

18

З.З.

E-83

558

Секс. инт. № 10



С.К.Есин, Л.П.Зиновьев, К.П.Мызников, В.П.Саранцев

558

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРВОГО ЭТАПА
ИНЖЕКЦИИ В СИНХРОФАЗОТРОН
НА 10 БЭВ

Дубна 1960 год

С.К.Есин, Л.П.Зиновьев, К.П.Мызников, В.П.Саранцев

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРВОГО ЭТАПА
ИНЖЕКЦИИ В СИНХРОФАЗОТРОН
НА 10 БЭВ

Вс
01/877

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

В в е д е н и е

Инжекция частиц в синхрофазотрон производится в два этапа. Начало первого этапа инжекции совпадает с моментом, когда мгновенная равновесная орбита находится вблизи инжектора. По мере роста магнитного поля радиус мгновенной орбиты уменьшается, и частицы сворачиваются к центру вакуумной камеры. Положение мгновенной орбиты относительно инжектора и направление выхода частиц из инжектора определяют амплитуду радиальных колебаний частиц, впускаемых в данный момент в камеру. После того, как мгновенная орбита совпадет со средней орбитой, впуск частиц в камеру прекращается, включается ускоряющее поле и начинается второй этап инжекции. Качество настройки первого этапа инжекции определяет эффективность захвата во второй этап ¹. Из всех частиц, впущенных в камеру, мы будем считать захваченными в первый этап инжекции те из них, которые не испытают соударений с инжектором и стенками вакуумной камеры. Эффективность захвата на этом этапе может быть определена, как отношение числа частиц, свернувшихся при выключенном ускоряющем напряжении к внутреннему краю рабочей области, к числу частиц, впущенных за время инъекций. Для того чтобы частицы не соударялись с инжектором и стенками вакуумной камеры, накладываются жесткие требования на угол влета, угловой раствор и размеры инжектируемого пучка ². Помимо этого эффективность захвата в течение первого этапа инжекции, при заданной скорости сжатия орбиты, зависит от размеров инжектора, его расположения относительно средней орбиты и стенок камеры, энергетического разброса инжектируемого пучка, искажений магнитного поля в момент инжекции и т.п.

В настоящей статье сообщаются результаты, полученные при наладке первого этапа инжекции в синхрофазотрон ОИЯИ. Эти работы можно условно подразделить на две части. Во-первых, подбор начальных условий инжекции, обеспечивающих захват в течение первого этапа и, во-вторых, получение оптимальных условий, обеспечивающих максимальный захват частиц в режим ускорения. Описание исследований инжекционных явлений дается в той последовательности, в которой они велись при запуске синхрофазотрона.

1. Подбор начальных условий в момент инъекции пучка

Для предварительного подбора условий впуска частиц магнит синхрофазотрона питался от стабильного источника постоянного тока. Значение магнитного поля и напряжение на поворотных пластинах подбирались таким образом, чтобы заставить пучок совершить один оборот по окружности, радиус которой совпадал бы с радиусом, на котором расположен инжектор. Для наблюдения за траекториями частиц в камеру синхрофазотрона вводились экраны, покрытые составом $ZnS(Ag)$. Положение экрана относительно центра камеры точно отсчитывалось с помощью телеметрических датчиков. Экран перемещался в направлении радиуса ускорителя до пересечения с пучком протонов. Под действием протонов светосостав флуоресцировал, световые импульсы визуально наблюдались в смотровые окна, расположенные на вакуумной камере. Чтобы проследить траекторию только первого оборота частиц, вакуумная камера ускорителя была перекрыта заслонкой, расположенной в конце четвертого квадранта. Подбор значения постоянного магнитного поля и напряжения на поворотных пластинах производился до тех пор, пока в трех точках первого квадранта положение ядра пучка по радиусу совпало с радиальным положением поворотных пластин. После этого в конце четвертого квадранта был зафиксирован первый оборот частиц в синхрофазотроне.

При постоянном поле в магните проверялась также правильность юстировки инжекционной оптики по вертикали. Для этого положение пучка по вертикали наблюдалось на экране, помещенном в конце первого квадранта. Неточности юстировки по вертикали компенсировались путем подачи напряжения на отклоняющий конденсатор, расположенный в коробке ввода, перед поворотными пластинами³. Ядро пучка было выведено в центр геометрической средней плоскости магнита. За счет тонкой регулировки параметров поворотного магнита³ размер пучка в конце первого квадранта удалось уменьшить до 60 мм по вертикали и 400 мм - по горизонтали.

В дальнейшем подбор начальных условий производился для частиц с фиксированным значением энергии в нарастающем магнитном поле, при нормальном возбуждении синхрофазотрона. Длительность импульса протонов, инжектируемых в камеру, составляла 300 мксек, поэтому было необходимо подобрать момент

начала впуска частиц в камеру таким образом, чтобы мгновенная равновесная орбита в момент начала инжекции находилась вблизи инжектора. Частицы, инжектируемые в камеру позже этого момента, получают возможность пройти мимо поворотных пластин, и свернуться по спиральной траектории к центру камеры. Схема опыта по определению траектории первого оборота частиц, впускаемых в момент начала инжекции, показана на рис. 1. Чтобы проследить траекторию только первого оборота, вакуумная камера в конце четвертого квадранта

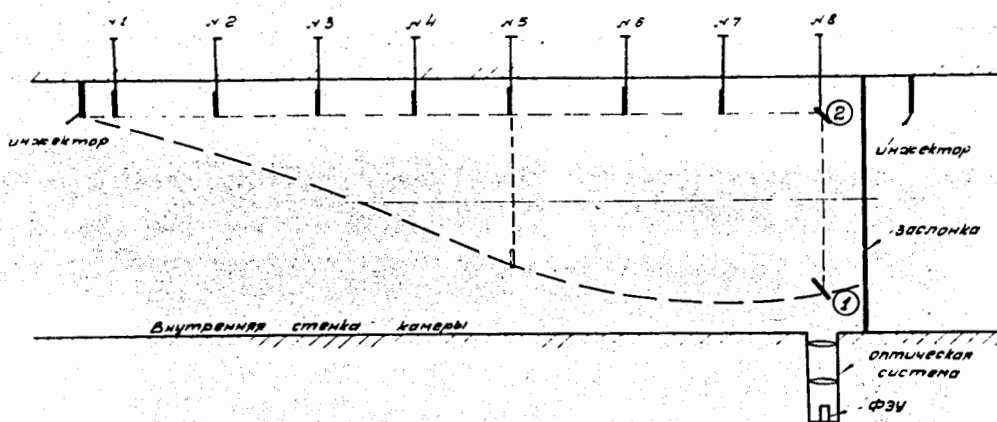


Рис. 1. Расположение измерительных устройств при определении траекторий первого оборота частиц, впускаемых в начальный момент инжекции.

