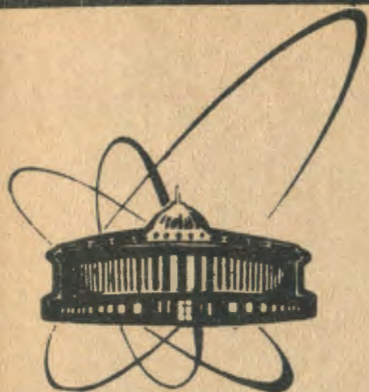


90-176



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

B 19

P9-90-176

А.Т.Василенко, А.А.Глазов, Е.Н.Заплатин,
В.А.Кочкин, Ли Гын Чел, А.В.Новиков,
В.А.Саенко, В.О.Сидорова

ПРОТОТИП УСКОРЯЮЩЕГО РЕЗОНАТОРА
СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО СЕКТОРНОГО
ДЕЙТРОННОГО ЦИКЛОТРОНА

1990

ВВЕДЕНИЕ

Конструктивные особенности секторного циклотрона ДЦ-1^{1/1} обусловили выбор в качестве ускоряющей структуры полуволнового резонатора с Δ -электродом в качестве ускоряющего элемента. Основные параметры ВЧ-системы ДЦ-1 следующие:

Число резонаторов	2
ВЧ-частота	74,25 МГц
Кратность ускорения	6
Средний радиус инжекции	40 см
Средний радиус вывода	105 см
Ускоряющее напряжение	300 кВ
Азимутальный размер резонатора	30°
Мощность потерь в одном резонаторе	40 кВт.

Основные соображения, связанные с выбором геометрических размеров резонатора, результаты расчета его характеристик и экспериментальные данные, полученные при исследованиях на модели в масштабе 1:2, приведены в работе^{1/2}. Результаты этой работы и легли в основу разработки прототипа резонатора циклотрона ДЦ-1.

ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Резонатор представляет собой прямую призму высотой около 2 м с основаниями в виде равнобоких трапеций. Общий вид и поперечный разрез резонатора в медианной плоскости приведен на рис. 1, 2. На рис. 3 представлен Δ -резонатор без боковой стенки. Хорошо видны собственно ускоряющий электрод и подвижные закорачивающие панели.

Стенки резонатора изготовлены из алюминиевого сплава и покрыты изнутри медной плакировкой. Пространство для установки резонатора в циклотроне ограничено двумя соседними секторами магнитов и составляет 30°. Для сохранения внутреннего объема резонатора его боковые стенки спроектированы как можно тоньше (до 10 мм). Предполагается, что силовую нагрузку атмосферы будут нести стенки криостатов магнитов. Зазоры, образующиеся между боковыми стенками резонатора и криостатов, откачиваются на форвакуум. Остальные стенки резонатора имеют толщину 50 мм и способны выдерживать атмосферную нагрузку.

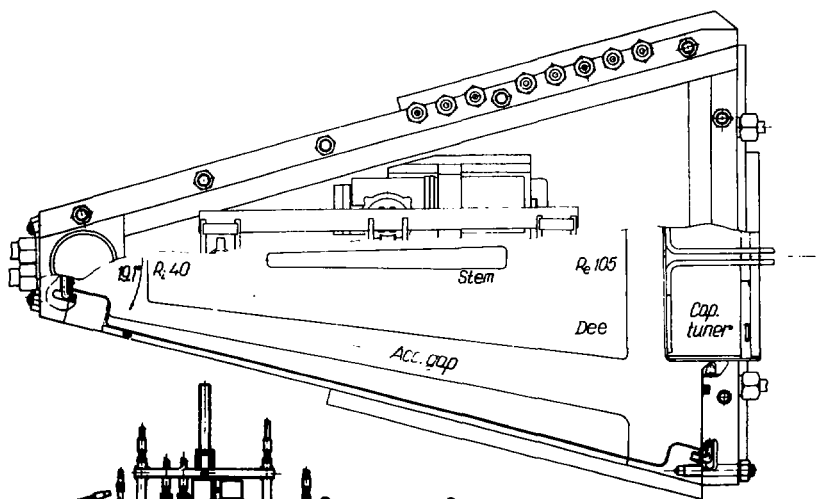


Рис. 1. Поперечный разрез Δ -резонатора в медианной плоскости.

