к одной из двух общих точек окружностей. Каждый круг снабжен выводным проводом. Эта конструкция может вращаться вокруг оси Y , при этом вектор магнитного поля направлен вдоль оси Z и не меняет своего направления.

Одной из задач в ходе работы является изучение влияния внешнего магнитного поля на перенос электронов в системе, а именно определение такого угла поворота структуры вокруг оси Y , чтобы модуль коэффициента прохождения электронов через окружности от входа к первому выходному проводу принимает значения 1 (или 0), а ко второму проводу - значение 0 (или, соответственно, 1). При таком угле поворота электронная волна, идущая от входного провода, проходит только в один из выходных проводов, таким образом, мы получаем переключатель, фактически управляемый направлением магнитного поля.

Для описания электронного транспорта в предлагаемом устройстве был рассмотрен квантовый граф, состоящий из 3 ребер бесконечной длины (выводов) и 6 ребер конечной длины. Для данного графа были описаны: оператор Шредингера, функции, действующие на

бесконечных и конечных ребрах, условия в вершинах и магнитные условия Кирхгофа, а также составлена система уравнений для электронного транспорта.

Далее, благодаря методу Гаусса, примененному к системе уравнений, были найдены значения для коэффициентов отражения и прохождения электронов. Аналитические выражения для коэффициентов оказались слишком сложны, поэтому для частных случаев систему было удобнее решать численно и подбирать оптимальные значения параметров для управления электронным транспортом в описанном квантовом графе.

Значения коэффициентов прохождения электронов изменяются в диапазоне от 0 до 1 при изменении волнового числа и угла поворота. Был найден набор оптимальных значений параметров системы (углов, радиусов, энергии, волнового числа и величины магнитной индукции), при которых значение одного из двух коэффициентов прохождения приближается к 1, а второго к 0, то есть волна проходит в одном конкретном выходном проводе.

Выводы.

Тестирование предложенной модели с различными наборами параметров позволило выявить зависимости между параметрами и коэффициентами прохождения электронов. Описанный в работе подход позволил установить такие ситуации, когда предлагаемое квантовое устройство ведет себя как переключатель между двумя каналами. Были получены примеры такого переключения. Предлагаемая модель разрешима явно. Это позволяет найти соответствующие «углы переключения» для каждого конкретного случая.