была перекрыта заслонкой. Перед заслонкой была помещена узкая вертикальная мишень /№ 8/, покрытая порошком вольфрамата кальция. Мишень была обращена в сторону оптической системы ⁴, которая собирала свет люминесценции, возникающий при бомбардировке вольфрамата кальция протонами, на фотокатод электронного умножителя ФЭУ-19. Размер мишени по вертикали равнялся 250 мм, по радиусу-30 мм. Мишень могла перемещаться в направлении радиуса. Ее положение относительно центральной орбиты точно отсчитывалось.

Частицы одной и той же энергии, вылетающие из инжектора в различные моменты времени, будут двигаться в растущем магнитном поле по различным траекториям. Чтобы свести к минимуму разброс по энергиям у инжектируемых частиц, на выходе поворотного магнита, а также между секциями поворотных пластин были поставлены горизонтальные диафрагмы шириной 1 мм, вырезавшие центральную часть пучка. Наблюдая на экране осциллографа сигнал с фотоумножителя при перемещении мишени № 8 по радиусу, можно определить в конце первого оборота местоположение частиц, входящих в камеру в момент начала инжекции /рис.1, положение 1/. Начиная инжекцию в различные моменты времени, можно подобрать значение поля, при котором конец траектории первого оборота частиц, выходящих в момент начала инжекции, будет совмещен по радиусу с инжектором /рис.1, положение 2/. В этом случае сигнал с фотоумножителя, направленного на мишень № 8, будет совпадать во времени с моментом начала инжекции. На рис. 2 приведена одна из таких осциллограмм. Чтобы проследить траекторию первого оборота на других азимутах синхрофазотрона, со стороны наружного радиуса в вакуумную камеру вводились заслонки. Радиальное положение заслонок точно отсчитывалось относительно центра вакуумной камеры.

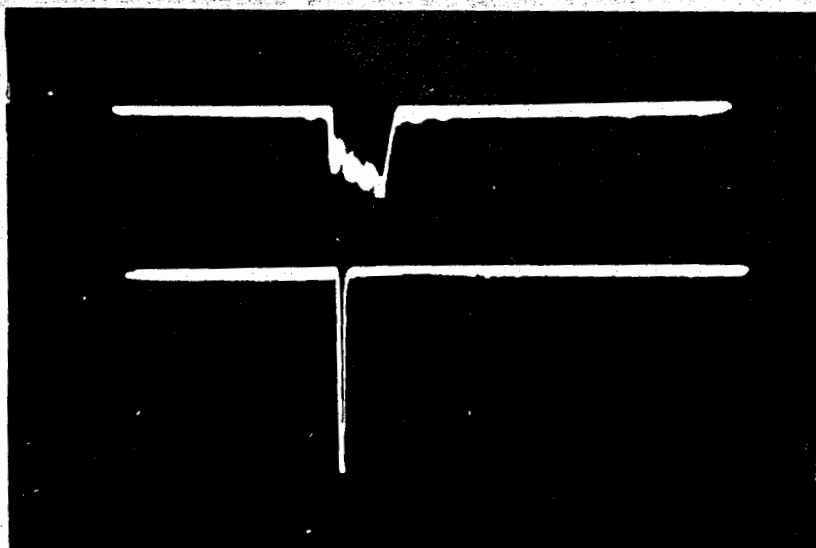


Рис. 2. Верхний луч: импульс тока протонов, инжектируемых в синхрофазотрон.

Нижний луч: импульс с фотоумножителя, направленного на мишень № 8 от частиц, впускаемых в момент начала инжекции.

Каждая из заслонок перемещалась в направлении радиуса. Положение, при котором край заслонки пересекал траекторию частиц, отмечалось по исчезновению сигнала с фотоумножителя. Повторяя измерения на различных азимутах, можно определить траекторию первого оборота частиц в момент начала инжекции. На рис. 3 показаны траектории, определенные таким способом. Кривая II соответствует случаю, когда момент начала инжекции частиц подобран с ошибкой 150 мксек, кривая I соответствует правильному подбору момента включения, но указывает на ошибку в угле влета 10° , в случае III начальные условия в момент начала инжекции подобраны правильно.

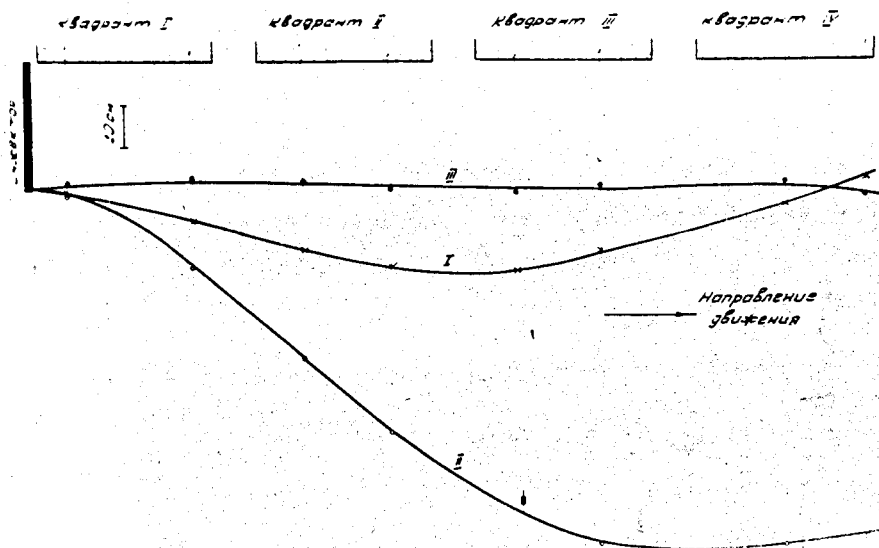


Рис. 3. Траектории первого оборота частиц, впускаемых в момент начала инжекции.

