

К ТЕОРИИ ОБРАТНОГО ЭФФЕКТА ФАРАДЕЯ В НЕОДНОРОДНОЙ ПЛАЗМЕ

А. Ш. Абдуллаев, А. А. Фролов

Теоретически обнаружена генерация квазистационарных магнитных полей в неоднородной плазме, подвергающейся воздействию циркулярно-поляризованного электромагнитного излучения.

В последнее время проявляется большое внимание к изучению возможных механизмов возбуждения спонтанных магнитных полей в плазме, находящейся в поле линейно-поляризованной электромагнитной волны (см., например, [1]). Существующий интерес к возникновению сильных магнитных полей, в основном, обусловлен их определяющим влиянием на поглощение волны накачки [2] и на скорость протекания процессов переноса в плазме [3].

В настоящей работе впервые аналитически выявлена генерация квазистационарных магнитных полей в неоднородной плазме при воздействии циркулярно-поляризованного однородного электрического поля (известная в твердом теле как проявление обратного эффекта Фарадея [4]). Следует отметить, что в однородной плазме обратный эффект Фарадея не существует, в отличие от ошибочного утверждения сделанного в работе [5]. Развита ниже теория хорошо согласуется с известными экспериментальными результатами [6], в частности, указывающими на отсутствие спонтанного магнитного поля в плазме, облучаемый однородной линейно-поляризованной электрической волной.

Рассмотрим неоднородную электронную плазму с плотностью $n_e(r)$, находящуюся в однородном высокочастотном электрическом поле

$$\mathbf{E}(t) = E_0 \{ e_x \cos \omega_0 t + \lambda e_y \sin \omega_0 t \}. \quad (1)$$

Здесь E_0, ω_0 — амплитуда и частота электрического поля, e_x и e_y — единичные орты осей x и y , $\lambda = 1$ при правой поляризации, $\lambda = -1$ при левой поляризации. Для описания процесса генерации квазистационарных магнитных полей воспользуемся системой уравнений столкновительной гидродинамики холодной плазмы в ВЧ электрическом поле и системой уравнений Максвелла [1]. Тогда пространственно-временная эволюция магнитного поля описывается следующим уравнением:

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} + \text{rot} \left(\frac{c^2}{4\pi\sigma} \text{rot} \mathbf{B} \right) = \frac{c}{e} \text{rot} \mathbf{F}_E + c \text{rot} \left(\frac{\mathbf{j}_E}{\sigma} \right), \quad (2)$$

где $\sigma = \frac{e^2 n_e}{m_e \nu_{\text{эфф}}}$ — статическая проводимость плазмы, $\nu_{\text{эфф}}$ — эф-

фективная частота соударений электронов; e, m_e — заряд и масса электрона. Величины \mathbf{F}_E и \mathbf{j}_E — соответственно сила радиационного давления и нелинейный ток, определяющиеся формулами

$$\mathbf{F}_E = \lambda \frac{m_e}{2} \frac{\nu_{\text{эфф}}}{n_e} r_E \nabla_E \left\{ e_x \frac{\partial}{\partial y} - e_y \frac{\partial}{\partial x} \right\} n_e, \quad (3)$$

$$\mathbf{j}_E = \lambda \frac{e}{2} r_E V_E \left\{ e_x \frac{\partial}{\partial y} - e_y \frac{\partial}{\partial x} \right\} n_e. \quad (4)$$

В соотношениях (3), (4) $r_E = eE_0/m_e \omega_e^2$, $V_E = r_E \omega_e$ — амплитуда и скорость осцилляций электрона в поле (1). Следует отметить, что уравнение (2) справедливо в условиях:

$$\nu_{эфф} \gg \Omega_e, r^{-1},$$

где $\Omega_e = eB/m_e c$ — электронная циклотронная частота, r — характерное время изменения магнитного поля. Стационарное решение уравнения (2), с учетом (3), (4) при условии $n_e = n_e(x, y)$, имеет вид

$$\mathbf{B}(x, y) = \lambda \frac{4\pi e}{c} r_E V_E n_e(x, y) e_z. \quad (5)$$

Заметим, что возникающее магнитное поле, как и в эксперименте [6], направлено перпендикулярно плоскости поляризации внешнего излучения и меняет направление на противоположное при изменении направления вращения вектора напряженности электрического поля. При линейной поляризации внешнего излучения ($\lambda = 0$ в формуле (1)) магнитное поле не возбуждается. Укажем, что в однородной плазме источники генерации магнитного поля (3), (4) обращаются в нуль, что соответствует взаимной компенсации циркулярных токов электронов, которая имеет место и в случае плоского циркулярно-поляризованного электромагнитного излучения. Численная оценка для величины магнитного поля в лабораторной плазме $B \sim 0,5 \cdot 10^{-2}$ Гс, следующая из формулы (5), находит количественное соответствие с результатами работы [6].

Авторы благодарны Ю.М. Алиеву, В.П. Силину и М.А. Савченко за интерес к работе.

Московский
институт радиотехники
электроники и автоматики

Поступила в редакцию
1 декабря 1980 г.

Литература

- [1] A.Sh. Abdullaev, Yu.M. Aliev, V.Yu. Bychenkov, V.Stefan. Phys. Lett., 71A, 63, 1979.
- [2] W.Woo, K.Estabrook, T.De Croot. Phys. Rev. Lett., 40, 1097, 1978.
- [3] W.Manheimer, C.E.Max, T.Thomson. Phys. Fluids, 21, 1980, 1978.
- [4] Л.П. Питаевский. ЖЭТФ, 39, 1450, 1960.
- [5] A.D.Steiger, C.H.Woods. Phys. Rev. A, 5, 1467, 1972.
- [6] T.Deschamps et al. Phys. Rev. Lett., 25, №19, 1970.