

## ОДНОРЕЗОНАТОРНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ НА 1 МэВ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

А. Н. ДИДЕНКО, Р. Г. КАМИНСКАЯ, В. В. ОСИПОВ, Г. А. УРАЛОВ,  
Ю. Г. ЮШКОВ

Для ряда биологических исследований, проводимых во ВНИИ электрификации сельского хозяйства, предполагается использование пучка электронов с энергией порядка 1—1,5 Мэв. Средний ток ускоренных электронов на выходе установки должен составлять порядка 100 мка с энергетическим разбросом  $\pm 30\%$ . Энергия электронов на выходе должна плавно регулироваться в диапазоне 0,1—1 Мэв.

Для этих целей, на наш взгляд, может быть использован обычный однорезонаторный ускоритель. В этом диапазоне энергий он будет наиболее дешевым, простым и надежным источником электронов.

Подобные ускорители широко используются в ребатронах—устройствах для генерации миллиметровых и субмиллиметровых волн [1]. Кроме этого они могут с успехом использоваться в качестве высоковольтного инжектора в бетатронах и синхротронах на 15—300 Мэв [2, 3]. Поэтому при расчете основных параметров ускорителя можно воспользоваться результатами, полученными в [1].

В [1] была решена задача о движении частиц в поле  $E_{010}$ —волны цилиндрического резонатора и было показано, что решение уравнения движения может быть представлено в виде:

$$\frac{2\pi h}{\lambda} = \int_{\Theta_e}^{\Theta_n} \frac{Ad\Theta}{V\sqrt{1+A^2}}, \quad (1)$$

где

$$A = \frac{\beta_e}{\sqrt{1-\beta_e^2}} - \left( \frac{eV_0}{m_0c^2} \right) \left( \frac{\lambda}{2\pi h} \right) (\cos \Theta_e - \cos \Theta_n); \quad \beta_e = \frac{v_{нач}}{c},$$

$\Theta_e$  и  $\Theta_n$  — начальная и конечная фаза электрона;

$h$  — высота резонатора;

$V_0 = E_{z \max} \cdot h$  — амплитудное значение ускоряющего напряжения;

$\lambda$  — длина волны генератора.

Расчет заключается в определении при заданных параметрах  $\frac{eV_0}{m_0c^2} \left( \frac{2\pi h}{\lambda} \right)$ ,  $\Theta_e$  и  $\beta_e$  верхнего предела интегрирования интеграла

(1), при котором интеграл равен  $\frac{2\pi h}{\lambda}$ .

В [1] были проведены численные расчеты, характеризующие зависимость  $\Theta_h$  и выходной энергии от  $\Theta_e$  для случая  $\frac{2\pi h}{\lambda} = 2,332$ ,

$\frac{eV_0}{m_0c^2} = 4,282$  ( $eV_0 = 2,2$  Мэв) и различных  $\beta_e$ . Из этих расчетов следует, что если электроны инжектировать с  $\beta_e = 0,3$ , то за период высокочастотного поля ускорится определенная доля влетевших электронов, равная 0,37. Число частиц с энергетическим разбросом  $\pm 3\%$  при этом вблизи  $E = 1,5$  Мэв равняется 41% от общего числа ускоряемых частиц, и почти все частицы имеют энергию больше 1 Мэв.

Таким образом, резонаторный ускоритель с такими параметрами удовлетворяет сформулированным выше техническим условиям.

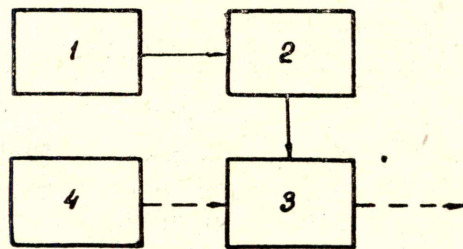


Рис. 1. Блок-схема однорезонаторного ускорителя на 1 Мэв. 1—в-ч генератор, 2—ферритовый вентиль, 3—резонатор, 4—электронная пушка

Если использовать для ускорения высокочастотный генератор с  $\lambda = 11,3$  см, то высота резонатора должна быть равна  $h = 4,2$  см.

