

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

2948/2-81

15/6-81

P9-81-71

С.Н.Доля, А.К.Красных, В.В.Тихомиров

ГРУППИРОВАНИЕ ТРУБЧАТОГО ПУЧКА
КОАКСИАЛЬНЫМ РЕЗОНАТОРОМ

1981

В работе^{/1/} была высказана идея ускорения ионов в трубчатом электронном пучке, который модулируется группирователем и, проходя через капс магнитного поля, образует последовательность вращающихся сгустков, размеры которых поддерживаются внешними полями, а кулоновским полем сгустков осуществляется ускорение ионов. Требования, предъявляемые к группирователю, сформулированы в работе^{/2/}. В данной работе приводятся результаты экспериментов по модуляции пучка, сформированного магнетронной пушкой^{/3/}.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Схема экспериментальной установки приведена на рис.1. Электронный пучок, выходящий из катода /4/, регистрируется вакуумным поясом Роговского /5/ и модулируется коаксиальным резонатором модели коллективного ускорителя^{/4,5/} /7/. Частота резонатора может перестраиваться с помощью плунжера /6/, мощность вводится в резонатор через петлю возбуждения /9/. Вакуумный объем установки откачивается насосом типа ВА-05 /1/ до давления 10^{-6} Торр. Охлаждаемый анод пушки /3/ и резонатор /7/ расположены внутри катушек первого импульсного магнитного поля /2/. Цилиндр Фарадея /12/ и металлическая труба дрейфа /11/ находятся внутри катушек второго импульсного поля /10/. Труба дрейфа укреплена на резиновых изоляторах /13/. Возле резонато-

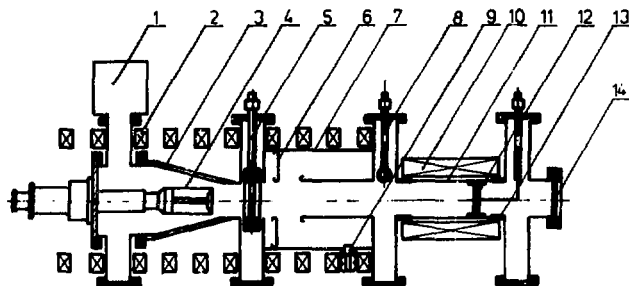


Рис. 1

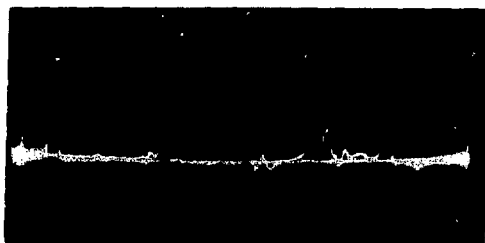


Рис. 2

ра в вакуумном переходнике располагалась экранированная рамочная антенна /8/. Цилиндр Фарадея представляет собой тонкую алюминиевую фольгу, в которой останавливаются электроны пучка. Сразу же за фольгой установлен люминофор, по свечению которого определялся профиль поперечного сечения пучка. Для этого в установке имелось специальное стеклянное окно /14/ и защита.

Добротность резонатора на основной частоте 149,5 МГц и второй гармонике 519,5 МГц составила величину порядка $Q \sim 10^8$. Спектр собственных частот резонатора в диапазоне от 500 до 900 МГц приведен на рис. 2. Расстояние между метками 100 МГц. Резонатор возбуждался генератором с частотой 519,5 МГц, состоящим из задающего стандартного генератора Г4-37А и четырех каскадов усиления, собранных в двух стойках /6/. Мощность генератора была равна $P = 1$ кВт. Напряжение U , развиваемое на зазоре, можно оценить по формуле

$$U = \sqrt{\frac{2PQ}{C\omega}}, \quad /1/$$

где ω - собственная частота резонатора; C - эквивалентная емкость. Подставляя значение емкости $C = 30$ пф, найдем, что напряжение близко к 4,5 кВ.



Рис. 3

Высокочастотные сигналы регистрировались скоростными осциллографами и приемниками П5-9 и SMV-8. Полоса приемника SMV-8 может регулироваться от 1 до 100 кГц, приемник регистрирует сигналы с длительностью 1 мкс. Переходная характеристика приемника П5-9 - амплитуда и форма импульса отклика приемника на короткое воздействие - может быть определена по осциллограмме, приведенной на рис. 3.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

После прохождения фронта тока пучок с $I = 100$ А практически не обменивается энергией с резонатором, это не приводит к значительному изменению частоты резонатора. На рис. 4 приведена осциллограмма продетектированного высокочастотного сигнала с резонатора. Скорость развертки по горизонтали 20 мкс/дел; через 30 мкс после начала импульса видна наводка от пролета через резонатор пучка.

