

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ВНЕШНЕГО ПУЧКА МИКРОТРОНА

К. А. Беловинцев, А. В. Серов

УДК 621.384.633.8

Описаны результаты экспериментального исследования зависимости радиального эмиттанса пучка микротрона от напряженности электрического поля в резонаторе и от ускоренного тока. Изучено возбуждение током пучка "паразитной" моды E_{011} в резонаторе микротрона. Результаты согласуются с результатами проведенных ранее расчетов.

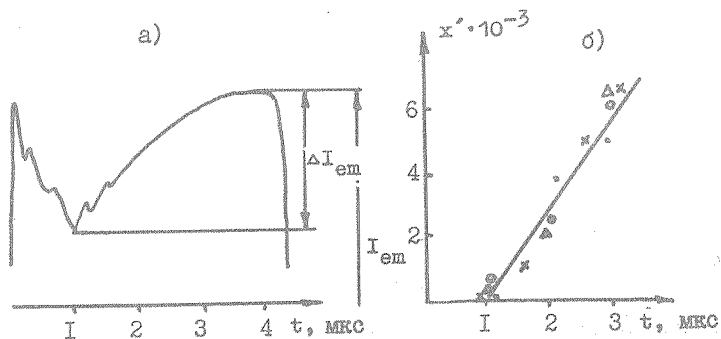
В связи с тем, что в последнее время предполагается использование микротрона в лазерах на свободных электронах /1,2/, особую актуальность приобретает задача изучения параметров ускоренного пучка и поиска путей их улучшения.

В работе /3/ расчетным путем было показано, что из-за зависимости положения и размеров эмиттанса от величины напряженности электромагнитного поля в резонаторе E и от величины ускоренного тока I_a , эффективный радиальный эмиттанс внешнего пучка микротрона может заметно превосходить его мгновенное значение. В настоящей работе описаны методика и результаты экспериментального исследования этих зависимостей.

Все измерения производились на микротроне-инъекторе электронного синхротрона "Лахра". Микротрон работает с использованием первого типа ускорения /4/. Ускоренный ток выводится с 12-ой орбиты микротрона в тракт транспортировки пучка с помощью магнитного канала. Микротрон работает с частотой 50 Гц и длительностью импульсов 4 мкс.

Измерения радиального эмиттанса выведенного из микротрона пучка производились методом двух щелей. Первая щель распола-

галась в камере микротрона перед входом в выводной канал, вторая - в тракте транспортировки на расстоянии 1 м от первой. Ток пучка, прошедшего через обе щели, измерялся цилиндром Фарадея.



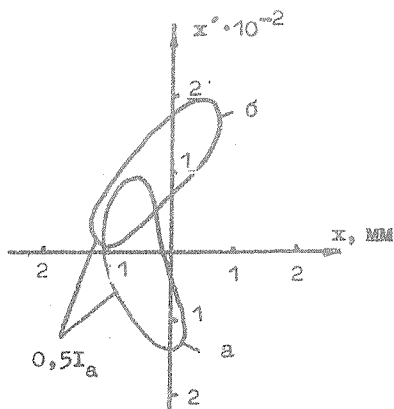
Р и с. 1. Зависимость от времени (а) тока эмиссии с катода ($\Delta I_{em}/I_{em} = 0,035$) и (б) горизонтальной составляющей угла выхода пучка ($I_a = 30$ МА)

На первом этапе исследовалась пространственная структура выведенного пучка в различные моменты времени импульса ускорения. Характерная осциллограмма импульса тока эмиссии с катода микротрона приведена на рис. 1а. Поскольку ток эмиссии пропорционален $\exp \sqrt{E}$, то по осциллограмме рис. 1а можно судить о характере изменения величины напряженности электромагнитного поля E в резонаторе в течение импульса.

На рис. 2 приведены экспериментальные результаты измерения положения и размеров мгновенных эмиттансов выведенного пучка для моментов времени $t = 1$ мкс и $t = 3$ мкс, соответствующих наибольшему изменению напряженности ускоряющего поля в течение импульса. Эти результаты в полном соответствии с ранее выполненными расчетами /3/ свидетельствуют о том, что при изменении ускоряющего напряжения происходит значительное изменение горизонтальной составляющей угла выхода пучка (под углом выхода под-

разумеается угол между осью пучка и осью канала), в то время как форма и размер мгновенного эмиттанса меняются незначительно. Поскольку практический интерес представляет эффективный эмиттанс, являющийся суперпозицией мгновенных эмиттансов, то естественным выводом из проведенных экспериментов является заключение о необходимости стабилизации амплитуды огибающей импульса ускоряющего напряжения.