Если при этих условиях открыть заслонку, расположенную в конце 1У квадранта, то частицы, входящие в камеру позднее, пролетят мимо поворотных пластин и свернутся к внутреннему краю рабочей области. Для регистрации

таких частиц у внутреннего края рабочей области была расположена мишень /рис.4 /, представляющая собой пластинку размером 250 мм по высоте и 200

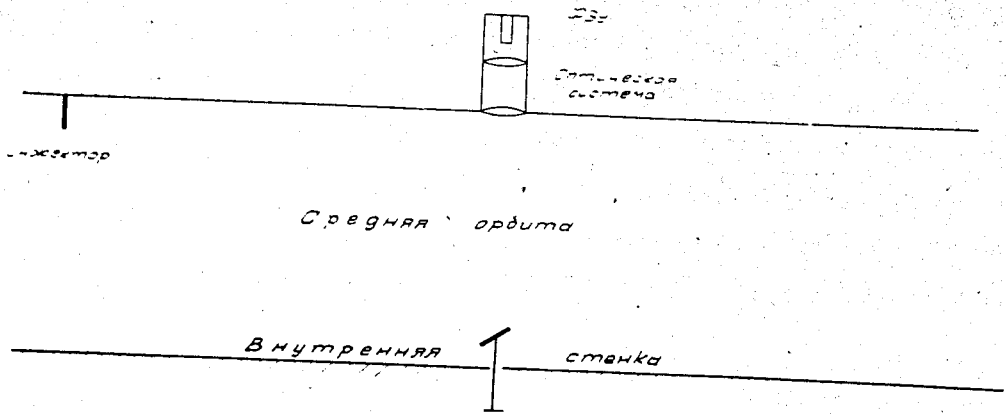


Рис. 4. Расположение измерительного устройства для наблюдения импульса от частиц, свернувших к внутреннему краю рабочей области.

в направлении радиуса, покрытая вольфрамом кальция. Пластинка была обращена в сторону фотоумножителя, регистрировавшего световой сигнал, который возникал при взаимодействии частиц с мишенью. На рис. 5 /нижний луч/ показана осциллограмма сигнала с внутренней мишени. На верхнем луче показан

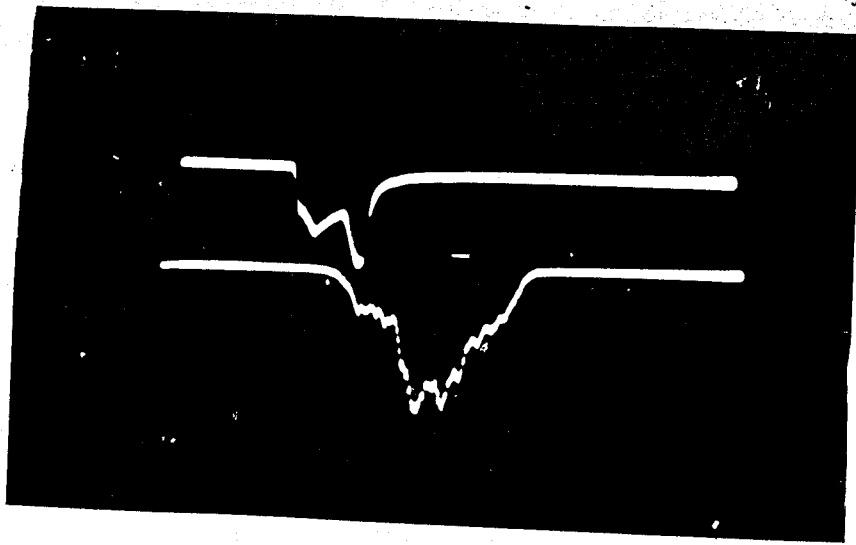


Рис. 5. Верхний луч: импульс тока частиц, инжектируемых в синхрофазотрон. Нижний луч: импульс от частиц, свернувших к внутреннему краю рабочей области. Скорость развертки: 4,5 см/мсек.

импульс тока, инжектируемого в камеру. Величина и форма импульса с внутренней мишени дает информацию, позволяющую судить о правильности настройки режима инъекции. Задний фронт этого импульса соответствует частицам, вышедшим из инжектора в тот момент времени, когда их мгновенная орбита находилась вблизи инжектора. Амплитуда свободных радиальных колебаний у этих частиц будет минимальной. Для получения оптимального захвата в режим ускорения крайне важно иметь максимальное число таких частиц, поэтому большое внимание было уделено устранению факторов, приводящих к увеличению амплитуды колебаний частиц в радиальном и вертикальном направлении и вызывающих потерю частиц при их сворачивании от инжектора к центру камеры.

2. Определение и компенсация азимутальной асимметрии магнитного поля

Наличие азимутальной неоднородности магнитного поля приводит к искажению мгновенной равновесной орбиты. Это означает, что часть рабочей области магнита не может быть полезно использована для захвата на первом этапе инъекции и при дальнейшем ускорении пучка. Поэтому для увеличения интенсивности частиц, ускоренных до конечной энергии, очень важно скомпенсировать азимутальную неоднородность магнитного поля. Большие искажения магнитного поля определялись по траекториям первого оборота частиц, снятым описанным выше способом. На рис. 6 показана одна из таких траекторий. Сравнение ее с траекторией, снятой при отсутствии азимутальной асимметрии /рис. 3 кривая III/ показывает, что искажение магнитного поля во II квадранте вызывает искривление траекторий частиц, мгновенная орбита которых находится вблизи инжектора. В результате эти частицы в конце первого оборота теряются на инжекторе или наружной стенке вакуумной камеры. Такого рода искажения магнитного поля возникали в первый период запуска синхрофазотрона из-за образования замкнутых контуров в магнитопроводе основного магнита. Улучшение конструкции крепления обмотки магнита, изоляции кожухов обмотки, изоляции вакуумных вводов компенсирующих обмоток и т.п. позволило значительно сократить азимутальную неоднородность магнитного поля.

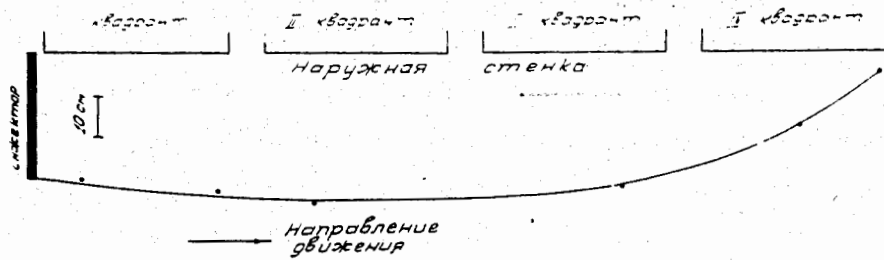


Рис. 6. Траектория первого оборота частиц, впускаемых в камеру в момент начала инъекции, при наличии большой азимутальной неоднородности магнитного поля.

