

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория высоких энергий

с345

A-724

Ю.Н. Антонов

1123

ИНЖЕКТОР ПРОТОНОВ
ДЛЯ ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ

Автореферат диссертации, представленной на
соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук

Научный руководитель

Л.П. Зиновьев

Дубна 1982 год

Ю.Н. Антонов

1123

С 345

A-724

ИНЖЕКТОР ПРОТОНОВ
ДЛЯ ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ

1327 БС
Автореферат диссертации, представленной на
соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук

Научный руководитель

Л.П. Зиновьев

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

В качестве инжектора протонов для линейного ускорителя синхрофазотрона на 10 Бэв Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований применяется установка - форинжектор, которая позволяет ускорять протонный пучок до энергии 570 Кэв /энергия инжекции в линейный ускоритель/

В связи с необходимостью увеличить число частиц, ускоряемых синхрофазотроном, возникла задача разработки и запуска форинжектора, который удовлетворял бы следующим требованиям:

1. Протонный ток на выходе - 50 мА.
2. Энергетический разброс частиц, инжектируемых в линейный ускоритель, не более 0,5%.
3. Энергия-пучка на выходе - 570 Кэв.
4. Диаметр пучка на входе в линейный ускоритель - не более 8 мм.
5. Угловая расходимость пучка - не хуже $3 \cdot 10^{-3}$ рад. /половина угла/.
6. Длительность импульса ионного тока - 350 мсек.

Установок, удовлетворяющих всем перечисленным требованиям, в литературе описано не было.

Форинжектор, разработанный автором реферируемой диссертации, был запущен в первом варианте в декабре 1957 года.

Диссертация состоит из трех глав. Первая глава посвящена ионному источнику. В качестве ионного источника используется дуоплазматрон /1/, который был существенно модернизирован и конструктивно улучшен в процессе создания описываемого форинжектора /2/. В первой главе рассматриваются конструкция, принцип действия и схемы питания источника, а также основные процессы, связанные с генерацией ионов в источнике. Показывается, в частности, что полное число ионов, генерируемых в газоразрядной камере, практически не зависит от давления. Объяснен механизм влияния изменения различных режимных параметров /ток дуги, магнитное поле, давление водорода/ на ток ионной эмиссии из источника.

Приводятся и обсуждаются основные рабочие характеристики источника:

суммарная потребляемая мощность - 160 Вт;

расход газа - $150 \text{ см}^3/\text{час}$;

величина тока ионной эмиссии - 270 мА;

спектральный состав пучка по массам - H_1^+ - 75 %

H_2^+ - 22 %

H_3^+ - ~ 2%.

Во второй главе рассматриваются вопросы отбора пучка из ионного источника, ускорительная трубка и высоковольтная схема форинжектора.

Ионный ток, отбираемый из источника, растет при увеличении диаметра эмиссионного отверстия до 2,0 мм пропорционально квадрату диаметра. Дальнейшее увеличение диаметра эмиссионного отверстия оказывается нецелесообразным, так как из-за сильного провисания поля вытягивающего электрода в газоразрядную камеру возникает нестабильность зажигания дуги в источнике.

При токе дуги 45 а / рабочее значение / происходит "выпучивание" плазмы через канал эмиссионного отверстия в область отбора. Это приводит к увеличению угловой расходимости пучка на входе в фокусирующую систему форинжектора. С целью получения более выгодной с точки зрения отбора ионов и их последующей фокусировки граничной поверхности плазмы, автором была применена "плазменная оптика". Применение плазменной оптики позволило увеличить ток протонов, инжектируемых в синхрофазотрон, в 1,5 раза ^{/3/} и ^{/4/}.

С увеличением напряжения вытягивающего электрода ионный ток на выходе форинжектора растет пропорционально $U_{\text{выт}}^{3/2}$. Наибольшее значение вытягивающего напряжения составляет 48 Кв относительно источника и определяется требованием надежной работы установки.

Высокие требования, предъявляемые к моноэнергетичности пучка на входе в линейный ускоритель, заставили выбрать такую схему отбора и фокусировки ионов, которая позволяла бы отсечь ионы, генерируемые в области отбора. Применяемая схема позволяет выполнить это требование, так как напряжение на фокусирующем электроде не превышает по абсолютной величине 2,5 Кв относительно источника, что составляет примерно 0,4%. Напряжение по столу высоковольтного импульса на ускорительную трубку поддерживается с помощью специальной схемы, разработанной специально для данного форинжектора с точностью $\pm 0,2\%$.

Исследования зависимости тока на выходе форинжектора от тока дуги, магнитного поля и давления водорода в газоразрядной камере источника позволили определить рабочую область источника. Ценность этого результата заключается в том, что любая точка такой области однозначно определяет совокупность всех режимных параметров источника, которым соответствует протонный ток на выходе форинжектора порядка 40 ма. Это позволяет при создании аналогичной установки заранее выбрать оптимальные условия работы ионного источника.