В первых экспериментах измерение глубины модуляции проводилось с помощью цилиндра Фарадея, оно затруднялось тем, что большая часть ВЧ сигнала /90% на частоте 519,5 МГц/ шунтировалась емкостью, образованной цилиндром Фарадея и корпусом установки. К тому же остается неизвестным, какая часть высокочастотной мощности, заключенной в пучке, трансформируется в переходное излучение - выведенную мощность.

В последующих экспериментах глубина модуляции измерялась экранированной рамочной антенной. Известно ^{1,2/}, что для глубиной модуляции пучка требуется значение напряжения на зазоре группирователя порядка анодного напряжения пушки. При этом не обязательно иметь полное напряжение на одном зазоре, можно с помощью группы резонаторов возбудить в пучке волну, потенциал которой будет равен сумме напряжений на зазорах резонаторов. Для подхода, развиваемого в ^{1,2/}, существенно было иметь ток пучка и форму группирующего напряжения такими, чтобы в точке фокуса группирования были близки к нулю относительные скорости всех частиц сгустка. При модуляции слабotoчного пучка в фокусе группирования скорости всех частиц сгустка равны полученным на зазоре группирователя. В сильноточном пучке дело обстоит иначе, в процессе сжатия сгустка кинетическая энергия, полученная на зазоре, переходит в потенциальную, и относительные скорости частиц падают.

Специальным подбором формы группирующего напряжения можно добиться того, чтобы были близки к нулю относительные скорости всех частиц пучка. Тогда такой пучок с минимальным разбросом скоростей может быть переведен без потерь в другое состояние - последовательность вращающихся сгустков и заполнен ионами. В наших экспериментах при токе 100 А была зарегистрирована модуляция на уровне $1-3 \cdot 10^{-2}$. Малым напряжением



Рис. 4

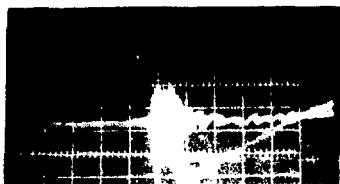


Рис. 5

ли 5 мкс/дел. Уровень полей, наводимых в рамке, равен

$$U = \frac{S}{c} \omega H, \quad /2/$$

где S - площадь антенны; ω - частота; c - скорость света. Сигнал с рамки подавался на скоростной осциллограф С7-10А и составлял величину 30 В. Определяя по формуле /2/ напряженность магнитного поля, получим, что она равна 0,3 Э.

Связь между напряженностью поля и током может быть задана приближенным соотношением:

$$H = \frac{2I}{cR}, \quad /3/$$

где I - высокочастотный ток пучка; R - расстояние от центра пучка до центра антенны. Найденный из этого соотношения ток равен 10 А. При длительности импульса 10 мкс и частоте модуляции 500 МГц /период модуляции 2 нс/ пучок представляет собой последовательность из $5 \cdot 10^3$ сгустков. Длина каждого сгустка /порядка половины замедленной длины волны/ равна 6 см. Теперь, зная толщину пучка - 0,5 см, можно найти напряженность электрического поля на краю сгустка. Электрическое поле составляет сотни вольт на сантиметр и примерно равно напряженности поля в зазоре резонатора. Максимальная же напряженность поля, которая может быть достигнута в пучке, во столько раз превосходит напряженность поля на зазоре резонатора при том же потенциале волны, во сколько раз достигнутая длина сгустка короче длины зазора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показывают, что "длинный" немодулированный пучок в среднем по длительности импульса не обменивается энергией с резонатором и не приводит к изменению его частоты на уровне токов 100 А. Учет этого обстоятельства является важным при расчете группирователя, т.к. требуемая мощность

группирователя определяется только добротностью резонатора и его эквивалентной емкостью. Достигнута стопроцентная модуляция трубчатого пучка и получена напряженность поля в нем, равная напряженности поля на зазоре резонатора. Тем самым экспериментально подтверждена возможность разбиения трубчатого пучка на сгустки, имеющие существенную напряженность поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бонч-Осмоловский А.Г., Доля С.Н. В кн.: Труды II Международного симпозиума по коллективным методам ускорения. ОИЯИ, Д-10500, Дубна, 1976, с.87.
2. Бонч-Осмоловский А.Г., Доля С.Н. ОИЯИ, 9-10648, 9-10649, Дубна, 1977.
3. Доля С.Н. ОИЯИ, 9-13025, Дубна, 1980.
4. Иванов Г.А., Гаврилова З.Г. ОИЯИ, 9-5853, Дубна, 1971.
5. Иванов Г.А. и др. ОИЯИ, 9-6983, Дубна, 1973.
6. Анищенко Н.Г. и др. ОИЯИ, 9-4722, Дубна, 1969.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 января 1981 года.