

### ПИСЬМО В РЕДАКЦИЮ

В моей статье „Взаимодействие непрямолинейных электронных потоков с электромагнитными волнами в линиях передачи“, опубликованной в третьем номере журнала „Радиофизика“ [1], было рассмотрено распространение волн в волноводных системах, пронизываемых спиральными (направляемыми продольным магнитным полем  $H_0$ ) или трохоидальными (направляемыми скрещенными электрическим и магнитным полями  $E_0, H_0$ ) электронными потоками. При выводе дисперсионных уравнений для таких систем были использованы нерелятивистские уравнения движения частиц в пучке.

Последовательный учет релятивистских поправок, как нетрудно показать, не меняет характера рассмотренных в статье механизмов взаимодействия электронных пучков с электромагнитным полем, однако указывает на возможность еще одного механизма, связанного с азимутальной группировкой частиц, вращающихся в постоянном магнитном поле, под действием высокочастотного поля волны (в релятивистском приближении гиromагнитная частота  $\omega_H$  зависит от скорости). Эффекты, обусловленные такой группировкой, будут, очевидно, порядка  $\beta_{\perp}^2 = (v_{\perp}/c)^2 (v_{\perp} = a \omega_H)$ ,  $a$  — радиус окружности, образующей траекторию электрона,  $c$  — скорость света). Однако и в нерелятивистском приближении параметры взаимодействия пространственных гармоник пучка с электромагнитными волнами по порядку величины не пре- восходят  $\beta_{\perp}^2$  (коэффициенты Фурье лорентцовой силы  $G_{x,zk}$ , входящие в параметр взаимодействия типа „ $O$ “, при  $k = \pm 1$  порядка  $a/\lambda \sim v_{\perp}/c$  [1]). Отсюда следует, что при решении задачи о распространении волн в волноводах, пронизываемых спиральными (или трохоидальными) электронными потоками, должны быть использованы релятивистские уравнения движения.

Дисперсионное уравнение, описывающее взаимодействие типа „ $O$ “, в таких системах и пригодное при любых скоростях электронов в пучке, имеет вид:

$$\delta(\delta - \epsilon)^2 = \frac{|I_0| \tau_0}{v_0^2} \frac{h_e}{h_0^3 N} (1 - \beta_{\parallel}^2)^{3/2} (1 - \beta_{\perp}'^2)^{1/2} \left\{ |G'_{Hm}|^2 - \beta_{\perp}'^2 |G'_{\varphi'm}|^2 \right\}, \quad (1)$$

где  $\delta$  — поправка к постоянной распространения,  $\epsilon$  — расстройка, определяемая рассинхронизацией пространственной гармоники тока пучка и электромагнитной волны (с учетом релятивистской поправки к  $\omega_H$ ),  $\beta_{\parallel} = v_0/c$ ,  $v_0$  — продольная скорость электронов,  $\tau_0 = e/m_0$ ,  $e$  — заряд электрона,  $m_0$  — его масса покоя;  $\beta_{\perp}' = v_{\perp}/c$ ,  $v_{\perp}$ ,  $G'_{Hm}$  и  $G'_{\varphi'm}$  — попечечная скорость и коэффициенты Фурье соответствующих компонент лорентцовой силы в сопровождающей (движущейся со скоростью  $v_0$ ) системе координат. Индекс  $H$  означает компоненту, параллельную постоянному магнитному полю ( $G'_{zm}$  для спирального и  $G'_{xm}$  для трохоидального пучков); индекс  $\varphi'$  — азимутальную компоненту в плоскости, перпендикулярной  $H_0$ . Остальные обозначения те же, что и в [1]. Для не слишком быстрых пучков (с точностью до  $\beta^3$ ) уравнение (1) сводится к (19) статьи [1], но с заменой  $|G_{x,zm}|^2 \rightarrow |G_{x,zm}|^2 - \beta_{\perp}'^2 |G'_{\varphi'm}|^2$ . Соответственно, в дисперсионных уравнениях для спирального пучка в круглом и прямоуголь-

ном волноводах, приведенных в [1] на стр. 461, надо добавить в правой части множитель  $(-x^2/h_0^2)$ , где  $x$  — поперечное, а  $h_0$  — продольное волновые числа. Уравнение для трохоидального пучка в прямоугольном волноводе (стр. 461 в [1]) не меняется, поскольку в этом случае  $G_{\varphi \pm 1} \simeq 0$ .

Я весьма благодарен В. В. Железнякову, обратившему мое внимание на необходимость учета релятивистских эффектов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Гапонов, Изв. высш. уч. зав.— Радиофизика, 2, 450 (1959).

А. В. Гапонов

Поступило в редакцию 19 октября 1959 г.