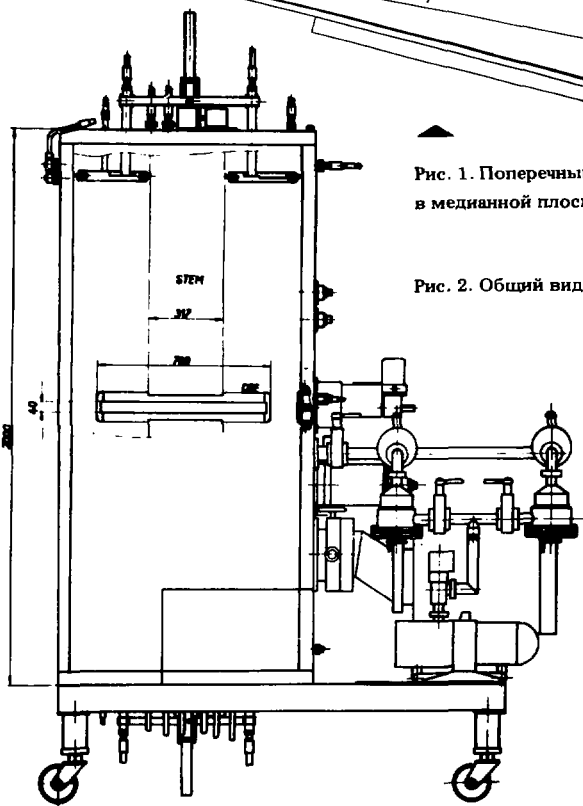


Рис. 2. Общий вид Δ -резонатора.



Рис. 3. Полномасштабный прототип Δ -резонатора без боковой стенки.

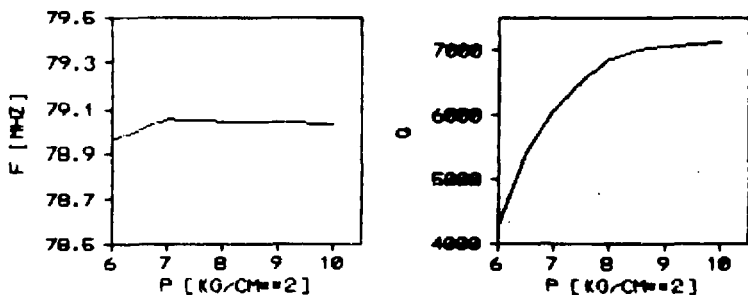


Рис. 4. Зависимости собственной добротности и резонансной частоты резонатора от давления воздуха в контактах подвижных панелей.

Для настройки резонатора, а также формирования требуемого характера изменения ускоряющего напряжения в зоне ускорения служат подвижные панели и триммер, изменяющий емкость между наружным торцом Δ -электрода и стенкой резонатора. Контактная часть панелей

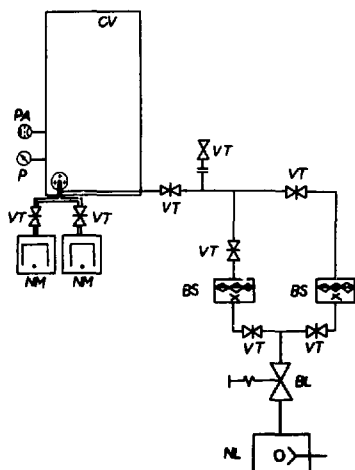


Рис. 5. Схема системы вакуумной откачки резонатора: CV — вакуумная камера, VT — шибберный затвор, NM — насос магниторазрядный НОРД-250, PA — вакуумметр ионизационный ЛМИ-2, BL — клапан, обратный КМУ-1-25, BS — ловушка адсорбционная, P — вакуумметр термопарный ЛТ-2, NL — насос форвакуумный 2НВР-5Д.