Большую нестабильность и потерю частиц при инъекции вызывает азимутальная неоднородность поля, изменяющая свой характер во времени. Такую неоднородность создавали пульсации с частотой 150 гц в выпрямленном токе, питающем обмотку магнита. Наличие емкостных утечек обмотки каждого квадранта на землю привело к тому, что амплитуда и фаза этих пульсаций в различных квадрантах были различными. На рис. 7 приведены осциллограммы производной магнитного поля по времени в первом и втором квадрантах. На верхнем луче отмечен момент начала инъекции. Амплитуда пульсаций с частотой 150 гц во II квадранте значительно больше, чем в первом. На рис. 8 хорошо виден сдвиг по фазе в момент начала инъекции пульсаций поля во втором и четвертом квадрантах. Чтобы снизить уровень пульсаций с частотой 150 гц, на выходе выпрямителя, питающего обмотку магнита, был поставлен дополнительный RC-фильтр. Параллельно обмоткам второго и четвертого квадранта были поставлены емкости, подобранные таким образом, чтобы уравнивать пульсации в различных квадрантах и свести к минимуму сдвиг фаз. Помимо этого, в схеме поджига игнитронов были произведены изменения, позволившие каждый рабочий цикл начинать с включения определенного игнитрона, что привело к стабилизации фазы пульсаций выпрямленного тока в момент начала инъекции. Все эти мероприятия позволили получить стабильный режим инъекции и приступить к его систематическому исследованию.

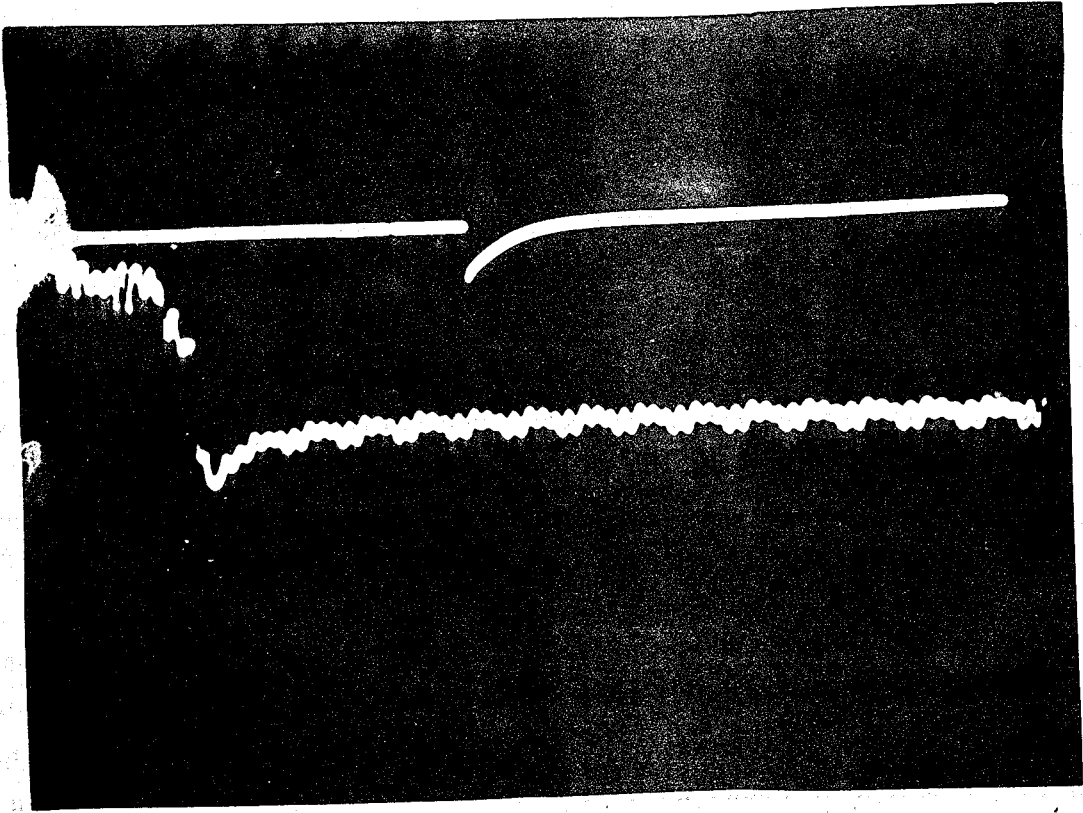


Рис. 7а. Производная магнитного поля в рабочей области I квадранта.

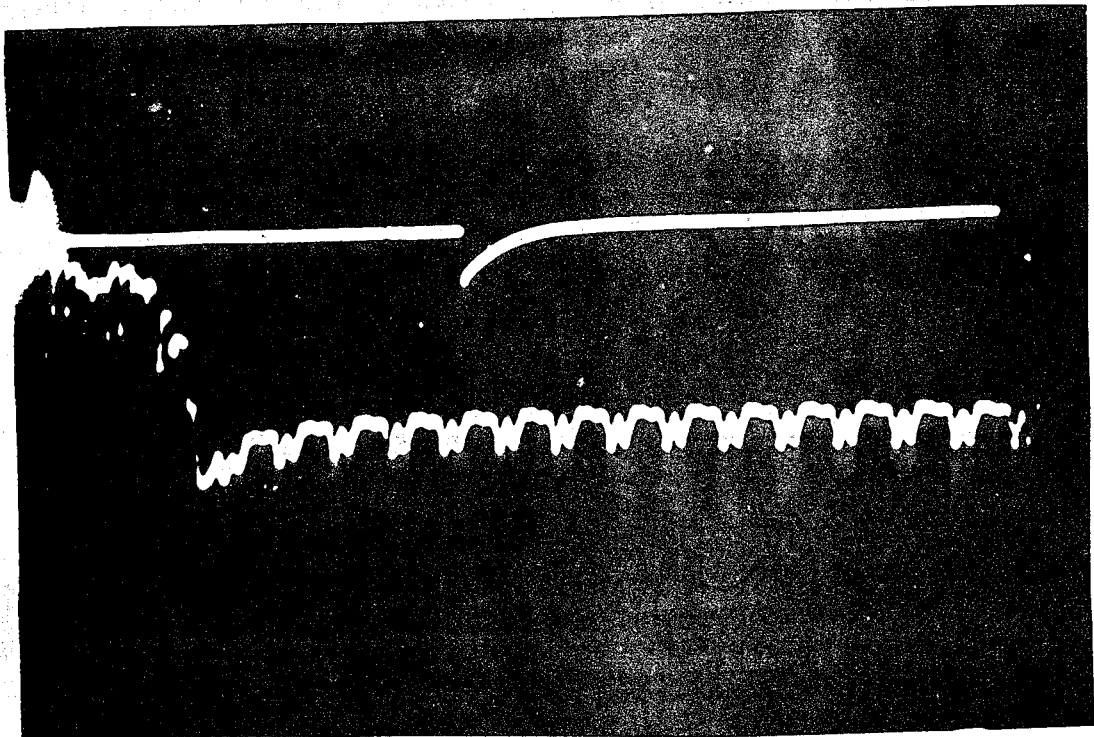


Рис. 7б. Производная магнитного поля в рабочей области II квадранта.
На верхнем луче отмечен момент начала инъекции.