Увеличивая ток дуги и вытягивающее напряжение, легко получить от описываемого форинжектора ионный ток до 100 ма и выше с процентным содержанием атомарных ионов 80 - 90%. Однако отбор и последующая фокусиров-

ка таких больших токов представляют собой самостоятельную, весьма сложную техническую задачу.

В третьей главе разбираются вопросы, связанные с фокусировкой пучка ионов.

Оценивается фокусирующее действие магнитного поля рассеяния в области отбора, которое можно с точностью - 20% аппроксимировать выражением:

$$B_z = B_0 r e^{-\alpha z} \cdot \sin\left(\frac{z}{z_0} \pi\right).$$

Показывается, что радиальное движение ионов в таком поле описывается следующим уравнением:

$$\frac{d^2 r}{dr^2} = -G r e^{-2r^2} \sin^2\left(\frac{r}{\alpha z_0} \pi\right),$$

где

$$G = \frac{z_0}{\alpha e v_0} \cdot \frac{e^2 B_0^2}{2 m c^2}; \quad r = \alpha z;$$

U_0 - напряжение вытягивающего электрода;

z_0 - положение вытягивающего электрода.

Численное интегрирование этого уравнения показывает, что сначала имеет место уменьшение радиуса пучка до величины $\sim 0,5$ начального на расстоянии $-\frac{z_0}{2}$, а затем радиус начинает медленно увеличиваться.

Зазор плазменная оптика - вытягивающий электрод представляет собой короткофокусную линзу. Вследствие этого на вход форинжектора приходит пучок, имеющий угловую расходимость, несколько большую чем ее критический угол. Измерения критического угла фокусирующей системы форинжектора дали для него величину $\alpha_{kp} = 20,5^\circ$.

Рассмотрение движения и фокусировки пучка в ускорительной трубке проводятся на основе аппарата, развитого в работе ^{/8/}. Получено выражение, связывающее радиус пучка на выходе ускорительной трубки с радиусом его на входе и с основными характеристиками трубки:

$$\frac{r_e}{r_0} = 1 - \frac{8 + \frac{N+1}{N} \cdot b_0/l}{4 + \frac{3N+2N^{3/2}-1}{N} \cdot b_0/l}$$

где r_e - радиус пучка на выходе ускорительной трубки;

r_0 - радиус пучка на входе ускорительной трубки;

l - длина ускорительной трубки;

N - отношение кинетической энергии протонов при выходе из ускорительной трубки к их энергии на входе;

b_0 - расстояние от выходной диафрагмы ускорительной трубки до точки фокуса.

Для расчета движения пучка в свободном от поля пространстве за ускоряющей трубкой использовалась следующая приближенная формула:

$$z = 4,97 r_0 \frac{U_0^{3/2}}{i_0} \int_1^R \frac{dR}{\sqrt{\ln R}},$$

где U_0 - скорость пучка в киловольтах;

i_0 - ток пучка в миллиамперах;

R - безразмерный радиус: $R = \frac{r}{r_0}$.

Эти соотношения, а также выражение для r_{min} /радиус пучка в точке фокуса/ позволяют полностью и, как показывает сравнение с экспериментальными данными, достаточно точно описать движение пучка от входа в ускоряющую трубку до точки фокуса.

Результаты измерений геометрических характеристик пучка форинжектора показывают /см. /5/ /, что они полностью удовлетворяют условиям инжекции в линейный ускоритель.

В той же главе даны краткие описания конструктивных особенностей и основных рабочих характеристик дополнительных фокусирующих устройств и юстировочных приспособлений форинжектора.

Резюмируя все вышеизложенное, можно сказать, что описываемый форинжектор полностью удовлетворяет всем предъявляемым к нему требованиям.

Л и т е р а т у р а

1. M.Ardenne. Tabellen der Elektronenphysik, Ionenphysik und Ultramikroskopie. Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1957.
2. Ю.Н. Антонов, Л.П. Зиновьев, В.П. Рашевский. Препринт ОИЯИ Р-346, Дубна 1959 г. см. также Атомная энергия, т.8, вып. 5, 1960 г.
3. Ю.Н. Антонов. Препринт ОИЯИ Р-881, Дубна 1962 г.
4. Ю.Н. Антонов, Л.П. Зиновьев, И.В. Кожухов, В.П. Рашевский, В.П. Саранцев, Чжан Чжун-му. Препринт ОИЯИ Р-885, Дубна 1962 г.
5. Ю.Н. Антонов, И.В. Кожухов, В.П. Рашевский, В.П. Саранцев, Чжан Чжун-му. Препринт ОИЯИ 937, Дубна 1962 г.
6. M.M.Elkind Rev. Sci. Instr., ч. 24, № 2, 1953.

Рукопись поступила в издательский отдел
23 ноября 1962 г.