

СЗ45

С-20



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

В.П. Саранцев

1008

**ЛИНЕЙНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ ПРОТОНОВ -
ИНЖЕКТОР СИНХРОФАЗОТРОНА
НА 10 БЭВ**

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

Научный руководитель
академик

В.И. Векслер

Дубна 1962 год

В.П. Саранцев

1008

с 345

С-20

ЛИНЕЙНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ ПРОТОНОВ -
ИНЖЕКТОР СИНХРОФАЗОТРОНА
НА 10 БЭВ

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

Научный руководитель
академик

В.И. Векслер

Дубна 1962 год

Интенсивность пучка ускоренных в синхрофазотроне частиц определяется в первую очередь числом инжектируемых частиц. Непрерывный рост требований физического эксперимента к интенсивности различных пучков частиц обуславливает поиски более совершенных инжекторов, а также необходимость улучшения параметров существующих.

В качестве инжектора синхрофазотрона Объединенного института ядерных исследований на 10 Бэв при его запуске и вплоть до 1962 года использовался линейный ускоритель, разработанный и построенный Украинским физико-техническим институтом. Это был ускоритель, аналогичный ускорителю Альвареса, т.е. резонатор со стоячей волной напряжения, по оси которого располагались трубки дрейфа. Как инжектор он обладал рядом существенных недостатков:

1. Разброс частиц по энергиям достигал 2,5%.
2. Число протонов, вводимых в синхрофазотрон, не превышало $2-3 \cdot 10^{10}$ частиц в цикле.
3. Наблюдалась большая нестабильность в интенсивности и энергии ускоренных частиц.
4. Система возбуждения резонатора состояла из 14 высокочастотных генераторов.
5. Конструкция фокусирующих сеток была неустойчивой к пробоям.

Первые три из названных недостатков существенно снижали эффективность захвата в синхротронный режим ускорения; остальные приводили к частым простоям ускорителя и этим самым уменьшали полезное время его использования.

В реферируемой диссертации проведено исследование параметров пучка частиц линейного ускорителя-инжектора и рассмотрены причины, снижающие эффективность его работы. Эти исследования легли в основу создания нового инжектора синхрофазотрона. Работам по созданию этого инжектора и исследованию его параметров посвящена основная часть диссертации.

Диссертация состоит из четырех глав.

Первая глава, помимо краткого описания линейного ускорителя, изготовленного Украинским физико-техническим институтом, содержит описание методики и результатов измерений размеров пучка протонов, его углового расхождения, а также энергетического спектра пучка частиц ^{11/}.

В результате детального исследования влияния различных параметров ускорителя

теля на величину разброса частиц по энергиям в ускоренном пучке было установлено, что основные причины большой величины энергетического спектра частиц в пучке лежат в конструктивных особенностях ускорителя.

Вторая глава диссертации посвящена расчетам ускоряющей системы нового ускорителя. В ней представлены основные характеристики пучка протонов, приведены оценки допусков на основные параметры ускоряющей системы и величины ускоряющего поля и энергии инъекции.

В § 1 и 3 этой главы даны общие вопросы теории расчета линейного ускорителя ^{/2,3/}. В этих параграфах показано, что с достаточной точностью при расчетах равновесного движения в ускорителе можно пользоваться формулами:

$$\Delta \beta_{n,s} = \frac{e E_0 \lambda \cos \phi_s}{E_0} \frac{G}{1 + 3/2 \beta_{n-1,s}^2}$$

$$\beta_{n,s} = \beta_{n-1,s} + \Delta \beta_{n,s}$$

$$L_n = \lambda (\beta_{n-1,s} + \frac{\Delta \beta_{n,s}}{2})$$

$$l_n = \lambda \beta_{n,s} (1 - \alpha),$$

где E_0 - средняя напряженность электрического поля, λ - длина волны высокочастотного сигнала, ϕ_s - равновесная фаза, E_0 - энергия покоя протона, L_n - длина n -го ускоряющего промежутка, $\beta_{n,s}$ - относительная скорость равновесной частицы на выходе из n -периода, l_n - длина n -ой дрейфовой трубки, α - отношение длины ускоряющего зазора к L_n , G - так называемый "фактор времени пролета".

Для окончательного расчета ускоряющей системы были проведены экспериментальные измерения "фактора времени пролета" ^{/5/}. Методика этих измерений и обсуждение полученных результатов содержатся в § 2 II главы. Эти измерения проводились на специальном стенде. Обоснование этого метода содержится в работах ^{/2,4/}. В диссертации приведены распределения электрического поля в зазорах дрейфовых трубок для разных величин периода ускоряющей системы. Эти измерения дали возможность сравнить несколько конструкций фокусирующих сеток и выбрать наиболее эффективную.

