УДК 530.145.82, 530.145.83, 536.971

Измерение кубитов на квантовых точках с помощью туннельного контакта с блокадой

***Г. Л. Стависский*1*, Л. Е. Федичкин*1**

***Студент, К.Ф-М.Н.***

*1Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)*

Интерес к системам с переносом заряда, взаимодействующих с кубитами или иными квантовыми подсистемами, обусловлен тем, что они позволяют извлекать информацию о микропараметрах квантовой системы из временной статистики легко измеряемых макропараметров, в данном случае, тока. Ранее было показано, что спектр мощности шумов тока в туннельном контакте и сама его величина содержит информацию о гамильтониане кубита, туннельных амплитудах контакта и величине взаимодействия кубита с окружением, характеризующей декогеренцию [1]. Также, подобные теоретические предсказания были подтверждены экспериментально при наблюдении осцилляций тока в сканирующем туннельном микроскопе, вызванных спиновым расщеплением в дефектах оксида кремния [2, 3].

Интересным развитием данных идей видится обобщение подобных систем окружения кубита с процессами переноса заряда на более общие случаи, имеющие комплексное устройство точечного контакта, подобное структуре, рассмотренной ранее для описания колебаний туннельного тока над дефектами [3].

Теоретическое описание процессов переноса в системах типа контакт – множество квантовых точек – контакт уже было рассмотрено ранее, с использованием формализма Келдыша. Несмотря на мощность данного метода в применении к произвольным системам, он часто требует численного подхода к результатам и не дает общих наблюдений, поэтому возникает потребность в поиске альтернативного аппарата решения проблемы [5].

В работе рассмотрено взаимодействие кубита на квантовых точках с туннельным контактом, имеющим структуру одноэлектронного транзистора, изображенную на рис. 1.

Используя формализм вторичного квантования много-частичной волновой функции, в марковском приближении были выведены Master Equations для матриц плотности системы кубит + транзистор, полученные следом по электронным степеням свободы в контакте:

 (5)

Используя уравнения (5) и формулу МакДональда [4], связывающую спектральную плотность тока с вторым моментом заряда на правом береге контакта:

 (7)

 был получен вклад кубита в шум:

 (8)

(9)

 (10)

 (11)



Рис. 1. Туннельный контакт-одноэлектронный транзистор, взаимодействующий с кубитом

где выражения (8-9) получены в так называемом режиме Зенона, , а выражения (10-11) получены для предела быстрого кубита, , выражения (8) и (10) являются нулевыми поправками по соответствующим малым параметрам пределов, (9) и (11) – первыми поправками, ширины определяются аналогично выражению (6). Ключевым результатом является возникновение асимметрии Лоренцевского пика, пропорциональная ширинам , по смыслу соответствующим процессам когерентного переноса из точки в точку через берега контакта. Данный эффект не наблюдался в прошлых результатах, и также подтверждается численно.

Также было рассмотрено редуцирование уравнений (1) к Master Equations для кубита:

 (12)

 (13)

 (14)

 (15)

где введенная ширина , зависящая от симметрии в транзисторе, выражается как:

 (16)

В итоге получен критерий замкнутости Master Equation кубита, , что отвечает либо эквивалентности уровней в транзисторе, либо их «зеркальной» симметрии: .

Наконец, были выработаны правила получения уравнений (5) и (12-16) для произвольного количества уровней в одноэлектронном транзисторе и, соответственно, для любых систем взаимодействующих квантовых точек в контакте.

Литература

1. *Fedichkin L.E.* [et al.]. Relaxation and the Zeno effect in qubit measurements­ // Phys. Rev. Lett. 2003. V. 91(6): 066801
2. *Manassen Y*. [et al.]. Direct observation of the precession of individual paramagnetic spins on oxidized silicon surfaces // Phys. Rev. Lett. 1989. V. 62(21): 2531
3. *Gurvitz S*.*A.* [et al.]. Interference effects in resonant magnetotransport // Phys. Rev. B. 2002. V. 66(16): 161313
4. *MacDonald D.K.C.* Noise and fluctuations: an introduction. — New York: John Wiley and sons, Inc, 1962
5. *Guo G*.*Y.* [et al.]. Tunnelling current through a quantum dot array // Appl. Phys. Lett. 2001. V. 79(23): 3851