

ПРОТОННО-ИОННЫЙ СИНХРОТРОН Б-5

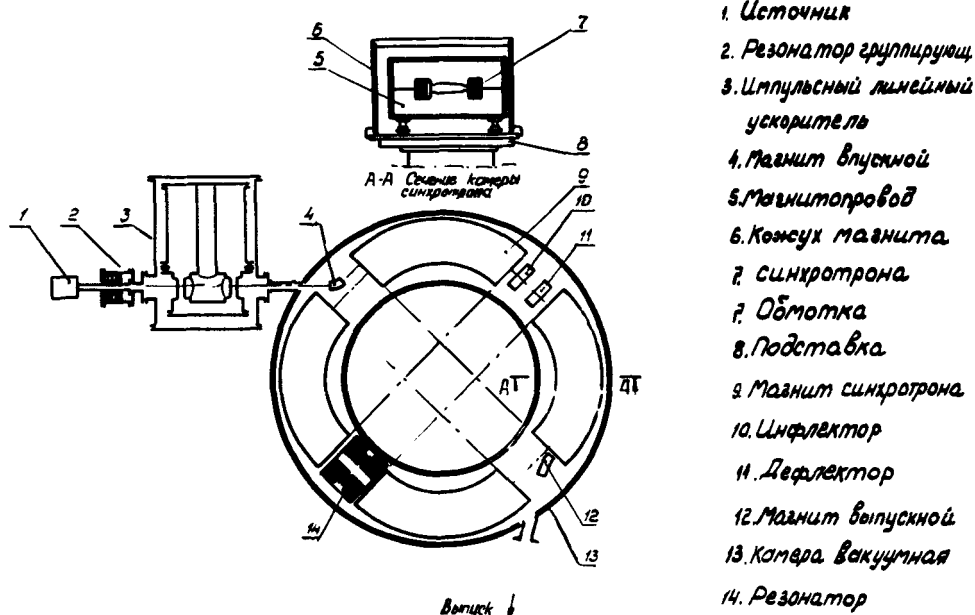
В.Г. Абдульманов, И.И. Авербух, В.Л. Ауслендер, Г.Б. Глаголев,
Ю.В. Маклаков, В.Н. Лазарев, Р.М. Лапик, А.А. Лившиц, А.Д. Панфилов,
О.Я. Савченко, А.А. Тувик, Б.Л. Факторович, В.И. Юрченко

Институт ядерной физики СО АН СССР, г. Новосибирск

Протонно-ионный синхротрон Б-5 предназначен для получения пучков ускоренных протонов до энергии 200 МэВ и многозарядных ионов до энергии 50 МэВ/нуклон. Использование в качестве ускорителя синхротрона позволяет ускорять довольно широкий набор ионов, плавно регулировать их энергию, иметь высокую эффективность выпуска. Монохроматичность выпущенного пучка не хуже 1% при длительности импульса выпущенного тока до 20 мкс при частоте следования импульсов 50 Гц. Интенсивность выпущенного пучка до 10^{11} частиц/с.

При проектировании магнитной системы преследовалась цель получения хорошего по форме поля в максимальной области, создания магнита минимального веса и минимальной энергетике, простого в конструкции и надежного в эксплуатации. Для обеспечения высокой частоты следования импульсов (50 Гц) применена система, в которой магнитное поле создается "0"-образным шихтованным магнитом с многовитковой обмоткой. Синхротрон представляет собой слабо фокусирующий рейстрек с четырьмя прямолинейными промежутками $L = 56$ см. Радиус равновесной орбиты равен 1,4 м. Апертура магнита $3,6 \times 11,0$ см². $n = 0,6$. Частоты вертикальных и радиальных бетатронных колебаний равны $\nu_z = 0,875$ и $\nu_r = 0,710$.

При большой частоте повторения импульсов и относительно малых габаритах всего ускорителя использование вакуумной камеры, размещенной внутри магнитного зазора, вызывает большие технические трудности, поэтому в нашем случае магниты, резонатор, система впуска и выпуска находятся внутри общего вакуумного кожуха. Общая схема ускорителя и сечение магнита внутри вакуумной камеры показаны на рис. I.



