

05.2;07

©1995

ЭФФЕКТ ААРОНОВА–БОМА В ПЕРЕМЕННЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

А.Н.Агеев, С.Ю.Давыдов

Магнитный эффект Ааронова–Бома (ЭАБ) [1] обсуждается в литературе уже около полувека [2]. Основные фундаментальные особенности эффекта были экспериментально выявлены с помощью электронной оптики при использовании постоянных магнитных потоков, создаваемых ферромагнитными “усами”, микросолеоидами и пермаллоевыми пленками [3]. В настоящее время особое внимание уделяется исследованиям ЭАБ в мезаскопических системах ввиду их возможного использования в будущих информационно-вычислительных системах [4].

Основное внимание при доказательстве реальности ЭАБ было сосредоточено на тщательной экранировке магнитного потока, ответственного за ЭАБ, и в этом отношении достигнуты большие успехи [5]. Можно с уверенностью сказать, что наблюдаемый эффект не связан со статическими полями рассеяния, тем более, что влияние таких полей привело бы к смещению всей огибающей интерференционной картины [6], а не к смещению полос внутри огибающей, как это имеет место на эксперименте. Однако остается открытым вопрос о других возможных объяснениях наблюдаемого смещения полос интерференции. Например, в [6] показано, что аналогичное смещение можно наблюдать, если учесть эффект изменения скоростей двух парциальных волновых пакетов, огибающих магнитный поток.

В этой связи особый интерес представляют, на наш взгляд, исследования, связанные с ЭАБ при наличии переменных магнитных потоков. Некоторые вопросы теоретически рассматривались в работах [7–8]. В работе [7] приведена схема эксперимента, по которой может быть создан детектор электромагнитного излучения без поглощения фотонов. В настоящей заметке мы предполагаем рассмотреть возможную схему эксперимента и уточнить некоторые выводы работы [7].

Технически наиболее простой способ создания переменного магнитного потока в области расщепления электронного пучка заключается в использовании диэлектрических

волноводов и, в частности, оптических волокон. Нескомпенсированный магнитный поток создается благодаря эффекту Гус-Хэнхен [9]. Можно образовать стоячую электромагнитную волну путем металлизации торца волновода и исследовать ЭАБ в пучности магнитного потока.

Предлагаемая схема эксперимента может быть, в принципе, описана теорией, развитой в работе [7]. Необходимо, однако, сделать следующие уточнения. Как показано в [7], дифракционная картина описывается вероятностью P вида

$$P = \frac{1}{2} \left| 1 + \cos \left[\frac{2evA_0}{\hbar c\omega} \sin(\omega t) + \frac{evA_0}{\hbar c\omega} \sin(\omega\tau) - \omega_e\tau \right] \right|, \quad (1)$$

где e — заряд электрона, \hbar — постоянная Планка, c — скорость света, v — фазовая скорость электронной волны, A_0 — амплитуда векторного потенциала, ω — частота электромагнитного поля, ω_e — угловая частота электронной волны, t — время пролета электрона от одной из щелей до экрана, τ — разность попадания на экран электронов, дифрагировавших от первой и второй щелей.

Условие, отвечающее полувысоте центрального интерференционного максимума, есть

$$\omega_e\tau - \left[\frac{2evA_0}{\hbar c\omega} \sin(\omega t) + \frac{evA_0}{\hbar c\omega} \sin(\omega\tau) \right]_{\max} = \frac{\pi}{2}. \quad (2)$$

С учетом малости $\omega\tau$ найдем

$$\left(\omega_e - \frac{evA_0}{\hbar c} \right) \tau - \frac{2evA_0}{\hbar c\omega} \approx \frac{\pi}{2}. \quad (3)$$

Так как $\tau \approx d\theta/v$, где d — расстояние между щелями, θ — угол дифракции, то

$$\theta \left(1 - \frac{evA_0}{\hbar c\omega_e} \right) = \frac{\pi v}{2\omega_e d} + \frac{2ev^2 A_0}{\hbar c\omega\omega_e d}. \quad (4)$$

В отсутствие электромагнитной волны угол, соответствующий полувысоте центрального максимума:

$$\theta_0 = \frac{\pi v}{2\omega_e d}, \quad (5)$$

откуда, с учетом малости второго члена в круглых скобках в левой части формулы (4), получим

$$\frac{\theta - \theta_0}{\theta_0} = \frac{4evA_0}{\pi\hbar c\omega} \left(1 + \frac{\pi\omega}{4\omega_e} \right). \quad (6)$$

Это и есть относительная величина угла для центрального дифракционного пика. В работе [7] второй член в круглых скобках опущен. Однако оценки для типичных значений параметров ($\omega = 10^{15}$ рад/с, $v = 10^6$ м/с) показывают, что эта поправка составляет величину порядка 20%, что необходимо учитывать.

Авторы выражают благодарность О.Г. Руткину за полезные обсуждения работы.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ 95-02-04064 а).

Список литературы

- [1] Aharonov Y., Bohm D. // Phys. Rev. 1959. V. 115. P. 485.
- [2] Erenberg W., Siday R.W. // Proc. Phys. Soc. 1949. V. B62. P. 8.
- [3] Peshkin M., Tonomura A. // Lecture Notes in Physics. 1989. V. 340.
- [4] Lee K.Y. // Mikroelectron. Eng. 1995. V. 27. P. 79.
- [5] Tonomura A., Osakabe N., Matsuda T., Kawasaki T. // Phys. Rev. Lett. 1986. V. 56. P. 792.
- [6] Boyer T.H. // Phys. Rev. 1973. V. D8. P. 1679.
- [7] Lee B., Yin E., Gustafson T.K., Chiao R. // Phys. Rev. 1992. V. A45. P. 4319.
- [8] Roy S.M., Singh V. // Nuovo Cimento. 1984. V. 79A. P. 391.
- [9] Goos F., Hanchen H. // Ann. Phys. (Leipz.) Ser. 6. 1947. V. 1. P. 333.

Поступило в Редакцию
6 октября 1995 г.