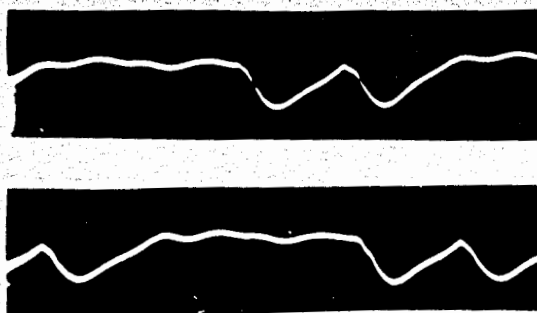


Рис. 8. Производная магнитного поля в рабочей области второго квадранта /верхний луч/ и четвертого квадранта /нижний луч/. Развертка запускается в момент начала инжекции. Длительность развертки - 8,5 мсек.

Определение малых азимутальных искажений магнитного поля производилось путем измерения конфигурации равновесной орбиты. Эти опыты проводились в динамическом магнитном поле при выключенном высокочастотном напряжении. Схема опыта показана на рис. 9. Мишень № 7 располагалась у внутреннего края рабочей области. Она представляла собой пластинку размером 250 мм по высоте и 200 мм по радиусу, покрытую вольфрамом кальция. Поверхность

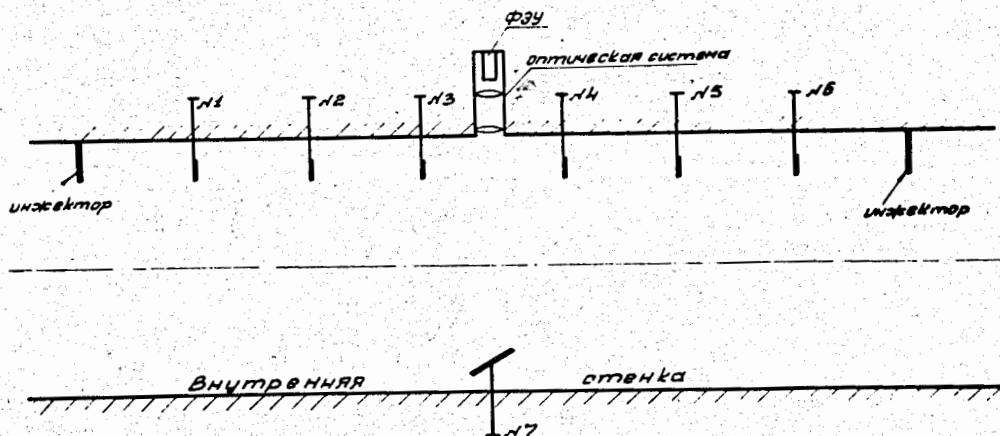


Рис. 9. Схема расположения измерительных устройств для определения азимутальных искажений мгновенной равновесной орбиты.

мишени находилась в поле зрения оптической системы, которая собирала на фотокатод умножителя свет, возникающий под действием частиц, свернувших к внутреннему краю рабочей области. Если со стороны наружной стенки последовательно вводить заслонки, расположенные на разных азимутах и фиксировать по исчезновению сигнала с фотоумножителя их положения, при которых на мишень № 7 перестают попадать частицы, то эти точки лягут на кривую, форма которой будет подобна форме равновесной орбиты. Расчет показывает, что наилучшее совпадение с истинной формой равновесной орбиты получается в тех случаях, когда в камеру инжектируются только те частицы, мгновенная орбита которых проходит через инжектор. Однако и при наличии у инжектируемых частиц распределения по амплитудам радиальных колебаний точность измерения формы равновесной орбиты, исключая азимуты, близкие к азимуту инжектора, не хуже чем $\pm 1,5 \text{ см}^{\text{x/}}$.

В наших опытах момент начала инжекции сдвигался в сторону малых полей. Это приводило к уменьшению амплитуды радиальных колебаний, а также исключало прямое попадание на мишень № 7 частиц, вышедших из инжектора.

На рис. 10 показана снятая таким образом форма равновесной орбиты при наличии замыканий в магнитопроводе основного магнита. Искажения равновесной орбиты вызываются также влиянием рассеянного поля поворотных магнитов и линз, формирующих пучок частиц, вводимый в синхрофазотрон, а также

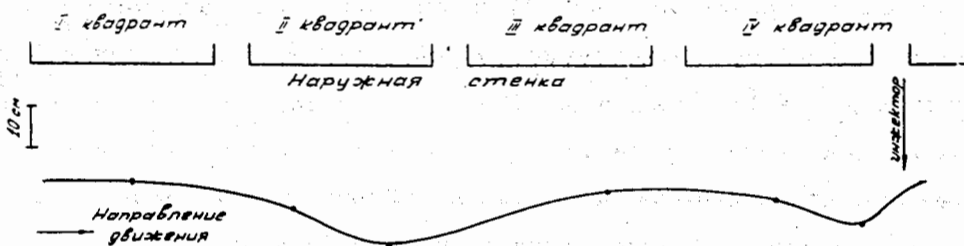


Рис. 10. Форма равновесной орбиты при наличии замыканий в ярме магнита.

^{x/} Этот расчет был проделан Н.Б.Рубиным.

выведенные пучки, если эти устройства расположены вблизи прямолинейных промежутков.

