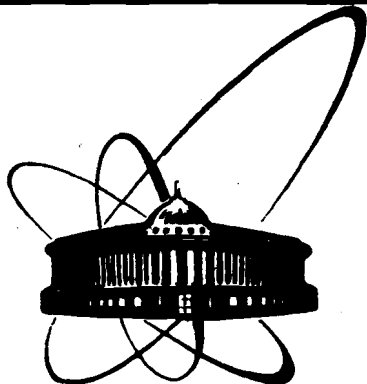


89-605



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

Р 577

9-89-605

А.И.Говоров, В.П.Вадеев, В.А.Попов, А.И.Пикин,
К.А.Решетникова, М.С.Хвастунов

РЕЗОНАНСНЫЙ ПРЕДУСКОРИТЕЛЬ ИОНОВ

1989

В Лаборатории высоких энергий ОИЯИ создается тяжелоионный синхротрон — Нуклотрон, первое сообщение о котором было опубликовано еще в 1975 г.^{2/}. Основное назначение Нуклотрона — обеспечение исследований по релятивистской ядерной физике — новому направлению, сформулированному А.М.Балдиным^{1/}.

В данной работе приведены расчетные оценки параметров резонансного предускорителя ионов на энергию $\sim 0,9$ МэВ/А, предлагаемого для инжекционного комплекса Нуклотрона. При подготовке предложения была использована доступная информация об инжекторах ионных синхротронов: Bevalac в США^{3, 4/}, SIS в ФРГ^{5/}, Numatron в Японии^{6/} и сведения об инжекторе в секторный циклотрон^{11-13/} — о японском линейном резонансном ускорителе RILAC с варьируемой частотой. Системы инжекции упомянутых синхротронов содержат резонаторы на основе отрезков коаксиальных линий^{7/}, практически не поддающиеся точному расчету. В ускорителе RILAC использованы четвертьволновые резонаторы на основе симметричной экранированной полосковой линии, причем ширина внутреннего полоскового электрода линии составляет заметную долю от резонансной длины волны (до $\sim 0,4\lambda$). На рис. 1 представлена схема резонатора^{12/}. Трубки дрейфа закреплены на открытом конце резонирующей линии, поочередно на внутреннем высоковольтном проводнике и на внешнем заземленном проводнике линии. Изменение рабочей частоты резонатора достигается перемещением закорачивающего плунжера. На рис. 2 показано распределение напряжения по ускоряющим зазорам резонатора в рабочем интервале частот^{11/}; неравномерность напряжения в зазорах находится в пределах $\pm 5\%$. Равномерное распределение напряжения по зазорам достигается простым способом: приближением внешнего заземленного проводника к трубкам

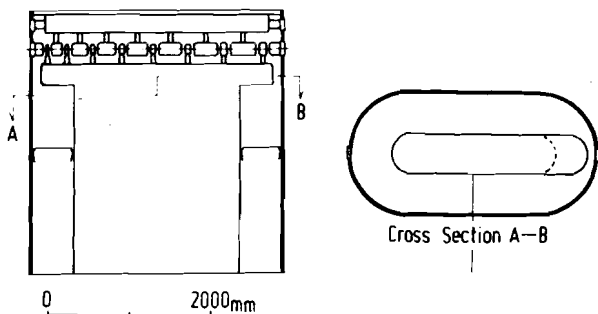


Рис. 1. Схема резонатора^{12/}.

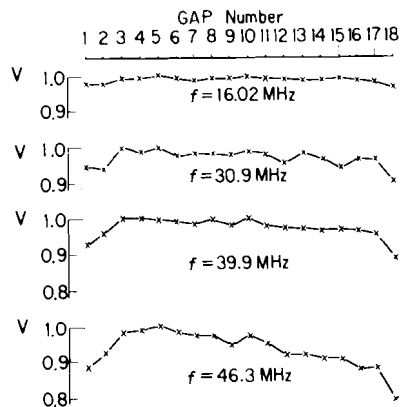


Рис. 2. Распределение ускоряющего напряжения по зазорам^{11,12}.

дрейфа и увеличением диаметра двух трубок дрейфа в начале и конце резонатора. При этом емкостная нагрузка на открытом конце резонирующей линии возрастает, но шунтовое сопротивление резонатора остается достаточно высоким и составляет ~ 75 МОм/м^{11,1} (на частоте 25 МГц).

