

## **Особенности ускоряющей системы для кольцевого циклотрона с разделенными секторными магнитами**

М.Т. Козиенко, Ю.В. Смирнов, А.В. Степанов

*Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры  
им.Д.В.Ефремова*

*Научно-производственный комплекс "ЛУЦ", Санкт-Петербург, Россия*

На этапе технического предложения для циклотрона с отдельными секторными магнитами типа ЦРС-10, предназначенного для циклотронного комплекса на Московской мезонной фабрике, разработана ускоряющая система со следующими техническими параметрами: диапазон перестройки частот 12-24 МГц, максимальная амплитуда ускоряющего напряжения 250 кВ. Ускоряющая система состоит из двух включенных синфазно коаксиальных резонаторов, каждый из которых содержит дуант с угловой протяженностью  $30^\circ$ , охватывающий дуант проводник и два короткозамкнутых коаксиальных отрезка, подключенных к дуанту и проводнику. Перестройка резонатора по частотам осуществляется перемещением плунжеров и панелей, размещенных соответственно в короткозамкнутых отрезках и специальных полостях в охватывающем дуант проводнике.

Расчетное рассмотрение и макетирование показали, что изменением длины короткозамкнутых отрезков и зазоров между дуантом и панелями достигается требуемый диапазон перестройки резонатора по частотам, а подключением в определенном месте короткозамкнутых отрезков к дуанту и охватывающему дуант проводнику формируется нарастающее по радиусу ускоряющее напряжение с максимальной амплитудой 250 кВ в районе максимального радиуса движения заряженных частиц, что благоприятствует разделению орбит в зоне выпуска пучков частиц. Скин-потери в резонаторе на частоте 12 МГц соответствуют 128 кВт, на частоте 24 МГц – 112 кВт.

Для ускорения тяжелых ионов, в том числе радиоактивных, с отношением  $A/Z$  в интервале 2–20 до энергии 5–6 МэВ/н был разработан проект циклотронного комплекса У-250+ЦРС-10 [1], состоящий из циклотрон-инжектора типа У-250М (модернизированного многоцелевого циклотрона У-250 [2]) и кольцевого циклотрона с разделенными секторными магнитами ЦРС-10.

Магнитная система циклотрона ЦРС-10 включает в себя четыре секторных магнита с угловой протяженностью  $52^\circ$ , в промежутках между которыми диагонально установлены два ускоряющих резонатора. В двух других промежутках магнита расположены устройства инжекции и вывода пучков заряженных частиц, диагностики и другое оборудование. Магнитное поле в секторе равно 1,6 Тл. Средние радиусы инжекции и вывода пучков заряженных частиц соответственно равны 86,67 и 374,1 см. Коэффициент увеличения энергии циклотрона равен 10.

Ускоряющая система составлена из двух включенных синфазно коаксиальных резонаторов, каждый из которых (рис. 1) состоит из дуанта 1 с угловой протяженностью  $30^\circ$ , охватывающего дуант проводника 2 и двух короткозамкнутых коаксиальных отрезков 3, подключенных к дуанту и проводнику. В короткозамкнутых отрезках размещены плунжера 4, а в полостях 5, расположенных около дуантов, – панели 6. Плунжера выполнены из медных колец с

установленными на кромках контактными устройствами 7 и перемещаются в отрезках, длина  $l$  которых изменяется от 0,84 до 2,64 м. Панели выполнены из медных пластин с расположенными по периметру контактными устройствами 8. Зазор  $d$  дуант-панели изменяется при перемещении панелей в пределах от 170 до 340 мм.

К резонаторам предъявляются следующие требования: диапазон перестройки по частоте равен 12-24 МГц; максимальная амплитуда ускоряющего напряжения 250 кВ должна быть возбуждена в районе максимального радиуса ускорения; резонатор должен обладать минимальными скин-потерями.

Перестройка резонатора по частоте осуществляется одновременным перемещением плунжеров вдоль короткозамкнутых отрезков и панелей в полостях около дуантов.

При таком перемещении панелей и плунжеров скин-потери в резонаторе изменяются в интервале от 128 кВт (на нижней частоте 12 МГц) до 112 кВт (на высшей частоте 24 МГц). Нагрузочное сопротивление для генератора, формируемое резонатором, в диапазоне перестройки частот слабо меняется, что исключает необходимость регулировки режимов генератора.

