

С 345

3-63

Л.П. Зиновьев

847

ЗАПУСК И НАЛАДКА
ПРОТОННЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ
на 180 Мэв и 10 Бэв

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1961 год

С 345

3-63

Л.П. Зиновьев

847

ЗАПУСК И НАЛАДКА
ПРОТОННЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ
на 180 Мэв и 10 Бэв

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

За последние несколько десятилетий физика достигла огромных успехов в области изучения строения вещества. Успехи ядерной физики в значительной степени определялись развитием ускорительной техники. Особенно бурное развитие ускорительной техники началось после того, как в 1944 году В.И. Векслер открыл явление автоматической фазировки частиц в резонансных ускорителях.

Открытие принципа автофазировки сделало возможным сооружение громадных установок, в которых заряженные частицы могут приобретать очень большие энергии.

В Советском Союзе в 1949 году начались работы по проектированию синхрофазотрона для ускорения протонов до энергии 10 миллиардов электроновольт. Этот ускоритель был запущен в 1957 году и до 1960 года являлся единственным в мире ускорителем, на котором протоны ускорялись до столь большой энергии.

Трудности создания синхрофазотрона на 10 Бэв усугублялись отсутствием опыта сооружения таких больших ускорителей.

Для решения ряда труднейших задач, связанных с сооружением и особенно с запуском такой огромной машины, была построена действующая модель синхрофазотрона на 180 Мэв. Эта модель была сооружена в Физическом институте АН СССР и запущена в 1953 году.

В реферируемой диссертации описаны экспериментальные исследования, выполненные при запуске модели ускорителя и синхрофазотрона на 10 Бэв.

Из большого круга разносторонних проблем, с которыми было связано создание этих ускорителей, в диссертации основное место отведено получению и исследованию квазибетаотронного режима, являющегося важнейшим этапом, в большой степени определяющим эффективность всей работы ускорителя. В диссертации описаны методика, предложенная автором диссертации, и результаты исследований, проведенных в течение ряда лет. Диссертация состоит из двух частей.

В первой части диссертации описаны эксперименты и исследования, относящиеся к запуску и исследованию условий движения частиц в модели ускорителя,

которая представляет собой ускоритель — синхрофазотрон с магнитом типа "рейс-трек".

Инжектор синхрофазотрона является одним из самых важных узлов установки. На модели в качестве инжектора был применен электростатический генератор, ускоряющий протоны до энергии 0,8 МэВ.

Эффективность захвата частиц в процесс ускорения в синхрофазотроне существенно зависит от стабильности энергии частиц, инжектируемых в камеру ускорителя^{/10/}. В диссертации дается описание системы, разработанной автором, для стабилизации энергии протонов, выходящих из электростатического генератора. В этой системе в качестве датчика использовался пучок протонов, повернутый специальным магнитом на угол 60° от своего первоначального направления. Регулирующим элементом служил коронирующий электрод. Система обеспечивала поддержание постоянства энергии протонов с точностью 0,05%.

Не менее важную роль в захвате частиц играют геометрические размеры и угловая расходимость пучка инжектируемых протонов^{/10/}. Однако, наличие в системе стабилизации энергии частиц поворотного магнита существенно затрудняло получение нужных геометрических параметров пучка.

Применение специальной конструкции полюсных наконечников поворотного магнита позволило создать регулируемую градиентную фокусировку пучка. Благодаря фокусирующей системе электростатического генератора и настройке градиентной фокусировки поворотного магнита удалось достичь нужных геометрических размеров инжектируемого пучка и его угловой расходимости^{/9/}.

Формирование пучка на входе в ускоритель неразрывно связано с измерением его параметров. В работе дается описание методики измерений поперечных размеров пучка и его угловой расходимости.

Для ввода частиц на орбиту использовались три пары инфлекторных пластин, которые были сконструированы таким образом, что позволяли производить ввод частиц на орбиты с различными радиусами.

Используя конструктивные особенности инфлекторных пластин, удалось измерить предельно допустимую радиальную протяженность инжектируемого пучка (предельно допустимую промашку), имеющую большое значение для захвата частиц на первом этапе инжекции. Ее величина оказалась равной 4 мм.

В диссертации описываются исследования, связанные с изменением параметров инжектируемого пучка в месте выхода его на равновесную орбиту. Оказалось, что радиальная протяженность пучка в месте выхода из инфлекторных пластин равна 4 мм, вертикальный размер пучка 3,5 мм. Угловая расходимость в горизонтальной плоскости $4'$ в вертикальной $1'$.

Для индикации пучка в камере ускорителя использовалась система, состоящая из мишени, покрытой люминофором, системы световой оптики и фотоумножителя. Такая система индикации оказалась чрезвычайно чувствительной и позволяла надежно индицировать пучки с ничтожно малой интенсивностью. Путем специальной градуировки этой системы была обеспечена возможность количественных измерений интенсивности пучка частиц в камере ускорителя.