Если в ускорителе типа RILAC рабочая частота фиксирована, то конструкция резонатора существенно упрощается^{11,1}. В одном вакуумном кожухе можно последовательно разместить несколько независимых резонаторов; допуски на изготовление резонаторов не жестки, настройка резонаторов на рабочую частоту не критична, так как более высокая гармоника ($2f$) отстоит далеко от основной (f)^{11,1}. На рис. 3 представлена схема резонатора^{11,1} с фиксированной частотой.

Ускоритель типа RILAC с фиксированной частотой имеет некоторые преимущества перед ускорителем Видероз¹⁷ на коаксиальных линиях, который используется в инжекторах ионных синхротронов¹³⁻⁵, а именно: более простая конструкция резонатора и равномерное распределение напряжения по зазорам. Это позволит при разработке ускорителя уменьшить объем работ по моделированию резонатора. Такой ускоритель выгодно отличается также от ускорителя на основе H-резонатора^{19, 10} простотой процедуры получения равномерного распределения напряжения по зазорам, не критичностью настройки на рабочую частоту и простотой конструкции резонатора.

Резонатор RILAC'a (с фиксированной частотой — см. рис. 3) был положен в основу предускорителя ионов, предлагаемого для инжекционного комплекса Нуклотрона. К инжектору Нуклотрона предъявляются повышенные требования: он должен обеспечить высокую интенсив-

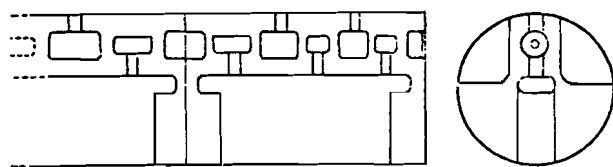


Рис. 3. Схема резонатора^{11,1} (фиксированная частота).

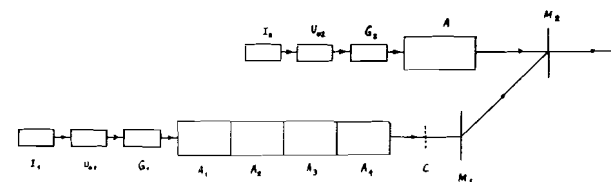


Рис. 4. Схема резонансного предускорителя ионов инжекционного комплекса Нуклотрона.

ность ионных пучков всех элементов Периодической таблицы от водорода до урана. Поэтому в качестве отправной точки был рассмотрен наиболее тяжелый случай — ускорение 5-зарядных ионов урана (зарядность ионов $q/A = 0,021$, q — заряд, A — массовое число иона). Условия для ускорения более легких ионов с повышенной зарядностью могут быть обеспечены путем соответствующего снижения уровня ускоряющих и фокусирующих полей.

Ионы U^{5+} в достаточном количестве (~ 100 мА) могут быть получены в источнике дугового типа MEVVA¹⁸. Этот источник был поставлен на Bevalac'e¹⁴, что обеспечило повышение интенсивности ионного пучка в несколько раз.

Весь интервал зарядностей q/A от 0,02 до 1,0 трудно и нерационально перекрывать в одном ускорителе; этот интервал был разбит на две части: $0,02 \leq (q/A)_1 \leq 0,16$ и $0,16 < (q/A)_2 \leq 1$, и соответственно этому были выполнены оценки параметров двух предускорителей (для низкозарядных — $(q/A)_1$ и высокозарядных — $(q/A)_2$, ионов).

На рис. 4 представлена схема предлагаемого предускорителя: I_1 — источник низкозарядных ионов, например, дугового типа; U_{01} — электростатический предускоритель, G_1 — группирователь ионов; A_1, A_2, A_3 и A_4 — четыре резонатора, C — перезарядная мишень, M_1 и M_2 — магниты системы селекции ионов по зарядности и параллельного переноса пучка; I_2 — источник высокозарядных ионов (лазерный, электронно-лучевой и др.); U_{02} — электростатический предускоритель, G_2 — группирователь ионов; A — резонатор. Максимальное напряжение предускорителей U_{01} и U_{02} составляет 250 кВ; напряжение стабилизировано ($\sim 0,1\%$) и регулируется в широких пределах. Группирователи G_1 и G_2 — двухкаскадные одночастотные клистронного типа, преобразующие половину первичного непрерывного пучка (с током ~ 1 мА) в сгустки фазовой протяженности $\sim 12^{0,14}$. Резонаторы A и $A_1 \div A_4$ — типа использованного в RILAC'e.