выполнена из медной фольги толщиной 0,3 мм, прижим которой к стенкам осуществляется путем подачи воздуха под давлением в резиновый шланг, расположенный в пазу под контактными лепестками. Шланг выполнен из вакуумной трубки с диаметром внутреннего отверстия 4 мм и толщиной стенки 4 мм. Проектное давление до 14 атм.

Необходимое давление было определено с помощью прямого эксперимента. На рис. 4 показано изменение добротности и собственной частоты резонатора в зависимости от давления в системе разжима контактов. Видно, что минимальное рабочее давление равно 10 атм.

Панели и триммер снабжены червячно-винтовым моторным приводом на базе электромеханизма УР-6.

Медные плакировки охлаждаются водой под давлением, протекающей по напаянным медным трубкам. На панели и триммер вода поступает сквозь направляющие штоки.

Откачку резонатора предполагается осуществлять с помощью двух электроразрядных насосов НОРД-250. В системе предварительной откачки с целью предотвращения попадания паров масла будут использоваться адсорбционные ловушки. Схема системы вакуумной откачки представлена на рис. 5.

ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗОНАТОРА

Основными характеристиками резонатора, измеряемыми на малом уровне мощности, являются добротность, диапазон перестройки собственной частоты с помощью закорачивающих панелей, диапазон перестройки с помощью триммера, характер распределения ускоряющего напряжения вдоль ускоряющей кромки.

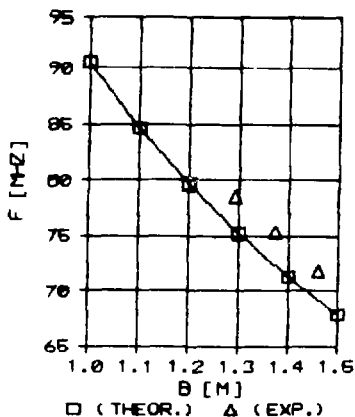
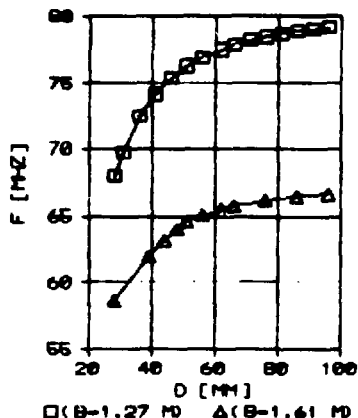


Рис. 7. Зависимости резонансной частоты от зазора в емкостном триммере.

Рис. 6. Зависимости резонансной частоты от расстояния между закорачивающими панелями резонатора.



На рис. 6 представлены графики зависимости резонансной частоты от расстояния между закорачивающими панелями резонатора. Приведены теоретические и экспериментальные значения. Расхождения между ними составляют 5%. Расчет производился с помощью программы расчета трехмерных компонент электромагнитного поля FICOM^{13/1}. На рис. 7 приведены графики возможного диапазона перестройки частоты резонатора с помощью емкостного триммера для максимального и минимального расстояний между панелями перестройки резонатора. Приведенные выше измерения проводились при давлении воздуха в контактах 6 ати. Отличия значений частоты, измеренных при рабочем давлении 10 ати, от приведенных на графиках рис. 6-7 незначительны и составляют менее 100 кГц.

Наиболее трудоемким и требующим разработки специальных приспособлений и измерительных устройств является измерение ускоряющего напряжения. Для измерения был использован метод возмущений^{14/1}. В качестве возмущающего тела применялся медный шарик диаметром 6 мм, укрепленный на капроновой нити. В связи с тем, что траектория ионов в Δ -электроде близка к прямой, проходящей перпендикулярно к осевой линии электрода, отсчет радиусов производился относительно этой оси, а направляющие системы перемещения нити, несущей шарик, выполнены параллельно ей.