На рис. 11 кривая 1 представляет собой равновесную орбиту, снятую при включенном поворотно-фокусирующем магните на участке ввода³. Орбита снята после того, как была предпринята экранировка рассеянного поля этого

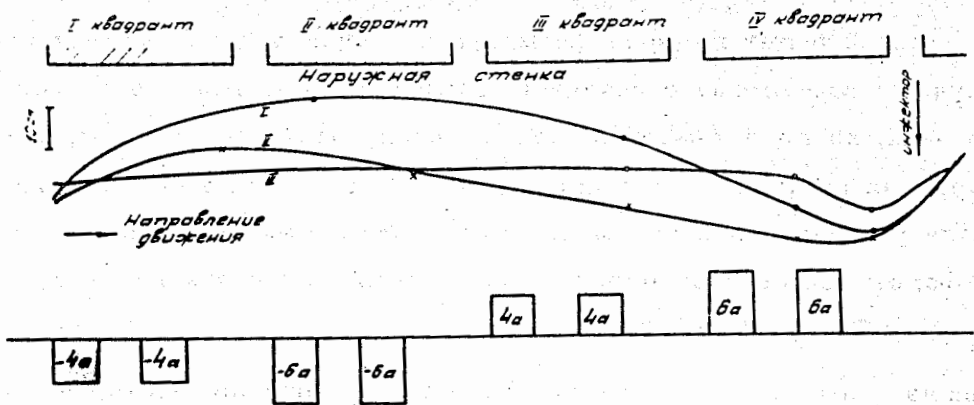


Рис. 11. Компенсация первой гармоники азимутальной асимметрии.

магнита. Эта орбита содержит первую гармонику искажений. Для компенсации первой и второй гармоник азимутальной асимметрии на верхней и нижней стенках вакуумной камеры синхрофазотрона предусмотрены обмотки⁵. Изменяя соотношение токов в них, можно изменять амплитуду и фазу компенсирующего магнитного поля. Кривая 3 рис. 11 показывает, как видоизменилась орбита при включении обмоток компенсации первой гармоники азимутальной асимметрии. Ток в обмотках I и III квадрантов составляет $4a$, ток в обмотках II и IV квадрантов - $6a$. Распределение токов показано на том же рисунке. Из кривой 3 видно, что, несмотря на экранировку рассеянного поля поворотного магнита, все еще имеется местное искажение в районе инжектора. Для компенсации этого искажения на вводимом прямолинейном промежутке были положены дополнительно по 185 витков сверху и снизу медианной плоскости магнита. Кроме того было навито по 6 витков вокруг верхнего и нижнего полюсов на трех крайних полюсных башмаках IV сектора. Из рис. 12 видно действие на орбиту этих обмоток. Полярность включения токов такова, что местное поле

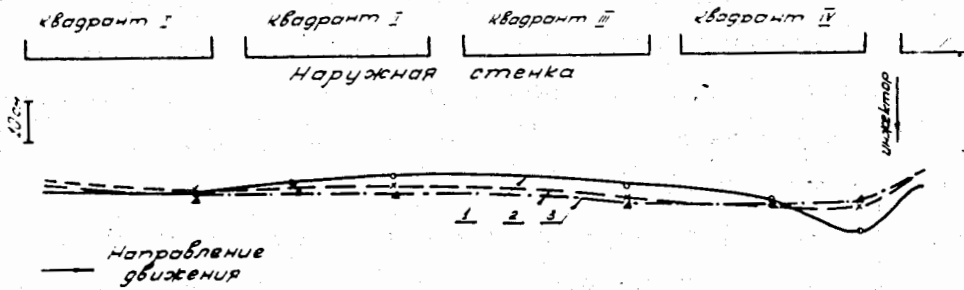


Рис. 12. Компенсация местного искажения магнитного поля в районе вводного прямолинейного промежутка.

возрастает. Кривая 1 снята при включении обмотки компенсации первой гармоники азимутальной асимметрии. При включении тока I_a в обмотку на прямолинейном промежутке местное искажение уменьшается /кривая 2/, а при включении тока I_a в обмотку, расположенную в конце IY сектора, оно сводится к минимуму /кривая 3/.

3. Изучение движения частиц в вертикальном направлении

В синхрофазотроне ОИЯИ область, доступная для движения частиц в вертикальном направлении в 4 раза меньше, чем в радиальном. Было проведено детальное исследование движения частиц по вертикали, позволившее свести к минимуму вертикальный размер пучка при его сворачивании от инжектора к центральной орбите. Поскольку в ускорителе с разрезным магнитом искажения средней магнитной плоскости /плоскость, где $H_z = 0$ / приводят к значительному увеличению вертикальных размеров пучка, то была тщательно измерена форма средней плоскости вертикальных колебаний. Схема измерительного устройства для этих целей показана на рис. 13. В камеру синхрофазотрона со стороны внутренней стенки, через вакуумное уплотнение вводился плексигласовый световод, укрепленный внутри трубы из нержавеющей стали. К концу световода, помещенному в камеру, прикреплялся зонд из пластического сцинтиллятора.

Конец световода был плавно изогнут, что давало возможность изменять положение сцинтиллятора по высоте путем вращения световода вокруг его горизонтальной оси. На противоположном конце был укреплен фотоумножитель, экранированный от действия рассеянного магнитного поля с помощью многослойного цилиндрического экрана из стали 3^4 . Свет люминесценции, возникающий при попадании частиц на сцинтилляционный зонд, передается по световоду на фотокатод умножителя ФЭУ-19. Чтобы исключить фон от посторонних засветок в камере синхрофазотрона, конец световода, выступающий из трубы, был закрыт фольгой. Сцинтилляционный зонд также был обернут в алюминиевую фольгу толщиной 20 микрон. Измерительное устройство могло перемещаться в радиальном направлении. Положение сцинтиллятора точно отсчитывалось относительно центральной орбиты и относительно средней геометрической плоскости магнита. Размеры сцинтилляционного зонда в мм указаны на рис. 13.

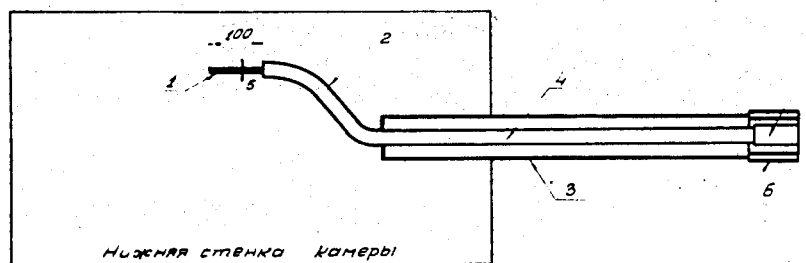


Рис. 13. Схема устройства для измерения искажений средней плоскости вертикальных колебаний. 1 - сцинтилляционный зонд, 2 - защитная фольга, 3 - труба, 4 - световод, 5 - фотоумножитель, 6 - магнитный экран.

