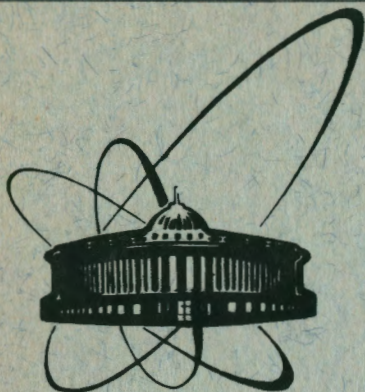


91-82



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

P9-91-82

Ю.Г.Аленицкий, А.А.Глазов, И.Р.Гуламов*,
Е.Н.Заплатин, Н.Л.Заплатин, О.И.Ильясов*,
А.А.Рылов*, Е.В.Самсонов, Я.М.Узаков*,
Хон Чер Сун*, С.И.Чеснова

ПРОЕКТ РЕКОНСТРУКЦИИ ЦИКЛОТРОНА
АН УзССР

*Институт ядерной физики АН УзССР, Ташкент

1991

Введение

В институте ядерной физики АН УэССР (Ташкент) с 60-х годов находится в эксплуатации классический циклотрон У-150, разработанный в НИИЭФА, который ускоряет протоны и дейтроны до энергий 17 и 22 МэВ соответственно.

При токах внутреннего пучка до 200 мкА коэффициент вывода лежит в пределах 20-40 %. Ускоренный пучок используется как для проведения ядерно-физических исследований, так и для наработки радиоизотопов на внутренней и внешней мишенях.

Мощность, потребляемая высокочастотной системой, составляет 300 кВт при ускоряющем напряжении 150-200 кВ.

В связи с программой расширения как прикладных, так и фундаментальных исследований перед институтом возникла проблема резкого увеличения энергетического диапазона ускоряемых частиц вплоть до энергии 70 МэВ по протонам. В настоящей работе рассматривается вариант реконструкции циклотрона У-150 в изохронный циклотрон на необходимый диапазон энергий, приводятся обоснования выбора магнитной, высокочастотной и выводной систем ускорителя.

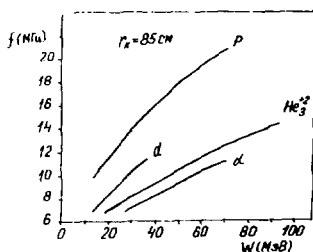


Рис. 1. Диапазон перестройки частоты ВЧ системы для заданного диапазона энергий частиц.

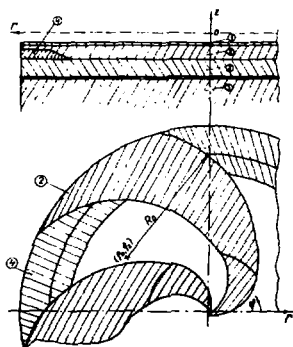


Рис. 2. Схема размещения элементов магнитной системы У-200Т:

- 1-концентрические обмотки,
- 2-спиральные шиммы,
- 3-стальной диск крышки камеры,
- 4-секторные шиммы,
- 5-полюс электромагнита.

Исходными требованиями при разработке являлись: диапазон энергий ускоренных протонов 20-70 МэВ, ток внутреннего пучка до 100 мкА, коэффициент вывода 50%. Соответствующее энергетическое перекрытие и частоты ускоряющего электрического поля для p , d , α и ${}^3\text{He}^{+2}$ для принятого рабочего радиуса ускорителя $r=85$ см приведены на рис.1.

Магнитная система

Изохронный циклотрон У-200Т создается на базе Ш-образного электромагнита классического циклотрона У-150. С целью получения максимальной жесткости магнитной системы [1] полюса электромагнита выполняются цилиндрическими с диаметром 2000 мм и зазором между ними $\delta=490$ мм.

Схема расположения элементов магнитной системы представлена на рис.2. Минимальный зазор между элементами магнитной системы выбран $2h=120$ мм. Требуемое магнитное поле циклотрона в средней плоскости формируется в интервале радиусов $\Delta r = 0 \div 850$ мм с помощью 4-х пар спиральных ($N=4$) и секторных шимм и 14 концентрических токовых обмоток. Кроме того, в долинах между спиральными шиммами предусматривается размещение секторных токовых обмоток для коррекции 1-ой гармоники магнитного поля. На этом же рисунке приведена конфигурация спиральных и секторных шимм (один период магнитной системы). Спиральная шимма состоит из двух частей по радиусу $\Delta R = 20 \div 314$ мм и $\Delta R = 314 \div 1000$ мм, боковые границы которых описываются дугами окружностей, что позволяет существенно упростить технологию и тем самым увеличить точность изготовления ферромагнитных элементов магнитной системы.