Интенсивность ускоренного пучка в ускорителе определяется прежде всего эффективностью захвата на первом этапе инжекции. В работе дается описание метода измерения коэффициента захвата частиц на первом этапе инжекции. В этом методе для измерения использовалась специально проградуированная система индикации пучка. Малые геометрические размеры и небольшая угловая расходимость инжектируемого пучка обусловили высокий коэффициент захвата равный 60%^{/11/}.

В диссертации приводится описание метода измерения показателя n спада магнитного поля по радиусу в зазоре магнита ускорителя. Для этих измерений использовался пучок частиц, захваченных в квазибетатронный режим. Благодаря специально разработанной методике была достигнута большая точность измерения этого очень важного параметра магнитного поля ускорителя. Используя данные этих измерений для теоретических расчетов захвата частиц во время инжекции, удалось объяснить своеобразную форму бетатронного импульса, наблюдаемого с мишени, расположенной у внутренней стенки камеры. Результаты, полученные при расчетах, хорошо совпали с экспериментальными^{/11/}.

Существенное влияние на коэффициент захвата оказывали изменения напряжения на инфлекторных пластинах. Экспериментальные исследования показали, что при изменении напряжения на 0,4% захват частиц с малыми колебаниями уменьшался практически до нуля. При этом было установлено, что резкое влияние изменения напряжения на захват связано с изменением угла вылета частиц из инфлекторных пластин.

Отклонение пучка от оптимального направления на угол $7'$ уменьшает захват частиц на $\sim 40\%$. При этом частицы с малыми амплитудами радиальных колебаний практически отсутствуют в захваченном пучке.

В диссертации дается описание методов определения траекторий частиц и формы мгновенных орбит. При помощи специального расположения экранов по азимуту ускорителя можно проследить траектории частиц, совершающих один оборот в камере. Знание этих траекторий дает возможность произвести предварительную настройку инжекционной системы. Используя частицы, захваченные в квазибетатронный режим, можно с достаточной точностью определить форму мгновенных орбит как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях. Подобные исследования позволяют судить о состоянии магнитного поля в зазоре магнита ускорителя, что крайне важно для запуска ускорителя. При помощи таких исследований в магните модели было обнаружено существенное искажение средней магнитной плоскости. Это искажение было ликвидировано при помощи специальных обмоток.

В работе дается описание системы управления включением высокочастотного ускоряющего поля. Включение ускоряющего поля производилось сигналом, получаемым непосредственно от частиц, захваченных при первом этапе инжекции. Подобный метод существенно повысил стабильность интенсивности ускоренного пучка.

Значительное место в работе уделено исследованиям потерь частиц в процессе ускорения. В результате этих исследований было обнаружено, что в магнитном поле ускорителя имеются пульсации, частота которых практически совпадает с частотой фазовых колебаний. Эти пульсации магнитного поля явились результатом ударного возбуждения собственных колебаний обмотки магнита вследствие специфики выпрямительной системы питания магнита. Пульсации магнитного поля с частотой фазовых колебаний приводили к потерям частиц во время ускорения.

В работе приводятся исследования влияния пульсаций магнитного поля с различной частотой на интенсивность ускоренного пучка. Экспериментальные данные этих исследований хорошо совпали с теоретическими расчетами^{11/}. Кроме этого исследовалось влияние модуляции высокочастотного ускоряющего поля на интенсивность ускоренного пучка. Эксперимент показал, что глубина модуляции в $0,4\%$ с частотой, равной частоте фазовых колебаний (4700 гц), уменьшает интенсивность ускоренного пучка до нуля.

Вторая часть диссертации посвящена экспериментальным исследованиям, произведенным при запуске синхрофазотрона на 10 Бэв. В качестве инжектора на этой установке используется линейный ускоритель на $8,6$ Мэв. Вначале линейный ускоритель мог давать сравнительно малую интенсивность ускоренного пучка — $35-40$ мка. Впоследствии путем существенной переделки форинжектора и разработки нового ионного источника интенсивность ускоренного пучка в линейном ускорителе была увеличена до $600-700$ мка^{16,8/}. Поперечное сечение пучка вблизи линейного ускорителя составляет примерно 10 мм при угловой расходимости в $10'$ ^{12/}.

Для уменьшения геометрических размеров пучка при входе его в камеру ускорителя применена квадрупольная линза, с помощью которой, несмотря на большую протяженность ионопровода (~ 13 м), удалось получить пучок с поперечными размерами 20 мм^{12/}.