В диссертации приводится экспериментально снятая зависимость параметра G_n от величины периода ускоряющей системы и проведено сравнение с измерениями на электролитической ванне.

В § 3,4 представлено рассмотрение фазового движения частиц и энергетического спектра. Из сопоставления результатов расчета ускоряющей системы и фазовых колебаний по длине ускорителя найдено, что оптимальная величина разброса частиц в пучке по энергиям может быть получена после 32-го периода ускоряющей системы. Это соответствует 1,5 фазовым колебаниям и длине ускорителя равной 583 см. Показано, что при расчетных значениях энергии инъекции и величины

высокочастотного поля 50% частиц имеют энергетический разброс не более чем $\pm 0,1\%$. В этой же главе показано, что изменением напряженности высокочастотного поля в резонаторе на $\pm 1\%$ разброс частиц по энергиям увеличивается до 0,6-0,8%.

Энергетический разброс инжектируемых частиц уменьшается в процессе ускорения примерно в 5 раз. В § 5 приведены оценки точности расчета, даваемые выбранной схемой, а также проводится оценка необходимых допусков на изготовление и установку ускоряющей системы и допуски на поддержание уровня высокочастотной мощности в резонаторе.

Параграф 6 посвящается некоторым оценкам эффективности ускорителя по сравнению с инжектором бэватрона. Вопрос о правильном согласовании автогенератора с контуром высокой добротности и получения в контуре больших значений колебательной мощности в литературе мало разработан. В § 1 главы III диссертации помещены данные по настройке автогенератора на резонатор линейного ускорителя. В качестве источника мощности взят 3/4-волновый автогенератор с заземленной сеткой. Результаты проведенной проверки работы генератора на эквивалентное сопротивление показали, что генератор может выделять в активном сопротивлении мощность более 1 Мвт в импульсе длительностью 1 мсек. В качестве линии, передающей мощность в резонатор, выбран фидер с волновым сопротивлением 70 ом длиной $\lambda/2$. Для обеспечения устойчивого возбуждения на частоте резонатора в середине линии поставлено гасящее сопротивление R . Настройка системы на максимум отдаваемой мощности сводилась к подбору петли связи фидера с резонатором и рациональному выбору величины гасящего сопротивления. При подборе петли связи выяснилось, что первоначальный диаметр фидера (200 мм) при вводе в резонатор существенно изменяет эффективную площадь петли и настройка петли связи затрудняется. Для уменьшения величины фидера был сделан переходной конус с тем же волновым сопротивлением и на входе в резонатор диаметр фидера был уменьшен до 90 мм. При этом была получена оптимальная площадь петли связи = $1,5 \times 15 \text{ см}^2$.

Для выбора величины гасящего сопротивления снималась зависимость мощности, выделенной в резонаторе, от величины R . При этом контролировалась мощность, выделяемая в гасящем сопротивлении. Оптимальная величина гасящего сопротивления лежит в области 25-30 ом. При этом в резонаторе удалось получить мощность ~ 700-800 Квт/имп., т.е. около 70-80% общей мощности даваемой генератором ^{/6/}.

Для получения минимального разброса частиц по энергиям в пучке линейного ускорителя необходимо выдержать довольно трудные допуски на установку трубок дрейфа и равномерность поля по длине ускорителя. Параграф 2 III главы диссертации посвящен этим вопросам. В работе описывается методика установки трубок дрейфа и получения равномерности распределения поля по длине ускорителя.

Трубки дрейфа устанавливались по световому лучу, проходящему через диафрагмы, расположенные по оси резонатора. Диаметр отверстия диафрагм на трубках дрейфа и резонаторе (0,2 мм) обеспечивал нужную точность установки. Зазоры между трубками устанавливались по специальным шаблонам.

Регулировка поля по длине, как и в работе^{/8/}, осуществлялась при помощи дисков, накрученных на трубки. Были сняты частотные характеристики трубок дрейфа с дисками на специальном стенде. Окончательное распределение поля по длине получено равномерным с точностью до $\pm 0,15\%$ ^{/7/}.

Последний параграф **III** главы диссертации посвящен некоторым вопросам транспортировки и коррекции пучка. Значительное расстояние от линейного ускорителя до ввода в синхрофазотрон (13 метров) требовало установки дополнительных фокусирующих устройств для получения нужных размеров сечения пучка, входящего в ускоритель (3 см). В качестве фокусирующих элементов были использованы 2 двоянные гиперболические линзы, конструкция которых описана в диссертации. Эти линзы обеспечили необходимые размеры пучка в камере синхрофазотрона.