В таблице 1 приведены радиусы кривизны R_0 и координаты центров кривизны (ρ_0, φ_0) боковых поверхностей шимм.

Параметры этих элементов выбирались расчетным способом. При этом использовались:

1. Аналитические формулы для расчета вариации магнитного поля от криволинейных шимм в предположении равномерного намагничивания их объема [2].
2. Метод сеток [3] для расчета среднего магнитного поля

системы, определения величины намагниченности спиральных шимм и определения поля от концентрических обмоток.

Таблица 1

Граница шиммы	R= (20-314) мм			R= (314-1000) мм		
	R ₁ (мм)	r ₁ (мм)	φ ₁ (°)	R ₂ (мм)	r ₂ (мм)	φ ₂ (°)
внутренняя	43,5	222,6	128	626,1	461,2	183,6
внешняя	243,5	222,6	88	695,7	523,5	147,3

Ферромагнитные элементы с выбранными параметрами позволяют сформировать среднее магнитное поле для заданных режимов работы с отклонением от изохронного, не превышающим 150 Гс. Получение изохронных полей с заданными допускami (10 Гс) осуществляется концентрическими обмотками [4]. Полученная вариация магнитного поля обеспечивает аксиальную фокусировку для заданного набора частиц и диапазона регулировки их энергий.

Ускоряющая система

В циклотроне У-200Т предполагается использовать ускоряющую систему с панельной перестройкой частоты и многопластинчатыми триммерными конденсаторами значительной емкости, аналогичную используемой в циклотроне У-120М [5].

Геометрия ускоряющей системы, принятая для расчета, приведена на рис.3. Размеры дуанта и неперестраиваемой части линии определяются конструкцией магнита и условиями ускорения и приняты равными: ширина дуанта В=1900 мм, зазор между дуантом и плакировкой камеры D_д=45 мм, расстояние до боковых стенок H_д=200 мм. Толщина стебля А определяется из конструктивных соображений и равняется с учетом плакировок 173 мм.

Одномерный расчет ускоряющей системы проводился с помощью стандартной и хорошо зарекомендовавшей себя в этом плане теории длинных линий [6]. Расчет по этой методике в предположении, что максимальная частота 21,0 МГц достигается при зазоре в перестраиваемой части D_д, позволил определить основные геометрические размеры системы. Для уменьшения величины емкости подстроечных триммеров С, размещаемых по бокам дуанта в районе

радиуса 0,5 м, и хода панелей D, обеспечивающих трехкратное перекрытие по частоте, предлагается уменьшить ширину резонансной линии (B). На рис. 4

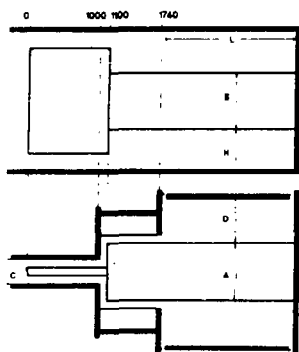


Рис. 3. Геометрия ускоряющей системы У-200Т.

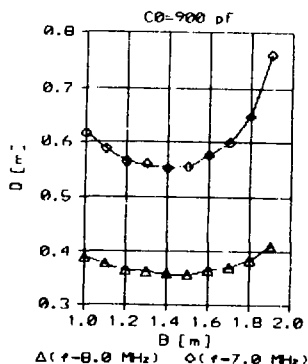


Рис. 4. Зависимость хода панелей D от ширины стебля резонансной линии B.

показана зависимость хода панелей D для получения нижних частот диапазона от ширины стебля резонансной линии B при емкости триммеров 900 пкФ. Видно, что зависимость имеет пологий минимум при $B=1.4 \div 1.5$ м.

На рис. 5 приведены графики зависимости положения панелей (D) от собственной частоты системы при различных величинах емкости триммеров. Размер B уменьшен до 1,5 м.

Максимальная мощность, рассеиваемая в системе, при ускоряющем напряжении на дуанте 65 кВ, составляет около 130 кВт. При уменьшении ширины резонансной линии она тоже несколько уменьшается (примерно на 10%).

