

## ИЗМЕНЕНИЕ ЭНЕРГИИ РЕЛЯТИВИСТСКОГО ПУЧКА ПРИ ЕГО ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ НЕОДНОРОДНУЮ ЛИНЕЙНО ПОЛЯРИЗОВАННУЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ ВОЛНУ

А. В. Серов

*Теоретически исследовано взаимодействие релятивистского пучка с волной  $H_{01}$ , распространяющейся в прямоугольном волноводе. Показано, что в зависимости от начальных условий пучок может как ускоряться волной, так и отдавать ей свою энергию. Результаты сравниваются с численными расчетами динамики частиц в волноводе.*

В работе /1/ рассмотрено движение релятивистского пучка через неоднородную волну  $H_{01}$ , распространяющуюся в прямоугольном волноводе. В настоящей работе рассматривается изменение энергии релятивистского пучка при его прохождении через неоднородную волну. Взаимодействие частицы с волной описывается выражением

$$d\gamma/dt = (e/mc) (\vec{\beta} \cdot \vec{E}), \quad (1)$$

где  $\beta = v/c$ ;  $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$  — приведенные скорость и энергия частицы. Как и в работе /1/, будем рассматривать движение частиц в волне  $H_{01}$ , которая имеет следующую компоненту электрического поля:

$$E_y = -E \sin(\pi x/a) \sin[k(ct - \kappa z)], \quad (2)$$

где  $k = 2\pi/\lambda$ ;  $\lambda$  — длина волны;  $a$  — поперечные размеры волновода;  $\kappa = (1 - (\lambda/2a)^2)^{1/2}$ . Представим поперечную  $\beta_y$  и продольную  $\beta_z$  скорости частицы и ее координату  $z$  в виде:

$$\beta_y = \beta_{y0} + \Delta\beta_y; \quad \beta_z = \beta_{z0} + \Delta\beta_z; \quad z(t) = c\beta_{z0}t + c \int_0^t \Delta\beta_z dt, \quad (3)$$

где  $\beta_{y0}$ ,  $\beta_{z0}$  — начальные поперечная и продольная составляющие скорости частицы;  $\Delta\beta_y$ ,  $\Delta\beta_z$  — переменные составляющие скорости частицы. Предположим, что поле волны удовлетворяет условию  $E < < 2\pi mc^2/e\lambda$ . В этом случае изменение скорости частицы под действием поля волны по сравнению со скоростью света, т.е.  $\Delta\beta_y \ll 1$ ,  $\Delta\beta_z \ll 1$ . Пусть частицы инжектируются в точке  $x = a/2$ ,  $y = 0$ ,  $z = 0$  с начальными скоростями  $\beta_{x0} = 0$ ,  $\beta_{y0} = \beta \sin\psi$ ,  $\beta_{z0} = \beta \cos\psi$ , где  $\psi$  — угол между начальной скоростью  $v$  и продольной осью  $z$  волновода. При этих условиях поперечная скорость пучка совпадает по направлению с вектором напряженности электрического поля волны.

В первом приближении будем пренебрегать изменением скоростей и координат частицы под действием поля волны ( $\Delta\beta_y = \Delta\beta_z = 0$ ). Подставим (3) и (2) в (1), после интегрирования и использования начальных условий найдем выражение, описывающее энергетическое распределение частиц на выходе из волны,

$$\Delta\gamma^{(i)} = \gamma - \gamma_0 = \frac{Ee\lambda}{2\pi mc^2} \frac{\beta \sin\psi}{1 - \kappa\beta \cos\psi} 2\sin\left(\frac{\nu}{2} + \varphi_0\right) \sin\frac{\nu}{2}, \quad (4)$$

где  $\nu = 2\pi a(1 - \kappa\beta \cos\psi)/\lambda\beta \sin\psi$ ;  $\varphi_0$  — начальная фаза частицы. Энергия частицы за время прохождения через волну может как увеличиться, так и уменьшиться в зависимости от начальной фазы  $\varphi_0$ . Если исходный пучок имеет равномерное распределение по фазам, то для вычисления изменения энергии всего пучка необходимо провести усреднение энергетического распределения частиц по начальным фазам. При усреднении выражения (4) по начальным фазам получаем  $\Delta\gamma^{(i)} = 0$ . Таким образом, в первом приближении увеличе-