На рис. 2 представлено распределение амплитуды ускоряющего напряжения  $U$  по радиусу  $R$  вдоль дуанта на частотах 12 МГц (кривая 1), 18 МГц (кривая 2) и 24 МГц (кривая 3). Максимальная амплитуда ускоряющего напряжения  $U_{\max}$  равная 250 кВ имеет место в районе конечного радиуса ускорения ионов, что благоприятствует их выпуску. В месте подключения короткозамкнутых отрезков амплитуда ускоряющего напряжения несколько снижается. Варьирование места подключения короткозамкнутых отрезков к дуанту и охватываемому дуант проводнику позволяет выбрать соотношение амплитуд ускоряющего напряжения в районе инъекции и вывода пучка. Разница в амплитудах возрастает при смещении места подключения короткозамкнутых отрезков к центру.

Исследования, проведенные на макете в масштабе 1:4, показали хорошее соответствие расчетных и экспериментальных данных. Измерения подтвердили возможность формирования требуемого распределения ускоряющего напряжения вдоль кромки дуанта. На рис. 2 точки представляют экспериментальные данные, приведенные к реальным размерам резонатора.

## Литература

1. Циклотронный комплекс для получения пучков ускоренных нуклидов на Московской мезонной фабрике/ Ю.П. Вахрушин, Г.Н. Вялов, В.А. Глухих и др.//Международный семинар по физике промежуточных энергий . Москва 1990, том 1, с. 279-286.
2. Многоцелевой циклотрон тяжелых ионов У-250/И.Ф. Малышев, П.В. Богданов , Ю.П. Вахрушин и др.//Труды VIII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна 1983, том 1, с. 80-83.

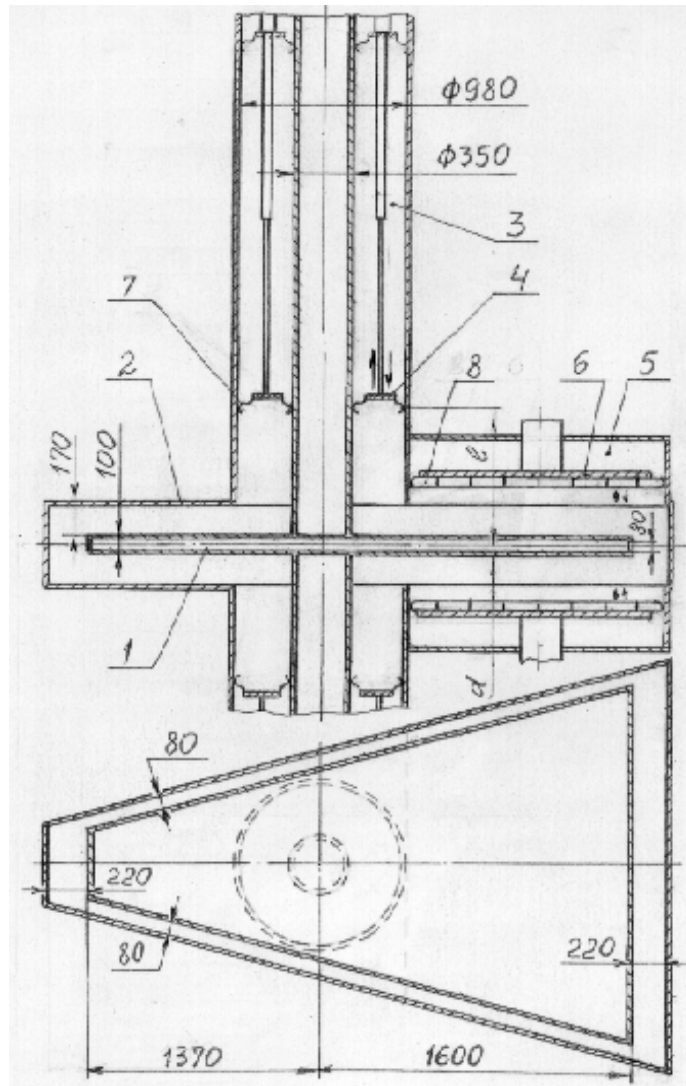


Рис. 1.

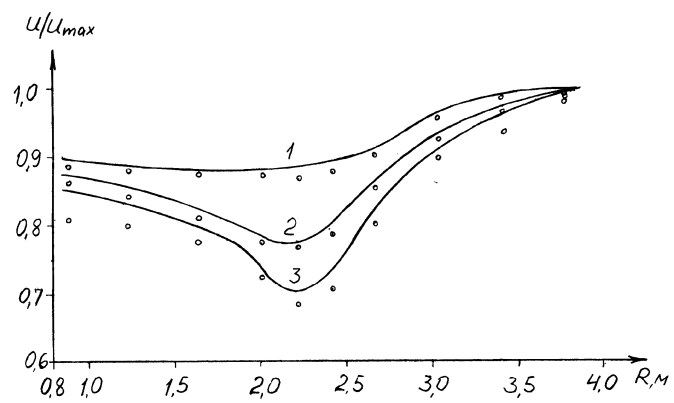


Рис. 2.