

УДК 530.145

## Свойства баллистического электронного транспорта в системе из двух сцепленных колец, находящейся в магнитном поле\*

Смолкина М. О., Попов И. Ю., Блинова И. В.

Университет ИТМО

Существует ряд исследований, описывающих спектральные и рассеивающие свойства системы, состоящей из колец или цепочек колец [1, 2]. Наибольший интерес при изучении этих свойств вызывает вопрос управления электронным транспортом. Как показывает ряд работ, манипулирование величиной магнитного поля позволяет управлять электронным транспортом в наноструктурах [3,4]. Квантовые графы, на основе которых строятся модели, в упомянутых выше статьях плоские. Такие модели не позволяют управлять электронным транспортом путем изменения направления внешнего магнитного поля. В настоящей 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 направленности магнитного поля. Среди макромолекул можно найти структуры такого типа, например, молекулы дифенила. Молекула дифенила состоит из двух сцепленных некомпланарных колец в растворах, а в кристаллах кольца принимают компланарное положение. На данный момент существуют работы, описывающие свойства электронного транспорта и незатухающего тока для дискретной модели дифенила [5].

В настоящей работе рассмотрена непрерывная модель из двух сцепленных в одной точке колец, причем, одно кольцо располагается в плоскости  $ZOY$ , а второе в плоскости  $XOY$ . У левого кольца есть входящий провод, у правого исходящий. При этом предполагается, что правое кольцо может вращаться относительно оси  $Y$ , в то время как левое кольцо зафиксировано относительно  $Y$ . Также стоит отметить, что система находится в магнитном поле и вектор магнитного поля направлен вдоль оси  $Z$ . Для сформулированной модели построено и решено уравнение Шредингера на кривой, получены выражения для волновых функций на ребрах графа. Поскольку волновая функция должна быть непрерывной и плотность тока должна сохраняться в местах соединения колец с проводами и в точке связи, для вершин графа сформулированы магнитные условия Кирхгофа. Также получены выражения для коэффициентов прохождения и отражения электронов. В ходе численного моделирования были проиллюстрированы свойства электронного транспорта в построенной системе. Также было изучено влияние различных параметров системы:  $\alpha$  – угла поворота относительно оси  $Y$ , радиусов колец, волнового числа  $k$ , углов между точкой соединения колец и входящим (исходящим) проводом, магнитной индукции  $B$  на коэффициенты прохождения и отражения электронов. Тестирование данной модели на различных наборах значений физических и геометрических параметров системы позволило выявить случаи, когда коэффициент прохождения (отражения) электронов равен 1, т. е. имеет место полное прохождение (отражение) электронного транспорта через систему. Также был рассмотрен случай, когда оба кольца компланарны, то есть  $\alpha = \pi$ , и показано, что полученные результаты соотносятся с уже изученными ранее моделями [6].

---

\*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-31-90164

## Литература

1. Chatterjee A., Popov I. Yu., Smolkina M. O. Persistent current in a chain of two Holstein-Hubbard rings in the presence of Rashba spin-orbit interaction // *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics.*, 2019. Vol. 10. No. 1. pp. 50-62.
2. Naeimi A., Eslami L., Esmailzadeh M., Abolhassani M. R. Spin transport properties in a double quantum ring with Rashba spin-orbit interaction // *Appl. Phys.* 2013. Vol. 113. pp. 014303.
3. Geyler V. A., Popov I. Yu. Quantum interference rectifier // *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures.* 2001. Vol. 9. No. 4. pp. 631-634.
4. Dehghan E., Khoshnoud D. S., Naeimi A. Logical spin-filtering in a triangular network of quantum nanorings with a Rashba spin-orbit interaction // *Physica B Condensed Matter.* 2018. Vol. 529. pp. 21-26.
5. Kondo H., Nara J., Kino H. Ohno N. Transport properties of a biphenyl-based molecular junction system the electrode metal dependence // *J. Phys.: Condens. Matter.* 2009. Vol. 21. pp. 064220.
6. Smolkina M. O., Popov I. Yu., Blinova I. V. The spin-filtering properties in two coupled Rashba quantum rings // *Journal of Physics: Conference Series.* 2020. Vol. 1695. No. 1. pp. 012174.

MSC2020 81Q80

## Ballistic Electronic Transport Properties in a System of Two Chained Orthogonal Rings

M. O. Smolkina, I. Yu. Popov, I. V. Blinova

ITMO University