4. Двумерные системы

# Поверхностные состояния в висмутовой нанопроволоке

**В. В. Еналдиев1**, В. А. Волков1,2

1Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, ул. Моховая, д. 11, стр.7, Москва, 125009, Россия.

2МФТИ, Институтский пер., д. 9, Долгопрудный, 141700, Россия.

тел: (495)629-33-94, эл. почта: vova.enaldiev@gmail.com

Квантовые осцилляционные эффекты (эффекты Шубникова-де Гааза и де Гааза-ван Альфена) были открыты именно в висмуте более восьмидесяти лет назад. Интерес к этому материалу, прежде всего, связан с относительной простотой в изготовлении образцов высокого качества [1]. Объемный кристалл висмута является полуметаллом с небольшим количеством электронов в трех L-долинах и дырок в T-долине. Эффект размерного квантования в Bi-нанопроволоке с диаметром менее 50 нм приводит к переходу полуметалл-полупроводник [2]. При этом принципиальную роль начинают играть поверхностные состояния (ПС), которые могут, вообще говоря, возникать в запрещенной зоне нанопроволоки. Например, существованием подобных ПС можно объяснить эффект Ааронова-Бома в магнитосопротивлении Bi-нанопроволоки [3, 4]. Можно ожидать, что такие ПС имеют таммовскую природу. Однако их свойства не исследованы.

В работе впервые вычислен энергетический спектр дираковских электронов в цилиндрической Bi-нанопроволоке с учетом как размерного квантования объемных состояний, так и ПС типа Тамма-Шокли. В рамках 4-зонного приближения динамика электронов, принадлежащих L-долинам, описывается анизотропным 3D уравнением Дирака. Поверхность проволоки описывается граничным условием (ГУ) общего вида, обеспечивающим эрмитовость гамильтониана Дирака в ограниченной области пространства [5]. ГУ зависит от одного феноменологического параметра *а*0, характеризующего детали атомарного строения поверхности проволоки. Знак *а*0 качественно отличает возможные спектры ПС таммовского типа. Так, при *а*0 > 0 (*а*0 < 0) спектр ПС состоит из 1D подзон, нумеруемых проекцией полного углового момента на ось проволоки, которые находятся внутри (вне) запрещенной зоны в L-точке. Продольное магнитное поле приводит к периодической (по полю) зависимости плотности ПС на уровне Ферми, что проявляется в эффекте Ааронова-Бома. Это согласуется с экспериментом [3, 4]. Кроме того, предсказано, что при определенных условиях в запрещенной зоне проволоки возникает управляемая магнитным полем «суперсимметричная» мода ПС, имеющая общие черты как с нулевой модой в инверсном гетероконтакте [6], так и со знаменитым решением Джакива-Ребби [7]. Обсуждены условия ее проявления в эксперименте. Работа выполнена при поддержке РФФИ (№14-02-01166, №14-02-31592). ВВЕ выражает благодарность фонду "Династия".

## Литература

[1] V.S. Edel'man, Adv. Phys. **25**, 555 (1976)

[2] Y.-M. Lin, X. Sun, M.S. Dresselhaus, Phys. Rev. **B** **62**, 4610 (2000)

[3] A. Nikolaeva, D. Gitsu, L. Konopko, M. J. Graf, and T. E. Huber, Phys. Rev. **B** **77**, 075332 (2008)

[4] T. E. Huber, A. Adeyeye, A. Nikolaeva, L. Konopko, R. C. Johnson, and M. J. Graf,

Phys. Rev. **B** **83**, 235414 (2011)

[5] В.А. Волков, Т.Н. Пинскер, ФТТ **23**, 1756 (1981)

[6] Б.А. Волков, О.А. Панкратов, Письма в ЖЭТФ, **42**, 145 (1985)

[7] R. Jackiw and C. Rebbi, Phys. Rev. **D** **13**, 3398 (1976)