Используя широко известные в технике СВЧ формулы, характеризующие зависимость между мощностью и напряжением, можно получить, что в резонаторе такой высоты волна  $E_{010}$  будет иметь напряженность  $E_z \approx 0,525$  Мв/см, если вводимая мощность  $P = 0,7$  Мвт.

Таким образом, для этих целей может быть использован обычный магнетронный генератор мощностью  $P_r \approx 1,5 \div 2$  Мвт. Если генератор будет генерировать 50 импульсов в секунду длительностью  $\tau = 2$  мксек, то для получения среднего тока с энергетическим разбросом  $\pm 30\%$   $I_{cp} = 100$  мка необходимо

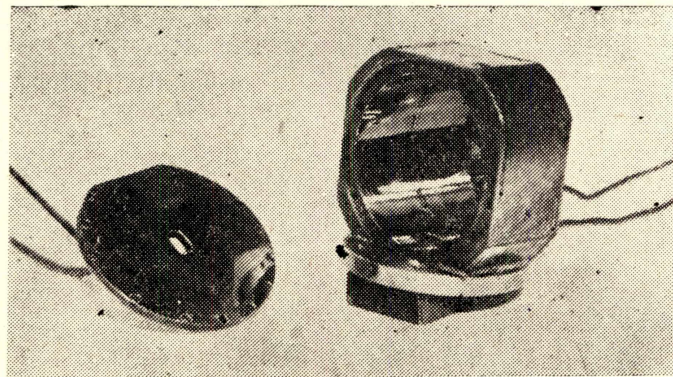


Рис. 2. Ускоряющий резонатор

чтобы импульсный ток был  $I_{имп} = 1a$ . При вышеприведенном коэффициенте захвата отсюда следует, что инжектируемый ток должен быть не меньше  $3a$ .

Объемно данный однорезонаторный ускоритель состоит из трех блоков: 1—блок питания размером  $1 \times 0,5 \times 1,5$  м; 2—магнетронный

генератор с ускоряющей головкой ( $0,6 \times 1 \times 1,5$  м); 3—пульт управления размером  $0,5 \times 1,5 \times 1,5$  м. Блок-схема ускорителя приведена на рис. 1.

Ускоряющий резонатор—цилиндрический (рис. 2), высотой 4,1 см, работает на волне  $TM_{010}$ . Он помещен в вакуумную камеру и возбуждается отверстием связи размером  $15 \times 25$  мм. Резонатор изготовлен из меди с использованием электрополировки. Собственная добротность резонатора  $Q_0 = 9000$ .

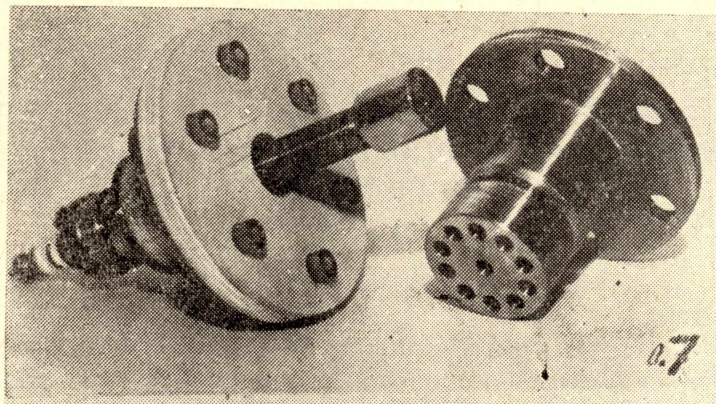


Рис. 3. Электронная пушка

СВЧ-мощность подводится по прямоугольному волноводу. Между ферритовым вентиляем и резонатором находится вакуумный переход. Коэффициент стоячей волны в тракте—1,5.

Электронная пушка (рис. 3) обеспечивает ток пучка электронов порядка  $10$  а при напряжении  $30$  кВ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Миллиметровые и субмиллиметровые волны, ИЛ, Москва, 1959.
2. А. П. Комар, О. П. Коровин. ДАН СССР, **159**, 4, 775, 1964
3. О. П. Коровин. Диссертация. ФТИ АН СССР, Ленинград, 1966.