При заданном положении зонда по вертикали на него попадают инжектируемые частицы, амплитуда вертикальных колебаний у которых больше или равна расстоянию от средней плоскости вертикальных колебаний до зонда. Сигнал с фотоумножителя, пропорциональный числу частиц, попавших на сцинтиллятор, регистрировался осциллографом.

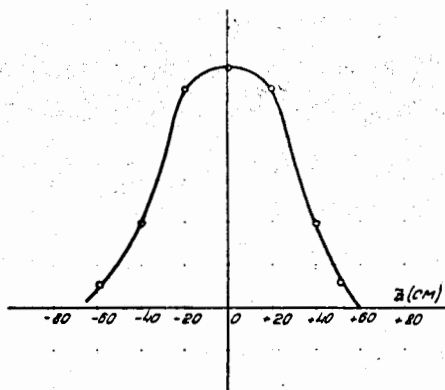


Рис. 14.

На рис. 14 показана типичная кривая зависимости величины сигнала с фотомножителя от вертикального положения зонда. Видно, что кривая симметрична, центр симметрии совпадает со средней поверхностью вертикальных колебаний. Для увеличения точности измерений вертикальный размер пучка ограничивался с помощью диафрагм высотой 3 мм, установленных на выходе поворотного магнита и на выходе отклоняющих пластин. Подобные измерения, проведенные на различных азимутах, позволили определить форму средней поверхности вертикальных колебаний на центральной орбите синхрофазотрона. Результаты измерений приведены на рис. 15. Поскольку искажения средней плоскости вертикальных колебаний не превышают ± 1 см, компенсация искажений средней магнитной плоскости не применяется.

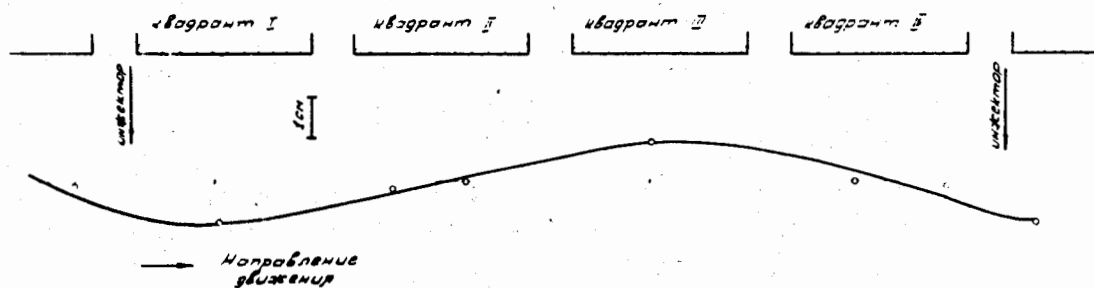


Рис. 15. Форма средней поверхности вертикальных колебаний на центральной орбите синхрофазотрона.

Для получения минимального размера пучка по вертикали был произведен точный подбор оптимального вертикального угла пучка, выходящего из инжектора. С этой целью на выходе поворотного магнита и на выходе направляющих пластин были установлены горизонтальные диафрагмы высотой по 3 мм, вырезающие узкий пучок частиц по вертикали. Путем изменения положения диафрагмы на выходе, пластин изменялся вертикальный угол влета пучка в камеру. В каждом случае с помощью устройства, описанного выше, измерялся вертикальный размер пучка, свернувшегося к внутреннему краю рабочей области магнита. Результаты измерений приведены на рис. 16. Кривая 1 соответствует оптимальному углу влета, который оказался равным $-2'$. С этим направлением было совмещено ядро пучка, выходящего из пластин.

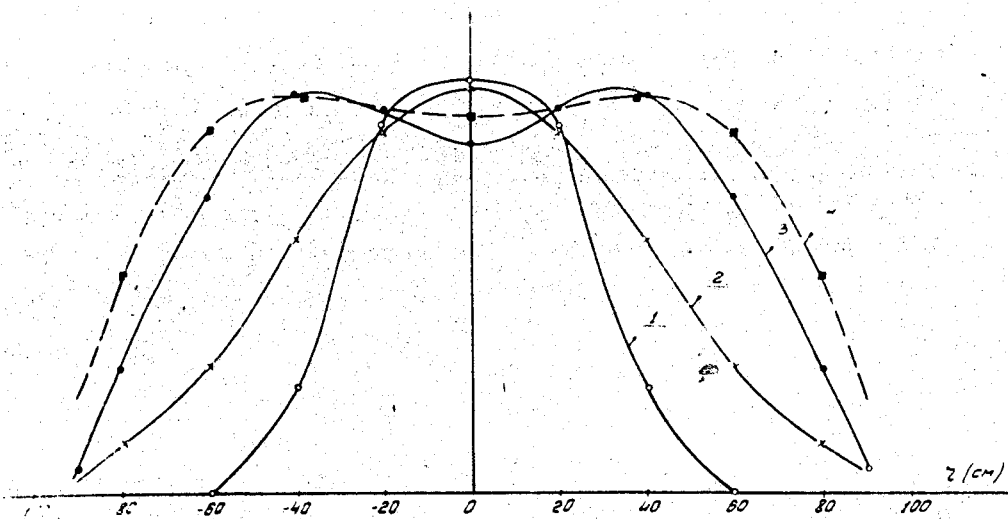


Рис. 16. Изменение вертикального размера пучка при изменении вертикального угла влета частиц. Кривая 1 соответствует оптимальному углу влета. Кривая 2 определена для угла влета, отличающегося от оптимального на $-2'$, кривая 4 - на $-8,5'$ и кривая 3 - на $+5'$.

