

## СВЧ ФОКУСИРОВКА ЭЛЕКТРОНОВ ПУЧКА В УСКОРЯЮЩЕЙ СТРУКТУРЕ $4\pi/3$

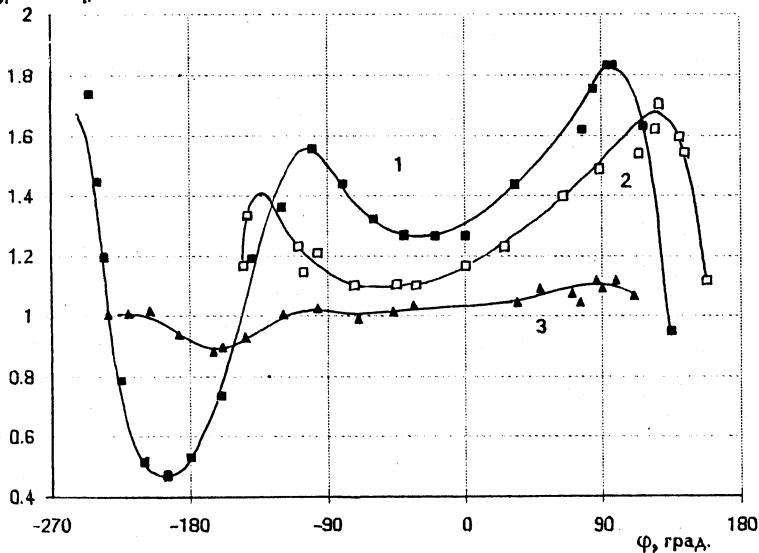
*Г.М.Иванов, В.И.Курилко, Л.А.Магненко, А.Н.Опанасенко,  
П.М.Рябка, С.А.Черенщиков*

Существенная отличительная особенность предложенных в работе [1] ускоряющих структур с рабочим типом колебаний  $\theta > \pi$  заключается в том, что для этих структур амплитуда аксиально-симметричной гармоник, несинхронной с релятивистским пучком, в несколько раз больше, чем амплитуда ускоряющей волны. В этом случае, как показали теоретические исследования [2,3], при определенных параметрах пучка и амплитуды указанной гармоник может осуществляться СВЧ фокусировка пучка.

В данной работе приведены результаты экспериментального исследования фокусирующей способности ускоряющей структуры с рабочим типом колебаний  $\theta = 4\pi/3$ . Эксперименты проводились на универсальном инжекторном комплексе ЛУЭ-300 (ХФТИ, Харьков), работающем в режиме запасенной энергии [4]. Испытываемая структура была установлена на место второй ускоряющей секции, третья — демонтирована. На расстоянии  $l = 250$  см от выходного конца исследуемой секции длиной  $L = 170$  см с помощью секционированного цилиндра Фарадея [5] измерялась плотность потока частиц вблизи оси в зависимости от фазы  $\varphi$  поля ускоряющей волны для нескольких значений циркулирующей в кольце структуры  $4\pi/3$  мощности  $P$  и энергии электронов на входном конце секции  $W_0$ . Энергия пучка ( $W_0$ ) определялась магнитным спектр-анализатором по положению максимума энергетического спектра.

Результаты эксперимента представлены на рисунке в виде семейства зависимостей от фазы  $\varphi$  ускоряющей волны отношения плотности тока  $j_n(P, W_0)$ , нормированного на полный ток пучка, к аналогичной величине  $j_n(0, W_0)$ , измеренной при отсутствии СВЧ мощности в секции. Кривые 1, 2, 3 соответствуют следующим значениям энергии пучка и СВЧ мощности: 1 —  $W_0 = 13$  МэВ,  $P = 53$  МВт; 2 —  $W_0 = 18$  МэВ,  $P = 53$  МВт; 3 —  $W_0 = 13$  МэВ,  $P = 13$  МВт. Приращение энергии  $\Delta W$  пучка в секции имеет косинусоидальную зависимость от  $\varphi$ :  $\Delta W = \Delta W_{\max} \cos \varphi$ . Как следует из данных, приведенных на рисунке, для частиц пучка при определенных условиях имеет место фокусировка:  $j_n(P, W_0)/j_n(0, W_0) > 1$ . При этом с увеличением энергии  $W_0$  пучка (кривые 1  $\rightarrow$  2) или с уменьшением циркулирующей мощности  $P$  (кривые 1  $\rightarrow$  3) фокусирующая, равно как и дефокусирующая ( $j_n(P, W_0)/j_n(0, W_0) < 1$ ) способности секции снижаются. Погрешность проведенных измерений не хуже  $\pm 10\%$ . Наблюдаемая СВЧ фокусировка имеет два выраженных максимума, приблизительно симметрично расположенных относительно гребня ускоряющей волны ( $\varphi_1^{(\pm)} \cong \pm 100^\circ$  —

$$j_n(P, W_0) / j_n(0, W_0)$$



1 —  $W_0 = 13$  МэВ,  $P = 53$  МВт; 2 —  $W_0 = 18$  МэВ,  $P = 53$  МВт; 3 —  $W_0 = 13$  МэВ,  $P = 13$  МВт.

