

01;06

ОБ ОТПИРАНИИ КВАНТОВЫХ ВОЛНОВОДОВ

© С.Л.Попова

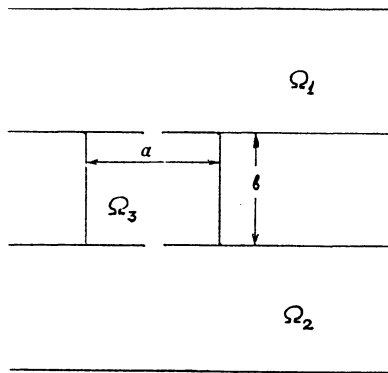
Успехи нанотехнологии к настоящему времени открыли возможность создания низкоразмерных структур типа квантовых точек и квантовых волноводов. В ряде работ последнего времени предлагаются наноэлектронные устройства, действие которых основано на квантовой интерференции [1-4]. В данной работе показана теоретическая возможность создания некоторых наноэлектронных устройств, функционирование которых связано с эффектом "запирания" квантового волновода.

Рассмотрим систему, состоящую из двух квантовых каналов, связанных через малые отверстия с квантовым резонатором (см. рисунок). Для описания транспортных свойств указанной структуры достаточно хорошее приближение дает рассмотрение ее как системы двух двумерных волноводов и резонатора с условием Дирихле на границе [5]. Известно, что при определенном соотношении размеров резонатора и волноводов в данной системе существуют собственные состояния [6]. Причиной этого является то, что непрерывный спектр оператора Лапласа с условием Дирихле для волновода начинается не с нуля, а с π/d , где d — ширина волновода. Расчет спектра системы можно провести в рамках модели щелей нулевой ширины [7-10], в которой малое отверстие связи резонатора и волновода заменяется на точечное таким образом, что модельное решение есть главный член асимптотики по ширине отверстия реального решения. Для системы резонатора, связанного с одним волноводом, модель дает следующее дисперсионное уравнение:

$$\sum_{n,m=1}^{\infty} (\lambda_{mn} - \lambda)^{-1} (\lambda_{mn} - \tilde{\lambda})^{-1} = \sum_{n=1}^{\infty} 2^{-1} (p_n^{-1} - \tilde{p}_n^{-1}),$$

где

$$\begin{aligned} \lambda_{mn} &= \pi^2 (m^2 a^{-2} + n^2 b^{-2}), \\ p_n &= \sqrt{\lambda - \pi^2 n^2 d^{-2}}, \\ \tilde{p}_n &= \sqrt{\tilde{\lambda} - \pi^2 n^2 d^{-2}}, \quad \tilde{\lambda} = \delta^{-2}, \end{aligned}$$



Конфигурация системы: Ω_1 , Ω_2 — квантовые волноводы, Ω_3 — квантовая точка (квантовый резонатор).

δ — ширина отверстия связи; a, b — соответственно длина и ширина резонатора. Легко видеть, что при условии

$$a^{-2} + b^{-2} < d^{-2} \quad (1)$$

имеется связанное состояние

Отметим, что в реальных физических системах эффективной шириной волновода d можно управлять. Это достигается обычно изменением прикладываемого к системе электрического поля, перпендикулярного волноводу (см., например, [11]). При этом мы можем добиваться выполнения или, наоборот, нарушения условия (1). Следовательно, возникает теоретическая возможность создания следующего наноэлектронного устройства.

Пусть в системе, изображенной на рисунке, волновод Ω_1 открыт, а волновод Ω_2 заперт. Распространяющаяся по Ω_1 электронная волна будет возбуждать в резонаторе Ω_3 собственное колебание. Изменим электрическое поле, управляющее шириной волновода Ω_1 , так, чтобы он был заперт. Теперь “откроем” волновод Ω_2 , т. е. добьемся нарушения в нем условия (1). Тогда состояние, возбужденное в резонаторе, будет излучаться во второй волновод. Таким образом, мы получаем ответвитель с управляемой задержкой импульса. Отметим, что здесь же мы получаем возможность создания “квантовой пипетки”, одна из гипотетических конструкций которой предложена в [12].

Еще одно возможное применение таково. Пусть волновод Ω_2 заперт и находится около границы запираения, а волновод Ω_1 открыт и по нему идет мощный сигнал, который возбуждает колебание в резонаторе. Прикладывая к волноводу Ω_2 малое управляющее напряжение, мы “отпираем” его, и

в нем появится сильный сигнал, порожденный колебанием в резонаторе. В этом случае система работает наподобие усилителя.

Работа частично поддержана грантом ГК ВШ РФ.

Список литературы

- [1] *Sols F.* // *Ann. Phys.* 1992. V. 214. N 2. P. 386–438.
- [2] *Büttiker M.* // *J. Phys. Condens. Matter.* 1993. V. 5. P. 9361–9378.
- [3] *Porod W., Shao Z., Lent C.S.* // *Appl. Phys. Lett.* 1992. V. 61. N 11. P. 1350–1352.
- [4] *Beenakker C.W.J., van Houten H.* // *Solid State Phys. Adv. in Res. and Appl.* 1991. V. 44. P. 1–228.
- [5] *Ezner P., Seba P., Stovicek P.* // *Lect. Notes Phys.* 1989. V. 324. P. 257–266.
- [6] *Попов А.Н.* // *ЖТФ.* 1986. Т. 56. В. 10. С. 1916–1922.
- [7] *Попов И.Ю.* // *Матем. сб.* 1992. Т. 183. № 3. С. 3–37.
- [8] *Попов И.Ю.* // *J. Math. Phys.* 1992. V. 33. N 11. P. 3794–3801.
- [9] *Попов И.Ю., Попова С.Л.* // *Europhys. Lett.* 1993. V. 24. N 5. P. 373–377.
- [10] *Попова С.Л.* // *Письма в ЖТФ.* 1993. Т. 19. В. 16. С. 14–16.
- [11] *Sols F., Macucci M., Ravaioli U., Hess K.* // *Appl. Phys. Lett.* 1989. V. 54. N 4. P. 350–352.
- [12] *Ezner P.* // *J. Phys. A: Math. Gen.* 1995. V. 28. N 18. P. 5323–5330.

Институт точной механики
и оптики

Поступило в Редакцию
3 января 1996 г.