

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ
И ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ**

УДК 538.56

УСТАНОВИВШИЙСЯ РЕЖИМ В ЗАДАЧЕ О ПАДЕНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СИГНАЛА КОНЕЧНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ НА ФРОНТ ИОНИЗАЦИИ, ДВИЖУЩИЙСЯ СО СКОРОСТЬЮ СВЕТА

В. В. Борисов

Рассмотрим поперечные составляющие векторов электромагнитного поля и скорости электронов, возникающие в ионизованной области при падении прямоугольного импульса длительностью T на фронт ионизации, движущийся со скоростью света. Постановка задачи и обозначения совпадают с [1] полагаем, что скорость электронов много меньше скорости света, движением ионов и столкновениями можно пренебречь и т. д. Временная зависимость падающей на фронт плоской электромагнитной волны: $E_y = -B_z = E_0 \{ I(\xi_2) - I(\xi_2 - T_0) \}$, $\xi_1 < 0$, $T_0 = \omega_0 T > 0$. Поперечные составляющие векторов E , B , v в ионизованной области ($\xi_1 > 0$) согласно [1] определяются выражениями

$$E_y = E_0 \{ I(\xi_2) J_0(\sqrt{\xi_1 \xi_2}) - I(\xi_2 - T_0) J_0(\sqrt{\xi_1 (\xi_2 - T_0)}) \},$$

$$v_y = \frac{eE_0}{m\omega_0} \left\{ I(\xi_2) \int_{|x_0|}^{\tau_0 > |x_0|} J_0(\sqrt{\tau^2 - x_0^2}) d\tau - I(\xi_2 - T_0) \int_{\psi(x_0, T_0)}^{\tau_0 > \psi(x_0, T_0)} J_0(\sqrt{(\tau - x_0)(\tau + x_0 - T_0)}) d\tau \right\},$$

$$B_z = -E_0 \left\{ I(\xi_2) \left[1 + x_0 \int_{|x_0|}^{\tau_0 > |x_0|} J_1(\sqrt{\tau^2 - x_0^2}) \frac{d\tau}{\sqrt{\tau^2 - x_0^2}} \right] - \right.$$

$$\left. - I(\xi_2 - T_0) \left[1 + \left(x_0 - \frac{T_0}{2} \right) \int_{\psi(x_0, T_0)}^{\tau_0 > \psi(x_0, T_0)} J_1(\sqrt{(\tau - x_0)(\tau + x_0 - T_0)}) \frac{d\tau}{\sqrt{(\tau - x_0)(\tau + x_0 - T_0)}} \right] \right\},$$

$$\psi(x_0, T_0) = \begin{cases} |x_0| + T_0 & (x_0 < 0) \\ T_0 - x_0 & (0 < x_0 < \frac{T_0}{2}) \\ x_0 & (\frac{T_0}{2} < x_0) \end{cases}, \quad x_0 = x \frac{\omega_0}{c}, \quad \tau_0 = \omega_0 t.$$

Слагаемые, пропорциональные $I(\xi_2)$, соответствуют падающей волне, временная зависимость которой — функция включения, уравнение фронта $\xi_2 = 0$, а пропорциональные $-I(\xi_2 - T_0)$ — волне, уравнение фронта которой $\xi_2 - T_0 = 0$.

Рассмотрим B_z , v_y при больших значениях τ_0 . После вычислений получаем

$$v_y \approx \frac{eE_0}{m\omega_0} \left\{ \exp(-|x_0|) - \exp\left(-\left|\frac{T_0}{2} - x_0\right|\right) \right\} + O\left(\frac{1}{\sqrt{\tau_0}}\right).$$

$$B_z \approx -E_0 \begin{cases} 2 - \exp(-x_0), & x_0 > 0 \\ \exp(-|x_0|), & x_0 < 0 \end{cases} + E_0 \begin{cases} 2 - \exp\left(-\left|\frac{T_0}{2} - x_0\right|\right), & x_0 - \frac{T_0}{2} > 0 \\ \exp\left(-\left|\frac{T_0}{2} - x_0\right|\right), & x_0 - \frac{T_0}{2} < 0 \end{cases} + O\left(\frac{1}{\tau_0}\right).$$