кривая 1,  $\varphi_2^{(\pm)} \cong \pm 130^\circ$  — кривая 2,  $\varphi_3^{(\pm)} \cong \pm 90^\circ$  — кривая 3). В окрестности положительных экстремальных фаз ( $\varphi_1^{(+)}$ ,  $\varphi_2^{(+)}$ ,  $\varphi_3^{(+)}$ ) достигается максимальная плотность пучка. По всей видимости, данный максимум лежит в интервале фаз, где происходит энергетическое сжатие сгустка, что может приводить к уменьшению поперечного разброса пучка, поскольку поперечное ускорение частицы убывает с ростом ее энергии, как  $P/W^2$ . Сильная расфокусировка пучка и падение токопрохождения примерно в 9 раз наблюдаются в случае  $W_0 = 13$  МэВ,  $P = 53$  МВт (кривая 1) в области фаз максимального торможения  $\varphi \approx -180^\circ$ . В этих условиях значительная часть частиц полностью тормозится в секции или рассеивается в канале транспортировки. Чередование экстремумов в плотности пучка при изменении энергии частиц вытекает из того, что в усредненном по быстроосциллирующей фазе аксиально-симметричном радиальном поле поперечное движение частиц носит периодический характер, период которого растет с увеличением энергии [2].

Проводя аналогию между фокусирующей способностью исследуемой секции и оптической линзой, определим параметр СВЧ фокусировки, как

$$\varepsilon = L/\mathcal{L}, \quad (1)$$

где  $\mathcal{L}$  — длина четверти периода фокусировки, которая аналогична фокусному расстоянию линзы. При условии

$$q = \left| \frac{\epsilon D \sqrt{PR_0}}{2\pi(W + m_0 c^2)} \right| \ll l \quad (2)$$

величина  $\mathcal{L}$  следующим образом выражается через параметры пучка и поперечного поля в данной структуре:

$$\mathcal{L} = \frac{\sqrt{2D}}{2q}. \quad (3)$$

Здесь и выше:  $q$  — безразмерная амплитуда радиальной СВЧ силы, действующей на частицы, расположенные на единичном радиусе от оси;  $R_0$  — последовательное сопротивление фокусирующей гармоники;  $D$  — высота резонаторной чашки секции;  $m_0 c^2$ ,  $\epsilon$  — масса покоя и заряд электрона. Подставляя в формулы (1–3) данные эксперимента для режима ускорения ( $W \cong 13$  МэВ,  $P = 53$  МВт,  $\varphi \cong 90^\circ$ ,  $R_0 \cong 500$  Ом/см<sup>2</sup>,  $L = 170$  см), при котором достигнута практически максимальная плотность тока (см. кривая  $I$ ), получим значение параметра фокусировки, равное:  $\epsilon \cong 0.46$ , откуда следует, что в рассматриваемом случае по результатам воздействия на поперечные размеры пучка исследуемая структура аналогична толстой фокусирующей линзе, для которой фокусное расстояние сравнимое с ее толщиной.

#### Список литературы

- [1] Айзацкий Н.И., Биллер Е.З., Волобуев В.В. и др. // ВАНТ. Сер.: Ядернофизические исследования (Теория и эксперимент). Харьков, 1991. Вып. 3(21). С. 16–18.
- [2] Степанов К.Н., Матненко Л.А., Патомов В.И. // ЖТФ. 1965. Т. 35. Вып. 4. С. 618–622.
- [3] Айзацкий Н.И., Буляк Е.В., Курилко В.И. // Труды 12 Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц (Москва, 3–5 октября 1990 г.). Дубна, 1992. Т. 1. С. 412–415.
- [4] Ажиппо В.А., Айзацкий Н.И., Гончар В.П. и др. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. Вып. 22. С. 1387–1389.
- [5] Рябка П.М., Солодовник В.Г. // Труды 12 Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц (Москва 3–5 октября 1990 г.). Дубна, 1992. Т. 1. С. 67–70.

Харьковский физико-технический  
институт  
АН Украины

Поступило в Редакцию  
28 апреля 1993 г.