Ионы низкой зарядности ($0,02 \leq (q/A)_1 \leq 0,16$) ускоряются в четырехрезонаторном предускорителе; зарядность ионов урана после

ускорения, градиенты магнитных полей квадруполей и импульсная мощность высокочастотных потерь указаны для наиболее напряженного режима ускорения — ионов U^{5+} . При ускорении ионов с повышенной зарядностью q/A , например, ядер в предускорителе высокозарядных ионов, величины перечисленных выше напряжений и градиентов уменьшаются примерно в 3 раза, а мощность потерь в 9 раз, и становится равной 16 кВт. При ускорении ионов, например, зарядностью $q/A = 0,10$ в предускорителе низкозарядных ионов мощность высокочастотных потерь в резонаторах снизится с 1,9 МВт до ~80 кВт.

Темпы ускорения в Н-структуре¹⁰ и в предлагаемом ускорителе практически одинаковы (см. табл.), поскольку в обоих случаях взяты одинаковые напряженности ускоряющих полей (90 кВ/см) и равномерные распределения напряжений по зазорам; шунтовые сопротивления Н-резонатора¹⁰ и резонатора RILAC'a также примерно одинаковы. Ускоритель типа RILAC (с фиксированной частотой) имеет преимущества перед Н-структурой¹⁰: отмеченные выше простота конструкции резонатора, нечувствительность настройки и более легкая процедура получения равномерного напряжения по зазорам. Недостаток резонатора RILAC'a — его меньшая (в сравнении с Н-резонатором) длина, не превышающая $\lambda/2$.

Отмеченный выше низкий уровень потребляемой мощности предлагаемым ускорителем при ускорении ионов повышенной зарядности обеспечивает возможность работы предускорителя в режиме с большим коэффициентом полезного времени (вплоть до непрерывного режима работы). Это качество ускорителя дает возможность использования его в прикладных исследованиях и в народном хозяйстве.

Предлагаемый резонансный предускоритель включает простые и надежные элементы, давно используемые в ускорительной технике. Поэтому разработка и создание предускорителя не встретят принципиальных затруднений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балдин А.М. — ОИЯИ, Р7-5808, Дубна, 1971.
2. Балдин А.М. и др. — Труды IV Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Изд. Наука, 1975, т. II, с. 4.
3. Alonso J.R. — Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1985, т. II, с. 8.
4. Feinberg B., Brown I.G. — Proc. of the 1987 IEEE Particle Accel. Conf., March 16-19, 1987, Washington, p. 860.
5. Blasehe K. et al. — IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-32, No. 5, 1985, p. 2657.
6. Hirao Y. — IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-26, No. 3, p. 3736, 1979.

7. Kaspar K. — Proc. of the 1976 Proton Linear Accel. Conf., Sept. 14-17, p. 73. Canada, Chalk River.
8. Brown I.G. — NIM, 1989, B37/38, p. 68.
9. Бомко В.А., Хижняк Н.А. — Вопросы атомной науки и техники. Серия: техника физического эксперимента, 1981, вып. 1(7), с. 50. ХФТИ, 81-8, Харьков, 1981.
10. Арсеньев В.В. и др. — Вопросы атомной науки и техники. Серия: техника физического эксперимента, 1981, вып. 3(9), с. 26. ХФТИ, 81-52, Харьков, 1981.
Бомко В.А. и др. — Исследование структур для ускорения тяжелых ионов. Обзор. М.: ЦНИИ Атоминформ, 1988.
11. Odera M. — Proc. of the 1976 Proton Linear Accel. Conf., Sept. 14-17, 1976, p. 62. Canada, Chalk River.
12. Odera M. et al. — NIM, 1984, 221, p. 187.
13. Odera M. — Proc. of the 1984 Linear Accel. Conf. Seeheim, FRG, May 7-11, 1984, p. 36, GSI-84-11.
14. Говоров А.И. и др. — Труды XI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. ОИЯИ, Д9-89-52, т. I, с. 320. Дубна, 1989.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 августа 1989 года.