1. Источник
2. Резонатор группировоч.
3. Импульсный линейный ускоритель
4. Магнит впускной
5. Магнитопровод
6. Кожух магнита
7. синхротрона
8. Обмотка
9. Подставка
10. Магнит синхротрона
11. Инфлектор
12. Дефлектор
13. Камера вакуумная
14. Резонатор

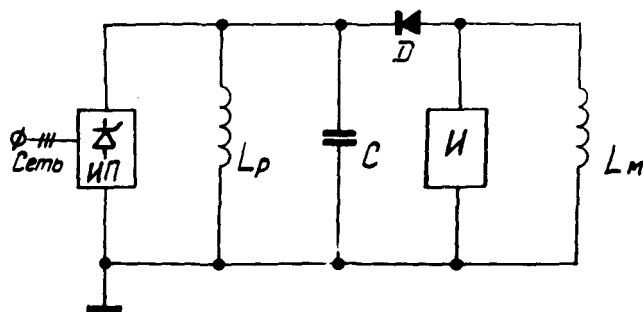
Рис. I. Общая схема ускорителя.

Для облегчения условий ВЧ ускорения магнитное поле меняется по закону $H = H_0 + H_m(1 - \cos \omega t)$, где H_0 – поле инъекции. Наиболее простым способом обеспечения этого условия является введение постоянного подмагничивания. Эта зависимость поля от времени создается использованием схемы формирования поля в виде колебательного контура с двумя несвязанными индуктивностями, разделенными диодами для создания постоянной составляющей (рис. 2).

Мощность, потребляемая системой питания магнита ускорителя, составляет около 300 кВт.

Получение в таком синхротроне ионов с энергией до 50 МэВ/нуклон практически возможно только для полностью ионизованных атомов ($Z/A = 0,5$) и реально ограничено $Z \sim 20$.

В качестве источника многозарядных ионов выбран электронно-



- L_m - индуктивность магнита ускорителя
- И - устройство формирования поля инжекции
- Д - диоды подмагничивания
- С - контурная конденсаторная батарея
- L_p - реактор разделительный
- ИП - инверсионный преобразователь

Рис.2. Схема питания магнита синхротрона.

лучевой источник, аналогичный ^{1/1}, в котором ионизация осуществляется плотным электронным пучком диаметром 1 мм с током до 10 А и энергией 10 КэВ в продольном магнитном поле с напряженностью 10 кЭ. Длина электронного луча около 50 см. Источник электронов - борид-лантановый катод диаметром 16 мм. Катод находится в области слабого магнитного поля. Ввод электронов в сильное магнитное поле осуществляется по силовым линиям магнитного поля. Электроны инжектируются потенциалом 50 кВ, а затем уже в области сильного магнитного поля тормозятся до 10 КэВ. После дрейфовых трубок расположено устройство для приема многозарядных ионов и рекуперации электронного пучка. Источник работает в импульсном режиме. Время накопления ионов от 10 мкс до 10 мс в зависимости от зарядности и типа ионов. Вывод ионов из пространства дрейфа осуществляется за 2 мкс. Частота следования импульсов 50 Гц. Для нормальной работы вакуум в источнике должен быть $10^{-9} + 10^{-10}$ тор. На источнике предполагается получать до 10^9 частиц/с⁻¹ вплоть до Ar^{+18} .

На начальном этапе запуска и наладки в качестве источника протонов используется протонный источник с разрядом типа Пеннинга с холодным катодом ^{2/}. Применение холодного катода обеспечивает увеличение срока службы источника и хорошую стабильность основных его

параметров в течение длительного срока эксплуатации. Протонный источник с интенсивностью 20 мА с эмиттансом $7 \cdot 10^{-3}$ см.рад обеспечивает захват в синхротрон 10^{10} частиц за импульс.

В качестве инжектора используется высокочастотный импульсный линейный ускоритель с пролетной трубкой и двумя ускоряющими зазорами по 7 см каждый. Напряжение на ускоряющих зазорах до 1,3 МВ. Длительность ВЧ импульса 100 нс. Длительность импульса ускоренных частиц 1+2 нс.

