

07;10;12

Влияние фазовой и частотной модуляции светового потока на дифракцию электронов благодаря эффекту Ааронова–Бома

© С.Ю. Давыдов, А.Н. Агеев

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 4 декабря 1996 г.

В работе показано, что при фазовой и частотной модуляции векторного потенциала, ответственного за эффект Ааронова–Бома, изменяется интерференционная картина, что может быть использовано для изучения этого эффекта в условиях переменного магнитного потока.

В отличие от эффекта Ааронова–Бома в постоянных магнитных полях [1,2,3] исследования этого эффекта в переменных электромагнитных полях лишь начинаются. В работе [4] для этих целей было предложено использовать когерентный источник света, создающий вытекающую световую волну на поверхности прозрачного диэлектрика при условии полного внутреннего отражения. В этой работе был проведен теоретический анализ дифракционной картины с учетом эффекта Ааронова–Бома и предложена соответствующая экспериментальная схема. В развитие этих идей в работе [5] была вычислена поправка к уширению центрального дифракционного пика и предложена модифицированная схема эксперимента, облегчающего его реализацию. В работе [6] анализировалась контрастность дифракционной картины и предлагалось исследовать эффект Ааронова–Бома под влиянием электромагнитных полей по изменению контрастности.

Другой способ исследования эффекта Ааронова–Бома при воздействии электромагнитного поля заключается в модуляции последнего. В работе [7] было рассмотрено влияние амплитудной модуляции световой волны на дифракционную картину при учете эффекта Ааронова–Бома. Было показано, что амплитудная модуляция сужает центральный дифракционный пик и изменяет контрастность (“видимость”) дифракци-

онных полос. В настоящей работе рассматривается влияние частотной и фазовой модуляций на картину дифракции электронов на двух щелях при учете эффекта Ааронова–Бома.

Как для частотной, так и для фазовой модуляции [8] изменение векторного потенциала A может быть представлено в виде

$$A = A_0 \cos(\omega t + \gamma \cos \Omega t), \quad (1)$$

где A_0 — амплитуда, ω и Ω — основная и модулирующая частоты, а γ определяет амплитуду фазового отклонения в случае фазовой модуляции или индекс модуляции $\gamma \equiv \Delta\omega/\Omega$ в случае частотной модуляции.

Используя результаты работы [4], можно показать (см. [6–8]), что интерференционная картина описывается вероятностью P , где

$$P = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \cos \left[R\Phi(t) + \frac{1}{2}R\Phi(\tau) - \omega_e\tau \right] \right\}, \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \Phi(t) = & J_0(\gamma) \sin \omega t + \omega \sum_{h=1}^{\infty} (-1)^h \\ & \times \left\{ J_{2h}(\gamma) \times \left[\frac{\sin(2n\Omega - \omega)t}{2n\Omega - \omega} + \frac{\sin(2n\Omega + \omega)t}{2n\Omega + \omega} \right] \right. \\ & \left. + J_h(\gamma) \left[\frac{1 - \cos(n\Omega - \omega)t}{n\Omega - \omega} + \frac{1 - \cos(n\Omega + \omega)t}{n\Omega + \omega} \right] \right\}, \quad (3) \end{aligned}$$

$$R = 2e\nu A_0 / \hbar c \omega, \quad (4)$$

где e — заряд позитрона; ν — скорость электрона; \hbar — приведенная постоянная Планка; c — скорость света; J_n — функция Бесселя первого рода n -го порядка; τ — временной интервал попадания на экран электронов, дифрагировавших от первой и второй щелей; ω_e — угловая частота электронной волны.