Двумерный расчет заключал в себе решение волнового уравнения при определенных граничных условиях, удовлетворяющих геометрии данной системы [7]. В результате такого расчета получено, что ускоряющее напряжение имеет некоторый рост по радиусу, вызванный уменьшением ширины резонансной линии. Данный факт является важным, поскольку условия вывода частиц из ускорителя требуют, как минимум, не уменьшения напряжения на

радиусах вывода относительно напряжения в центре ускорителя.

Трехмерный расчет проводился с помощью программы численного моделирования трехмерного электромагнитного поля FICOM^[8] с целью проверки и уточнения полученных ранее результатов и получения полной картины распределения электромагнитного поля. Результаты приведены на рис.5. Видно прекрасное совпадение результатов расчетов различными методами.

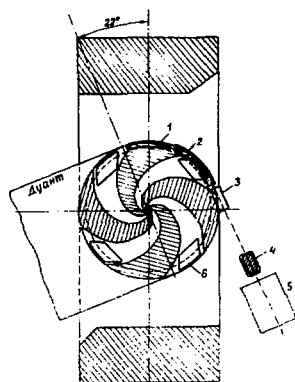
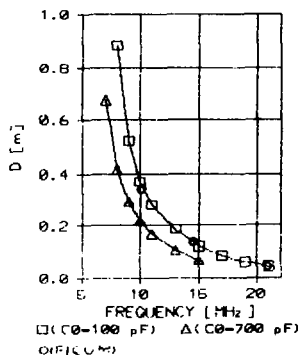


Рис.5. Зависимость положения панелей D от собственной частоты системы.

Рис.6. Схема расположения выводных элементов циклотрона: 1-электростатический дефлектор; 2-электромагнитный канал; 3-фокусирующее устройство; 4-поворотный магнит; 5-квадруполь; 6-обмотки коррекции первой гармоники магнитного поля

Система вывода пучка

Рассмотрение различных способов вывода пучка из циклотрона показало, что наиболее подходящим будет использование прецессии центров орбит при прохождении резонанса $Q_x=1$. Прохождение резонанса при амплитуде первой гармоники магнитного поля

$(2 \div 3) \cdot 10^{-4}$ Тл приводит к радиальному забросу пучка на 4-6 мм в зависимости от типа частиц и конечной энергии. Для контролирования амплитуды и фазы первой гармоники предусматривается специальная система обмоток.

Система отклонения пучка за пределы камеры циклотрона будет состоять из 3-х элементов:

- электростатического дефлектора с радиальной апертурой 5-6 мм, напряженностью поля 150 кВ/см и угловой протяженностью $30 \div 40^\circ$;
- электромагнитного канала со снижением поля $0.20 \div 0.32$ Тл и радиальным градиентом $1 \div 2$ Тл/м, угловой протяженностью $30 \div 40^\circ$;
- фокусирующего устройства с градиентом $7 \div 8$ Гл/м и угловой протяженностью $15 \div 18^\circ$.

Расчетный коэффициент заброса пучка на вход электростатического дефлектора составляет $70 \div 80\%$. Коэффициент вывода пучка за пределы камеры циклотрона 50% .

Для корректировки выведенного пучка перед первой линзой тракта инжекции предусматривается установка дополнительного поворотного магнита с полем $0.2 \div 0.3$ Тл.

На рис.6 показана схема магнитной системы циклотрона и системы вывода пучка. Для того, чтобы расширить место, отводимое под систему отклонения, ось дуанта повернута на 22° относительно оси магнита циклотрона.

Литература

1. Аленицкий Ю.Г., Заплатин Н.Л.. Международное совещание по циклотронам и их применению. РАР. 11069/ЕЛ, Краков, 1978, с.257.
2. В.П.Дмитриевский и др. Препринт ОИЯИ, 1431, Дубна, 1963.
3. J.M.Salmon. POISSON Group. Programm, CERN, MSC2M213, 1975.
4. Ю.Г.Аленицкий и др. III Совещание по изохронному циклотрону У-120М, Дубна, Р9-7339, 1973, с.82.
5. А.А.Глазов и др. ОИЯИ, Р9-6241, Дубна, 1971.
6. Г.И.Атабеков. "Линейные электрические цепи", ч.1, М., "Энергия", 1978.
7. Н.Н.Федоров. "Основы электродинамики", М., "Высшая школа", 1980.
8. А.Н.Беспалов и др. Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, ОИЯИ, Д9-87-105, Дубна, 1987, т.2, с.257.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 февраля 1991 года.