Помимо исследования геометрических размеров пучка и его угловых характеристик исследовался также энергетический спектр протонов в инжектируемом пучке. Оказалось, что разброс энергии протонов в пучке очень велик и достигает $2,5\%$. Такой широкий энергетический спектр частиц в сильной степени затруднил наладку инжекционной системы. Наличие большого разброса частиц по энергиям потребовало создания специальной конструкции поворотного магнита^{11/}. Исследование потерь частиц на инжекционном тракте показало, что на участке от выхода из линейного ускорителя до выхода из инфлекторных пластин интенсивность пучка уменьшается вдвое. Основные потери имеют место на входе пучка в инфлекторные пластины^{12/}.

Исследования пучка протонов, выходящих из инфлекторных пластин, показали, что в любой точке сечения пучка частицы расходятся веером с углом в горизонтальной плоскости $6'$, в вертикальной $5'$.

Исследование первого этапа инжекции в синхрофазотрон на 10 Бэв производилось теми же методами, что и при подобных исследованиях на модели. Путем определения траекторий частиц, совершающих один оборот в камере ускорителя, можно установить параметры инжекционной системы близкими к оптимальным. Гбсле оптимальной настройки инжекционной системы было произведено измерение коэффициента захвата частиц в квазибетатронный режим, который оказался равным 30% .

Метод использования частиц, захваченных в квазибетатронный режим, для исследования мгновенных орбит, разработанный при запуске модели, был с успехом применен при запуске синхрофазотрона на 10 Бэв^{13/}; с помощью этого метода удалось относительно легко обнаружить появившиеся в начале запуска ускорителя искажения магнитного поля в зазоре магнита. Эти искажения вызывались короткозамкнутыми контурами в магнитной системе ускорителя. Исследования формы мгновенных орбит в вертикальном направлении показали, что в машине имеет место искажение средней магнитной поверхности. Показано, что уменьшение вертикальной апертуры камеры, обусловленное этими искажениями, не препятствует нормальной работе ускорителя.

В работе дается описание метода настройки оптимального захвата в режим ускорения при включении ускоряющего высокочастотного поля, а также подбора закона изменения частоты в процессе ускорения. Одновременно с этим описывается измерение коэффициента захвата на втором этапе инжекции. Этот коэффициент оказался равным 20%.

Основные положения диссертации опубликованы в работах /1-9/.

Л и т е р а т у р а

1. I.S.Danilkin, L.P.Zinoviev, V.A.Petukhov and M.S.Rabinovich. "Some operational problems with a 180 MeV synchrophasotron. (Model of 10 BeV synchrophasotron) CERN Symposium 1956.
2. С.К.Есин, Л.П.Зиновьев, К.П.Мызников, В.П.Саранцев. "Настройка основных параметров лучка протонов, входящего в синхрофазотрон". Препринт ОИЯИ, Р-555, 1960г.
3. С.К.Есин, Л.П.Зиновьев, К.П.Мызников, В.П.Саранцев. "Исследование первого этапа инжекции в синхрофазотрон на 10 Бэв", Препринт ОИЯИ Р-558, 1960.
4. Л.П.Зиновьев, И.Б.Иссинский, К.П.Мызников. "Сцинтилляционный метод наблюдения за пучком в синхрофазотроне на 10 Бэв". Препринт ОИЯИ Р-557, 1960 г.
5. Л.П.Зиновьев, И.Б.Иссинский, К.П.Мызников. "Измерение интенсивности частиц малой энергии в синхрофазотроне методом интегрирования заряда". Препринт ОИЯИ-Р 556, 1960 г.
6. Ю.Н.Антонов, Л.П.Зиновьев, В.П.Рашевский. "600-киловольтный инжектор протонов для линейного ускорителя". Препринт ОИЯИ Р-346 1959 г.

7. Г.А.Зейтленок, Л.П.Зиновьев, И.М.Ройфе "Высоковольтное питание поворотных пластин системы ввода ионного лучка в камеру синхрофазотрона на 10 Бэв". Журнал "Приборы и техника эксперимента" № 2, 1960 г.
8. Ю.Н.Антонов, Л.П.Зиновьев, В.П.Рашевский. "Инжектор протонов с энергией 600 Кэв для линейного ускорителя". Журнал "Атомная энергия" 8 вып. 1960г.
9. Л.П.Зиновьев, В.А.Петухов. "Экспериментальные исследования на модели большого ускорителя частиц на энергию протонов 10 Бэв". Доклад на Всесоюзной конференции по физике частиц высокой энергии, Москва (1956).
10. М.С.Рабинович "Основы теории синхрофазотрона". Труды ФИАН СССР 10, 23 (1958).
11. А.А.Коломенский, А.Б.Кузнецов, Н.Б.Рубин "О поворотной-фокусирующей системе для ввода частиц в синхрофазотрон". ЖТФ 29, 981 (1959).

Рукопись поступила в издательский отдел
17 ноября 1961 года.