

УСКОРИТЕЛЬ ТИПА МИКРОТРОНА КВАЗИНЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ НА ЭНЕРГИЮ ЭЛЕКТРОНОВ 400 МЭВ

Ю. М. ВОЛКОВ, В. М. ИВАНОВ, В. С. ИВАНОВ, А. П. КОМАР,
Е. Ф. ЛАКОВИЧЕВ, Г. В. ОСИПОВ, В. П. ФОМИНЕНКО, В. П. ЧИЖОВ

Физико-технический институт АН СССР, Ленинград
Докладчик В. П. Чижов

Ускоритель типа микротрона (УТМ) на энергию электронов $E = 400 - 600$ Мэв состоит из линейного ускорителя (ЛУ) и поворотно-фокусирующей магнитной системы, обеспечивающей многократное (20—30 раз) прохождение частиц через ЛУ. Равновесное приращение энергии за оборот ΔE и напряженность магнитного поля H поворотного магнита связаны соотношением:

$$\Delta E \text{ (Мэв)} = \frac{H(\text{кэ}) \cdot \lambda(\text{см})}{20.9} \cdot v$$

где λ — длина волны СВЧ—генератора, v — целое число, равное разности периодов обращения равновесных частиц по двум соседним орбитам, отнесенными к периоду генератора. Отсюда следует, что выгодный режим работы микротрона при заданных значениях H и λ осуществляется, когда $v = 1$. В этом случае $\Delta E = \Delta E_{\min}$, следовательно, требуемая СВЧ — мощность будет наименьшей. Однако, если энергия электронов, инжектируемых в ЛУ $E_{\text{inj}} \ll \Delta E$ и $v = 1$, то величина радиуса первой орбиты оказывается недостаточной для обхода ЛУ.

Радиус первой орбиты увеличивается, если в качестве инжектора используется ЛУ на энергию $E_{\text{inj}} \geq \Delta E$ [1] или приращение энергии за оборот повышается до величины $\Delta E = 2\Delta E_{\min}$ ($v=2$) [2].

В рассматриваемом проекте УТМ для экономии СВЧ мощности и упрощения конструкции ускорителя приращение энергии за оборот выбрано равным ΔE_{\min} ($v=1$), а энергия инжекции $E_{\text{inj}} \ll \Delta E$. Обход ЛУ достигается при помощи специальных магнитов.

Орбитальная устойчивость движения частиц в микротронах с двухсекторным поворотным магнитом [1, 2] обеспечивается квадрупольны-

ми линзами, расположенными на прямолинейных участках орбит между магнитами.

В предлагаемом микротроне применена секторная фокусировка [3, 4] электронов на всех орбитах за исключением нескольких первых.

Схема устройства УТМ показана на рисунке. ЛУ с бегущей волной располагается между двумя поворотными магнитами с постоянным однородным полем. Электроны, инжектируемые в ЛУ с энергией $E_{inj} \approx 250$ Кэв, фокусируются в продольном магнитном поле соленоида. Это поле оказывает существенное фокусирующее действие и при последующих прохождениях через ЛУ. В отличие от ранее рассмотренного варианта УТМ [5] обход ЛУ осуществляется при помощи секторных магнитов, отклоняющих частицы в вертикальной плоскости. Длина пути обхода выбирается из условий синхронизма орбитального движения. На участке пути, параллельном оси ЛУ, размещаются квадрупольные линзы. Такой способ обхода ЛУ позволяет сократить число орбит, на которых орбитальная устойчивость движения обеспечивается квадрупольными линзами.

Секторная фокусировка достигается путем создания на орбитах участков l на которых магнитное поле ослаблено в несколько десятков раз. Края участков составляют с касательной к орбитам угол приблизительно равный 45° . Орбитальное движение становится устойчивым, если выполняется условие

$$\frac{S \cdot l}{R^2} \leq 2 \div 3,$$

где S —расстояние между поворотными магнитами, R —радиус орбиты в однородном поле поворотного магнита.

Участки с ослабленным магнитным полем создаются при помощи магнитного шунта со сквозными отверстиями, помещенного в зазор поворотных магнитов. Поле в области шунта предварительно ослаблено выборкой части железа в полюсах магнита. Длина шунта вдоль орбиты установлена равной $l = 3,5$ см. Расчеты, выполненные на ЭВМ, с учетом измеренных краевых полей поворотных магнитов и шунта, а также фокусирующего действия соленоида, показывают, что при $S = 4$ м устойчивое орбитальное движение начинается с шестой орбиты. Радиальное и вертикальное смещение частиц от равновесной орбиты не превышает 5 мм при начальном диаметре пучка после первого прохождения ЛУ 4 мм и угловой расходимости $\pm 2 \cdot 10^4$ рад. Радиальное смещение у отверстий шунтов < 1 мм.