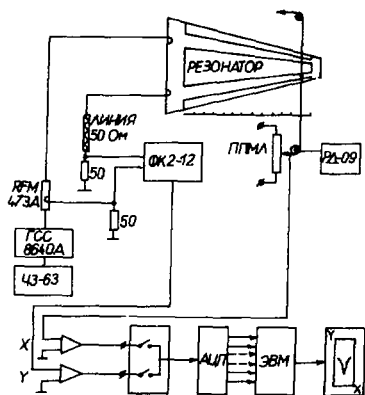
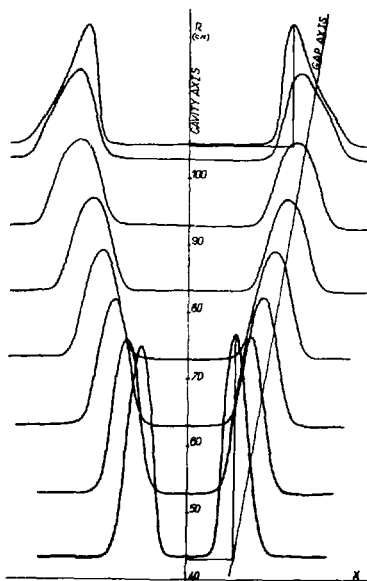


Рис. 8. Схема измерений характеристик резонатора.

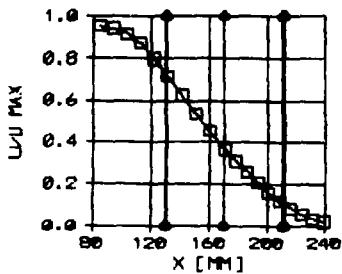
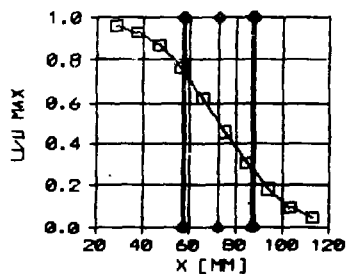
Рис. 9. Семейство экспериментальных кривых, характеризующих напряженность электрического поля в ускоряющем зазоре резонатора.



Для натяжения нити использовался груз, переброшенный через шкив, привод осуществлялся с помощью мотора РД-09.

При проведении измерений в качестве задающего генератора использовался ГСС 8640А фирмы "Hewlett-Packard," обладающий высокой стабильностью частоты и чистотой выходного сигнала от высших гармоник (рис. 8). Измеряемая частота контролировалась по частотомеру ЧЗ-63. Для настройки на резонансную частоту резонатора в цепь возбуждения включен направленный ответвитель, сигнал с которого подавался на один из выходов фазового вольтметра ФК2-12. В качестве контроля использовался датчик отраженной волны. На второй вход ФК2-12 подавался сигнал непосредственно из резонатора. Для полного согласования с цепью возбуждения в измерительную цепь включена 50-омная линия переменной длины.

При измерении регистрировался выходной аналоговый сигнал с ФК2-12, пропорциональный изменению фазы высокочастотного поля в резонаторе под воздействием возмущающего тела: $\Delta\phi \sim E^2$ (E — значение электрического поля в точке возмущения). В предварительных экспериментах в качестве регистрирующего устройства использовался двухкоординатный самописец Н-306, развертка по оси X которого осу-



□ (R=0.43 M) ◇ ACC. GAP EDGES

□ (R=1 M) ◇ ACC. GAP EDGES

Рис. 10. Распределения потенциала электрического поля в зазоре для различных радиусов.

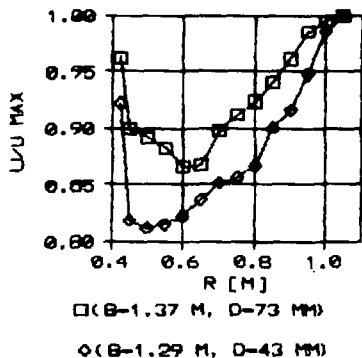
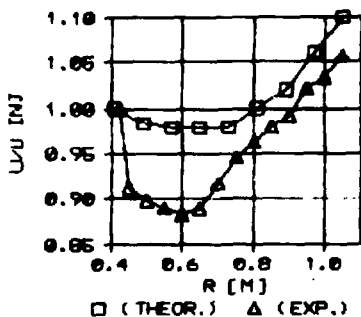


Рис. 11. Распределения напряжений вдоль ускоряющего зазора резонатора.