Таким образом, в пределе $\tau_0 \rightarrow \infty$ функция v_y не зависит от времени и сосредоточена в окрестности «точек» встречи фронтов электромагнитного сигнала и границы

ионизированной области ($x_0 = 0$, $x_0 = T_0/2$). Переменная составляющая B_z стремится к нулю, устанавливается статическое магнитное поле, симметричное относительно плоскости $x_0 = T_0/4$. Поведение функций v_y и B_z зависит от длительности импульса падающей на фронт ионизации плоской волны. Для импульса большой длительности ($T \gg 1/\omega_0$) магнитное поле неоднородно в области порядка нескольких длин волн плазменных колебаний вблизи «точек» $x_0 = 0$, $x_0 = T_0/2$. Максимальное значение его равно по величине удвоенной амплитуде падающей волны ($\approx 2E_0$). Так как поперечная составляющая вектора E при $\tau_0 \rightarrow \infty$, $|x_0| \neq \tau_0$ стремится к нулю, практически вся энергия падающего на фронт электромагнитного сигнала переходит в энергию статического магнитного поля, заключенного между плоскостями $x_0 = 0$, $x_0 = T_0/2$. Пространственный размер области, занятой полем, составляет половину длительности импульса падающей волны $T_0/2$. Поперечная составляющая вектора плотности тока при этом — два слоя толщиной в несколько длин волн, направление движения электронов в которых противоположно (рис. 1).

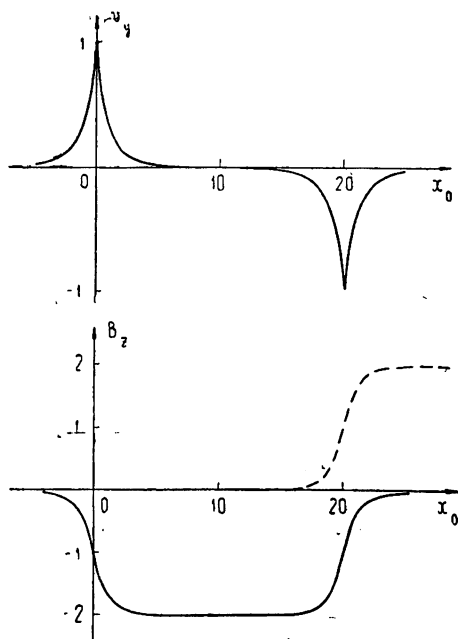


Рис. 1.

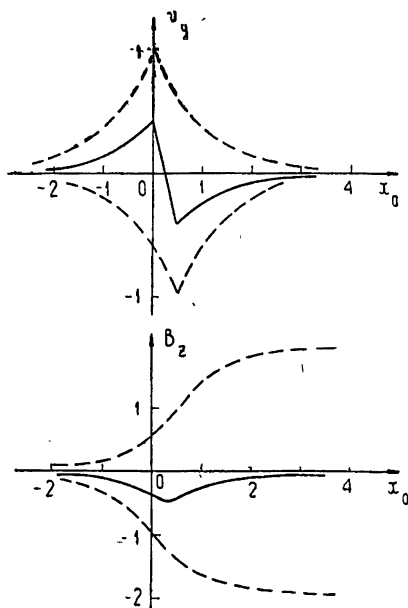


Рис. 2.

Рис. 1. Поперечные составляющие векторов v , B в ионизированной области. Максимальное значение v_y и амплитуда падающей на фронт ионизации плоской электромагнитной волны нормированы на единицу. Пунктирная линия соответствует функциям включения, уравнение фронта которых $\xi_2 = 0$, $\xi_2 = T_0 = 0$, сплошная — импульсу длительностью $T_0 = 40$.

Рис. 2. $T_0 = 1$.

При выполнении соотношения $T \lesssim 1/\omega_0$ (короткий импульс) максимальные значения v_y , B_z зависят от длительности импульса и в пределе $T_0 \rightarrow 0$ стремятся к нулю (рис. 2).

Автор благодарен участникам семинара в НИРФИ, обратившим внимание на эффект локализации магнитного поля, следующий из результатов работы [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Борисов, Изв. высш. уч. зав.—Радиофизика, 14, № 1, 54 (1971).

Ленинградский государственный университет

Поступила в редакцию
5 апреля 1971 г.