Резонатор ускорителя представляет собой четвертьволновую линию, укороченную емкостью дрейфовой трубки с собственной частотой 30 МГц. Такой ускоритель при специально подобранной длине дрейфовой трубки позволяет обеспечить режим ускорения как протонов, так и ионов практически без перестройки резонатора. Угол пролета для протонов составляет $3/2 T$, для ионов - $5/2 T$. Для уменьшения потерь частиц при захвате в режим ускорения пучок после источников проводится через дополнительный группирующий резонатор, запитанный от основного резонатора через регулируемый фазовращатель.

Одним из основных преимуществ такого типа ускорителя является возможность размещения источника ионов вне ускорителя, что особенно существенно для источника тяжелых ионов. Энергия частиц на выходе из ускорителя составляет 1,5 МэВ для протонов и $0,7+1,0$ МэВ/нуклон для ионов с $Z/A = 0,5$.

Инжекция в синхротрон выбрана однооборотной из тех соображений, чтобы обеспечить захват протонов и ионов единой системой впуска. Инжекция в синхротрон осуществляется по радиусу. Впускной магнит заворачивает пучок во впускном промежутке на угол 36° . Инфлектор расположен в следующем прямолинейном промежутке. Поле впускного магнита стабилизируется с точностью 10^{-3} , напряжение на инфлекторе - с точностью $5 \cdot 10^{-2}$. Напряжение на инфлекторе 20 кВ, длительность заднего фронта 10^{-7} с. Инжектируемый пучок имеет диаметр 1 см и угловую расходимость $5 \cdot 10^{-3}$ рад.

Диапазон перестройки ускоряющего ВЧ напряжения в синхротроне определяется начальными и конечными энергиями и значением Z/A ускоряемых ионов. Для сокращения диапазона перестройки и уменьшения габаритов резонатора протоны ускоряются на второй гармонике частоты обращения (диапазон перестройки $2,34 + 28,8$ МГц); ионы - на третьей гармонике ($2,5 + 24,3$ МГц). Амплитуда ВЧ напряжения в момент инжекции 600 В, максимальная амплитуда 7 кВ.

При ускорении протонов требования к давлению остаточных га-

зов определяются в основном процессами упругого рассеяния на ядрах остаточного газа. Расчеты и практика работы протонных ускорителей показывают, что давление в апертуре порядка $5 \cdot 10^{-6}$ тор достаточно для ускорения без существенных потерь пучка протонов.

При ускорении многозарядных ионов ослабление интенсивности пучка происходит в основном из-за перезарядки ионов на тяжелых атомах остаточного газа. При этом часть ионов меняет свой заряд и уходит из процесса ускорения.

Необходимо отметить, что эти потери будут происходить в начале цикла ускорения. По имеющимся данным сечения перезарядки в нашем случае не будут превосходить 10^{-16} см². Данные расчета показывают, что потери в пучке тяжелых ионов становятся незначительными при давлении 10^{-7} тор.

В силу того что максимальным газовыделением из всех материалов, примененных в конструкции, обладает эпоксидный компаунд, поверхности его оклеены металлическими фольгами, что уменьшает газоразделение. Одновременно приняты конструктивные меры для максимального увеличения скорости откачки из апертуры (наличие каналов из апертуры в область откачки и наличие мощной азотной ловушки). Вакуумные расчеты конструкции показывают, что в итоге давление в апертуре должно быть не хуже $5 \cdot 10^{-7}$ тор.

Выпуск из синхротрона многооборотный с использованием электростатической отклоняющей системы с тонким ножом $5 \cdot 10^{-2}$ мм и выпускным магнитом с ножом 5 мм, расположенным через 90° относительно электростатической системы. Ожидаемая эффективность выпуска порядка 50-70%.

Задание режима работы ускорителя и контроль всех его параметров производится системой управления на базе мини-ЭВМ М6000.

В настоящее время закончено изготовление всех устройств ускорительного комплекса и проводятся стендовые испытания источника многозарядных ионов, линейного высокочастотного ускорителя, системы питания магнита синхротрона, высокочастотной ускоряющей системы, систем впуска и выпуска. Наладка всего комплекса ускорителя начнется осенью 1977 года.

Л и т е р а т у р а

1. Е.Д.Донец, В.И.Илюченко, В.А.Альперт, Е.Д.Воробьев, Л.И.Пикин. ОИЯИ, Д7-5769, Дубна, 1971.
2. Ю.Я.Лапицкий, В.С.Хорошков. ПТЭ, № 2, 1970.