Для точной юстировки пучка применялись специальные устройства-корректоры, изготовленные из статоров электродвигателей типа А42-6. Применение специальной обмотки позволило получить 2 взаимно-перпендикулярные компоненты магнитного поля. Независимая регулировка тока в обмотках давала возможность при помощи этих устройств осуществлять как изменение направления пучка, так и его параллельное смещение.

Последняя глава диссертации посвящена методике измерений основных параметров пучка нового инжектора. Основное внимание при этом уделено спектральному составу ускоренных частиц. Проводится сравнение экспериментальных данных с результатами расчета.

Измеренное значение синхронной фазы ϕ , хорошо согласуется с расчетом и составляет $19-20^\circ$. Измерения величины разброса частиц по энергиям показали, что 95% всех частиц имеют разброс, не превышающий $\pm 0,2\%$. Некоторое увеличение энергетического разброса в пучке по сравнению с расчетным объясняется тем, что при расчете учитывались только малые фазовые колебания и совсем не учитывались радиально-фазовые.

Были проведены измерения величины области захвата в режим ускорения для разных значений энергии инжекции. Сравнение полученных результатов с расчетными результатами Панофского^{/3/} показало, что область захвата, измеренная экспериментально, отличается от рассчитанной Панофским в 2 раза. Для выяснения причины расхождения был произведен численный расчет области захвата. Результаты расчета хорошо согласуются с экспериментальными измерениями.

В диссертации приведены результаты детального изучения влияния энергии

инжектируемых частиц и высокочастотного напряжения в резонаторе на среднюю энергию и энергетический разброс частиц в пучке. Эти результаты позволяют сделать вывод, что точность поддержания энергии инжектируемых в линейный ускоритель частиц должна быть не хуже, чем 0,3%. В величине ускоряющего высокочастотного поля можно допустить колебания, не превышающие 0,5%. При этих условиях величина энергетического спектра меняется незначительно.

В диссертации приведены данные по эффективности использования инжектируемых в линейный ускоритель частиц. При хорошей фокусировке на вход в линейный ускоритель^{/10/} коэффициент использования тока форинжектора достигает 1/28, что превышает коэффициент использования тока в инжекторе бэватрона (1/40)^{/11/}.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах^{/1, 5, 6, 7/}.

Л и т е р а т у р а

1. С.К. Есин, Л.П. Зиновьев, К.П. Мызников, В.П. Саранцев. Настройка основных параметров пучка протонов, входящего в синхрофазотрон. Препринт ОИЯИ 555, Дубна (1960).
2. L.W. Alvarez et al, Berkely Proton Linear Accelerator Rev. Sci. Inst. 26, 111 (1955).
3. W.K.H. Panofsky, University of California Radiation Laboratory Report UCRL-1216 (1951).
4. J.C. Slater Revs. Modern Phys. 18 (441) 1946.
5. Л.П. Зиновьев, А.Б. Кузнецов, Н.В. Рубин, В.П. Саранцев. Физические обоснования протонного линейного ускорителя-инжектора синхрофазотрона. Препринт ОИЯИ 519, Дубна (1960).
6. Ю.Д. Безногих, Л.П. Зиновьев, Г.А. Иванов, В.И. Попов, В.П. Саранцев. Возбуждение резонатора линейного ускорителя автогенератором с гасящим сопротивлением. Препринт ОИЯИ 907, Дубна (1962).
7. В.П. Саранцев. Установка трубок дрейфа и настройка поля по длине резонатора линейного ускорителя-инжектора синхрофазотрона на 10 Бэв. Препринт ОИЯИ 909, Дубна (1962).
8. К.Д. Синельников и др. Линейный протонный ускоритель с энергией 20,5 Мэв. Сборник "Труды сессии АН СССР по мирному использованию атомной энергии" (1959).
9. С.К. Есин, Л.П. Зиновьев, К.П. Мызников, В.П. Саранцев. Исследование первого этапа инжекции в синхрофазотроне на 10 Бэв. Препринт ОИЯИ 558 Дубна (1960).
10. Ю.Н. Антонов, И.В. Кожухов, В.П. Рашевский, В.П. Саранцев, Чжан Чжу-му. Геометрические характеристики пучка нового форинжектора синхрофазотрона. Препринт ОИЯИ Р-937 (1962).
11. B. Cork, Proton Linear Accelerator for the Bevatron Rev. Sci. Inst. 26, 210 (1955).

Рукопись поступила в издательский отдел
8 июня 1962 года