В первом приближении мы можем ограничиться лишь учетом в (3) значений $n = 0$ и 1. Полагая далее $\Omega \ll \omega$, получим:

$$\begin{aligned} \Phi(t) \simeq & J_0(\gamma) \sin \omega t + 2J_1(\gamma) \\ & \times \left[\sin \omega t \sin \Omega t - \frac{\Omega}{\omega} (1 - \cos \omega t \cos \Omega t) \right]. \quad (5) \end{aligned}$$

Как показано в работе [4], условие, отвечающее полувысоте центрального максимума, есть

$$\omega_e \tau - \left[R\Phi(t) + \frac{1}{2}R\Phi(\tau) \right]_{\max} = \frac{\pi}{2}. \quad (6)$$

С учетом того, что

$$\Phi_{\max}(t) \simeq J_0(\gamma) - 2 \left(-\frac{\pi}{2} \right) \frac{\Omega}{\omega} J_1(\gamma), \quad (7)$$

$$\Phi_{\max}(\tau) \simeq J_0(\gamma)\omega\tau, \quad (8)$$

после вычислений, аналогичных проделанным в работах [4,5,7], получим для относительного уширения интерференционного максимума $(\theta - \theta_0)/\theta_0$, где θ_0 — полуширина центрального пика (на половине высоты) при отсутствии переменного электромагнитного поля, следующее выражение:

$$\frac{\theta - \theta_0}{\theta_0} = \frac{4e\nu A_0}{\pi \hbar c \omega} \left[J_0(\gamma) \left(1 + \frac{\pi}{4} \frac{\omega}{\omega_e} \right) - 2 \left(1 - \frac{\pi}{2} \right) \frac{\Omega}{\omega} J_1(\gamma) \right]. \quad (9)$$

Сравнение с результатом работы [5], где модуляция отсутствует ($\gamma = \Omega = 0$), показывает, что величина $(\theta - \theta_0)/\theta_0$ уменьшается. Тот же эффект характерен и для амплитудной модуляции [7].

Теперь рассмотрим изменение контрастности дифракционной картины при учете эффекта Ааронова–Бома из-за фазовой или частотной модуляции светового сигнала. Воспользовавшись подходом, развитым в работе [6], можно показать, что вероятность попадания на экран в данную точку будет

$$P = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \cos(\tilde{\beta}\omega_e\tau) J_0[RJ_0(\gamma)] \right\}, \quad (10)$$

где $\tilde{\beta} = 1 - \omega RJ_0(\gamma)/2\omega_e$, а контрастность

$$K = |J_0[RJ_0(\gamma)]|. \quad (11)$$

Так как $J_0(\gamma) < 1$, то, когда значение параметра $RJ_0(\gamma)$ меньше 2.40 (это первый нуль функции Бесселя Y_0), увеличение параметра модуляции γ будет приводить к увеличению контрастности интерференционной

картины. В интервале $2.40 < RJ_0(\gamma) < 3.84$, наоборот, рост γ приводит к снижению K и т. д.

Это вытекает из осцилляционного характера функции Бесселя; на падающих участках $|J_0|$ увеличение γ вызывает рост K , на участках роста $|J_0|$ — эффект обратный.

Таким образом, как амплитудная, так и частотная и фазовая модуляции светового потока приводят к сужению центрального интерференционного максимума и, при "малых" $R (< 2.40)$, к увеличению контрастности дифракционной картины при учете эффекта Ааронова–Бома.

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

Список литературы

- [1] *Aharonov J., Bohm D.* // Phys. Rev. 1959. V. 115. N 3. P. 485–491.
- [2] *Olaru S., Popescu I.I.* // Rev. Mod. Phys. 1985. V. 57. N 2. P. 339–436.
- [3] *Peskin M., Tonomura A.* // Lecture Notes in Physics. 1989. V. 340. P. 115.
- [4] *Lee B., Jin E., Gustafson T.K., Chiao R.* // Phys. Rev. A. 1992. V. 45. N 7. P. 4319–4325.
- [5] *Агеев А.Н., Давыдов С.Ю.* // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 23. С. 71–73.
- [6] *Агеев А.Н., Давыдов С.Ю.* // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22. В. 4. С. 70–72.
- [7] *Агеев А.Н., Давыдов С.Ю.* // Письма в ЖТФ. 1997 (в печати).
- [8] *Потемкин В.В.* Радиофизика. М.: Изд-во МГУ, 1988. 260 с.