На втором этапе исследований основное внимание было сосредоточено на детальных исследованиях предсказанной расчетами сильной зависимости угла выхода пучка из микротрона от режимов ускорения. Как показали предварительные измерения, положение и радиальный размер пучка на входе в выводной канал слабо зависят от условий эксперимента. Это позволило отказаться в данной серии опытов от использования первой щели и тем самым повысить чувствительность метода. В этой серии на основе анализа осциллограммы были построены экспериментальные зависимости угла выхода пучка от времени (рис. 1б) и от ускоряемого тока (рис. 3а). Полученные результаты находятся в хорошем качественном согласии с результатами расчетов. Кроме того, результаты второго этапа исследований позволяют сформулировать практические требования

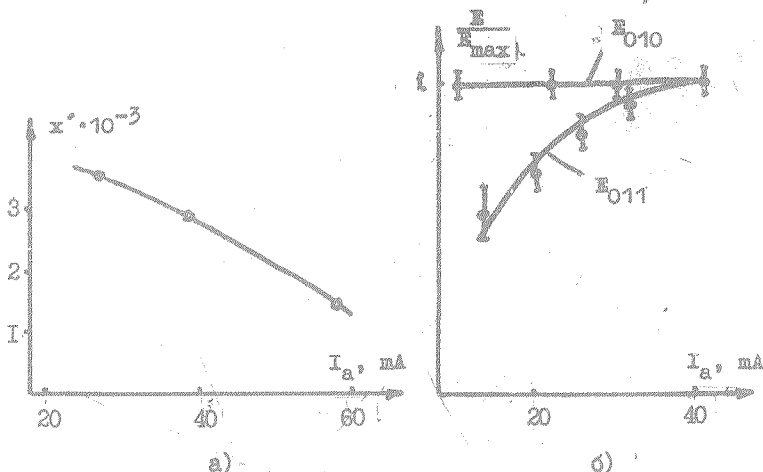


Р и с. 2. Мгновенные радиальные эмиттансы пучка в различные моменты времени: а) $t = 1$ мкс; б) $t = 3$ мкс

к стабильности амплитуды и формы импульса высокого напряжения на магнетроне. Так, например, для показанной на рис. 1 зависимости амплитудная нестабильность импульса напряжения как от импульса к импульсу, так и в течение одного импульса не должна превосходить $\sim 0,1\%$, чтобы величина эффективного эмиттansa не превосходила мгновенный эмиттанс более чем на 30%.

Влияние величины ускоренного тока на положение радиального эмиттansa пучка и на величину коэффициента захвата микротрона может проявляться, как отмечалось в работе /3/, и через возбуждение "паразитной" моды колебаний в резонаторе. В этой связи были проведены исследования частотного спектра СВЧ колебаний в резонаторе и зависимости амплитуд выделенных гармоник от величины ускоренного тока.

Спектр высокочастотного сигнала из резонатора изучался в диапазоне длин волн 3-10 см. При всех измерениях величина ведущего магнитного поля и связь резонатора с магнетроном оставались постоянными.



Р и с. 3. Зависимость от ускоряемого тока средней за время импульса горизонтальной составляющей угла выхода пучка (а) и амплитуд H_{010} и H_{011} мод СВЧ колебаний в резонаторе (б)

В результате проведенных измерений в резонаторе микротрона кроме основных колебаний зафиксированы колебания с частотой, равной третьей гармонике основной частоты. Для нашего резонатора такой частоте соответствует мода E_{011} . На рис. 3б показаны зависимости амплитуд СВЧ колебаний (в относительных единицах) для мод E_{010} и E_{011} от величины ускоренного тока. Видно, что амплитуда основной гармоники остается постоянной (в пределах ошибки измерений), а амплитуда "паразитной" зависит от тока. Нелинейный характер зависимости объясняется тем обстоятельством, что амплитуда наведенной гармоники пропорциональна току всех орбит. Как показывает эксперимент /5/, с увеличением ускоренного тока изменяются относительные потери электронов на каждой орбите, поэтому ток всех орбит не пропорционален току последней орбиты.

Поступила в редакцию
28 марта 1983 г.

Л и т е р а т у р а

1. G. Dattoli et al., *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, NS-28, 3133 (1981).
2. Д. Ф. Алферов и др., Препринт ФИАН № 147, М., 1981 г., *ЖТФ*, 53, 270 (1983).
3. К. А. Беловицнев, С. В. Левонян, А. В. Серов, Препринт ФИАН № 172, М., 1979 г., *ЖТФ*, 51, 752 (1981).
4. С. П. Капица, В. Н. Мелехин, *Микротрон*, "Наука", М., 1968 г.
5. К. А. Беловицнев, А. В. Серов, Препринт ФИАН № 4, М., 1978 г.