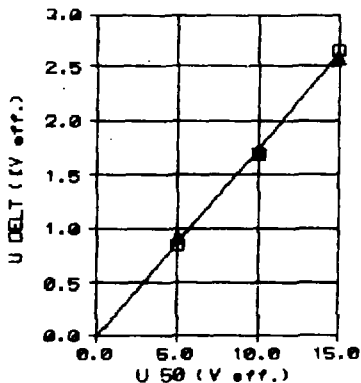


Рис. 12. Зависимость ускоряющего напряжения от напряжения возбуждения.

ществлялась напряжением с многооборотного потенциометра ППМЛ, связанного с двигателем, перемещающим шарик. Характерное семейство графиков зависимостей $\Delta\varphi$ от поперечной оси резонатора размера X для различных радиусов, приведено на рис. 9. Поскольку, как указывалось выше, траектория частиц в Δ -резонаторе не перпендикулярна оси ускоряющего зазора, то характер кривой напряженности ускоряющего электрического поля не является строго симметричным. Отклонения от симметрии тем больше, чем больше радиус. Асимметрия характеристик $\Delta\varphi$ усиливается на последних радиусах, поскольку в этом районе добавляется эффект краевого поля. Аналогичная асимметрия получена при расчете поля резонатора с помощью программы BOUVAL¹⁵. На рис. 10 а, б приведены графики распределения потенциала электрического поля в зазоре вдоль траектории частиц (перпендикулярно оси резонатора) для различных радиусов.

Однако при использовании графиков рис. 9 для определения ускоряющего поля и напряжения необходима ручная обработка результатов (извлечение корня и интегрирование), что делает подобный метод малоэффективным. Для решения указанной и аналогичных задач был разработан универсальный измерительный комплекс на базе персонального компьютера "Правец-16" (рис. 8). В этом случае сигналы с ФК2-12 и с ППМЛ после предварительного усиления и коммутации проходили через аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) и подавались на вход ПК "Правец-16". Предварительная программная обработка характеристик заключалась в устранении погрешностей эксперимента (временная тепловая неустойчивость приборов и самого резонатора, отклонение от нулевого уровня). Затем производились собственно вычисления зависимостей ускоряющего напряжения от радиуса $U(R)$. Результаты представлены на рис. 11а в сравнении с расчетной кривой, полученной ранее¹³. На рис. 11б приведено семейство подобных зависимостей для различных расстояний между закоротками резонатора.

Для возбуждения резонатора использовалась согласованная емкостная связь. Напряжение на ускоряющем Δ -электроде в районе радиуса инжекции в зависимости от напряжения на входе связи приведено на рис. 12. Из этого графика следует, что мощность потерь в Δ -резонаторе при рабочем давлении в закоротках 10 атм и напряжении на ускоряющем зазоре 300 кВ составляет ~ 40 кВт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глазов А.А. и др. — В сб.: Труды Всесоюзного совещания по ускорителям ионов низких и средних энергий. Киев: Наукова думка, 1982, с.182.
2. Глазов А.А., Заплатин Е.Н. — ОИЯИ, Р9-86-139, Дубна, 1986.

3. Беспалов А.Н. и др. — В сб.: Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. ОИЯИ, Д9-87-105, Дубна, 1987, т.2, с.257.
4. Mullet L.B. — AERE G/R 883, Harwell, 1957.
5. Ворождов С.Б., Шакун Н.Г. — ОИЯИ, Д16-7707, Дубна, 1974, с.159.

Рукопись поступила в издательский отдел
12 марта 1990 года.