Результаты расчетов радиально-фазового движения показывают, что, например, при равновесной фазе 7° , $E_{inj} = 250$ Кэв, максимальном приращении энергии за оборот 13,6 Мэв и 30-ти орбитах ширина области устойчивых входных фаз равна 10° , а энергетический разброс частиц составляет 0,05 %.

Основные параметры УТМ приведены в таблице. Циркулирующий ток 200 ма значительно меньше критического тока, при котором проис-

ходит развал пучка. Как известно [6], этот эффект не был замечен, когда в подобный ЛУ инжектировался импульсный ток 2,5 а с длительностью импульса 8 мкsec.

Требуемые допуски на стабильность частоты ускоряющего поля и температуры ЛУ, соответственно, составляют 0,001% и 0,75°. Допустимое амплитудное значение первой гармоники в неоднородности магнитного поля 0,1%.

Таблица

| | |
|---|------------------|
| Максимальная энергия (Мэв) при максимальном токе | 40 |
| Доля полезного времени при максимальной энергии | 10% |
| Доля полезного времени при энергии 200 Мэв | 100% |
| Средний ток при максимальной энергии (мка) | 600 |
| Средняя мощность пучка (квт) | 272 |
| Средняя СВЧ мощность (квт) | 452 |
| Разброс электронов по энергиям | 0,05% |
| Длина ЛУ (м) | 2 |
| Циркулирующий ток в импульсах (ма) | 200 |
| Параметр нагруженности (a/λ) | 0,0777 |
| Вид колебаний | $\frac{2}{3}\pi$ |
| Число орбит | 30 |
| Длительность импульса генератора (мкsec) | 15 |
| Частота СВЧ генератора (Мгц) | 1200 |
| Радиус последней орбиты (м) | 1,21 |
| Напряженность магнитного поля основного поворотного Магнита (кэ) | 11,1 |
| Вес магнита (Т) | 250 |

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. B. H. Wilk, R. B. Wilson, Nucl. Instr. Meth. 56. N 2. (1967)
2. C. S. Robinson, D. Jemnik, A. O. Hanson, Paper E-18. (1967) U. S. National Particle Accel. Conf., Washington.
3. Е. М. Мороз, ДАН СССР, 115, (1957).
4. A. Roberts, Annals of Physics, 4, 115, (1958).
5. А. П. Комар, В. П. Фоминенко, В. П. Чижов, ФТИ АН СССР, Препринт 146 (1968).
6. J. Haimson, I. Brodie. Nature, № 4895, 795, (1966)

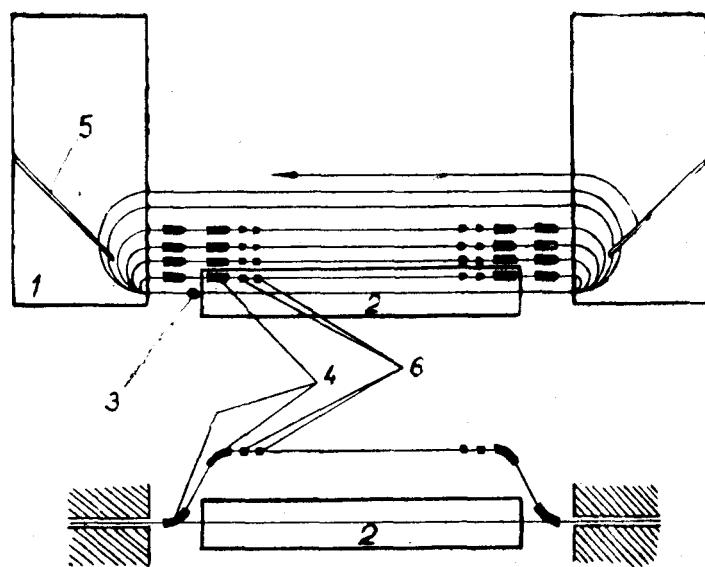


Рис. 1

1—Основной поворотный магнит. 2—Линейный ускоритель. 3—Инжектор. 4—Отклоняющие магниты. 5—Магнитные шунты. 6—Дублеты квадрупольных линз.