4. Подбор оптимального местоположения пучка на выходе из поворотных пластин

Для определения оптимального местоположения пучка на выходе из поворотных пластин были произведены исследования условий захвата в первый этап инъекции частиц, выходящих на различном расстоянии от заземленной пластины. Схема опыта изображена на рис. 17. На расстоянии 50 см от края поворотных

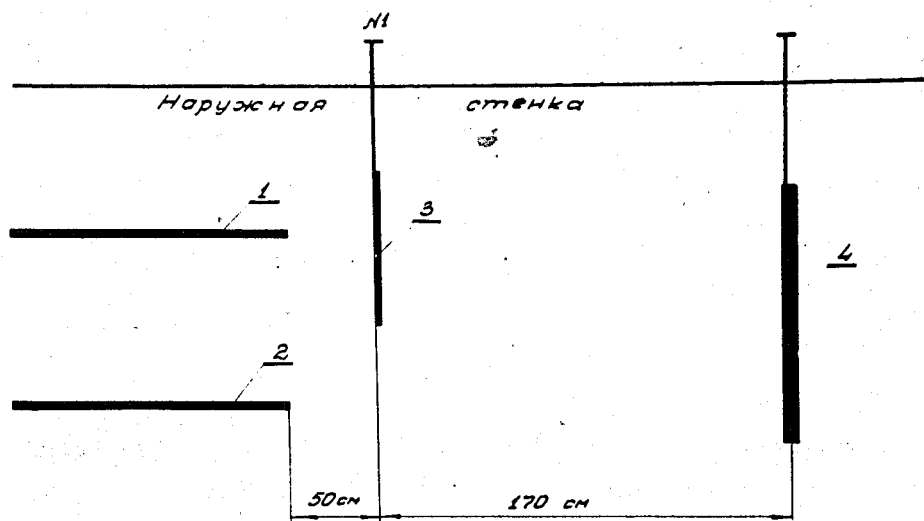


Рис. 17. Расположение измерительных устройств при подборе оптимального местоположения пучка на выходе из поворотных пластин. 1 - высоковольтная пластина; 2 - заземленная пластина; 3 - заслонка; 4 - измерительное устройство.

пластин на пути пучка располагалась мишень № 1, вводимая со стороны высоковольтной пластины, выполненная в виде заслонки размером $12 \times 12 \text{ см}^2$. С помощью этого устройства перекрывалась часть пучка, выходящего из пластин. Частицы, миновавшие эту мишень, с определенной эффективностью, зависящей от положения относительно заземленной пластины, захватываются в первый этап инъекции. Производилось измерение числа частиц, достигших внутреннего края рабочей области магнита, в зависимости от положения мишени №1 относительно заземленной пластины. Было установлено, что в режим инъекции захватываются только те частицы, которые выходят не дальше, чем на расстоянии 3 см от заземленной пластины.

На основании этих измерений была произведена тонкая настройка инжекционной оптики и поворотных-отклоняющих устройств таким образом, чтобы в первый этап инъекции захватывалось максимальное число частиц. Для этого мишень № 1 была установлена на расстоянии 3 см от заземленной пластины. Часть пучка, проходящая между заземленной пластиной и мишенью № 1, направлялась на устройство, измеряющее суммарный заряд попавших на него частиц⁶. Параметры инжекционной оптики и поворотных-отклоняющих устройств регулировались таким образом, чтобы на измерительное устройство попадало максимальное число частиц. Затем измерительное устройство и мишень № 1 были удалены с пути пучка, и дальнейшая настройка параметров инжекционной оптики велась по величине и форме импульса с мишени, расположенной у внутреннего края рабочей области магнита.

5. Определение коэффициента захвата на первом этапе инъекции

В результате подбора оптимальных условий инъекции форма импульса от частиц, дошедших в растущем магнитном поле до внутреннего края рабочей области, существенно изменилась /рис. 18/. Осциллограмма импульса с внутренней мишени, полученная до подбора оптимальных условий инъекции, приведена

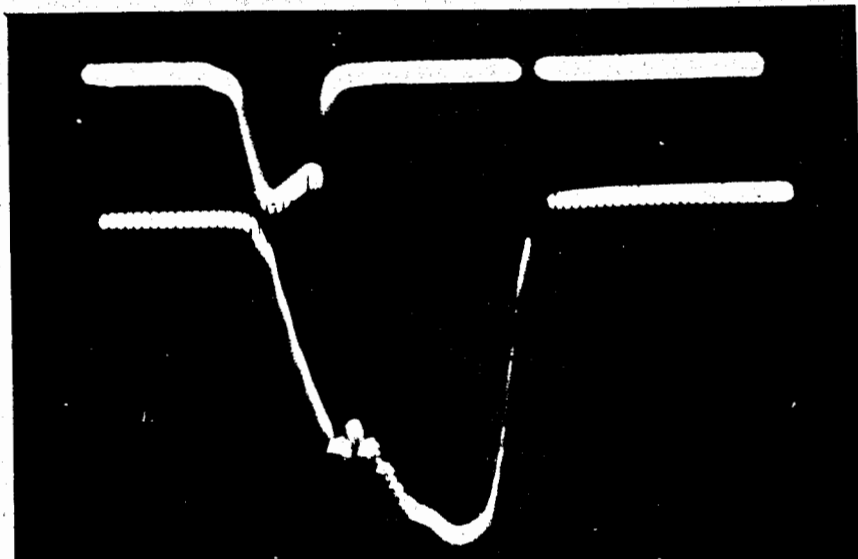


Рис. 18. Верхний луч: импульс тока частиц, инжектируемых в камеру.
Нижний луч: импульс частиц, свернувшихся к внутреннему краю рабочей области при оптимальной настройке режима инъекции.
Скорость развертки: 4,5 см/мсек.

на рис. 5. Сопоставление этих осциллограмм указывает на значительное увеличение длительности импульса с внутренней мишени. Это означает, что на первом этапе инжекции возрос захват частиц. Увеличился также вклад от частиц с малыми амплитудами радиальных колебаний /соответствующих заднему фронту импульса/. Таким образом, в результате настройки первого этапа инжекции были созданы благоприятные условия для ускорения пучка. Коэффициент захвата на первом этапе инжекции определяется как отношение числа частиц, свернувшихся в растущем магнитном поле к внутреннему краю рабочей области, к числу частиц, впущенных в камеру в течение периода инжекции. После подбора оптимальных условий режима инжекции этот коэффициент был измерен. Измерения производились с помощью устройства, регистрирующего суммарный заряд пучка, попавшего на коллектор, с точностью до 10% ⁶. Схема расположения таких устройств при измерении коэффициента захвата дана на рис. 19. Устройство №1 помещалось вблизи выхода из отклоняющих пластин таким образом, что инжектируемый пучок полностью попадал на его коллектор. Другое подобное устройство /№ 2/ помещалось на внутреннем краю рабочей области. Частицы, захваченные на первом этапе инжекции, сворачиваются в растущем магнитном поле к центру магнита и попадают на коллектор устройства № 2. На рис. 20 показан

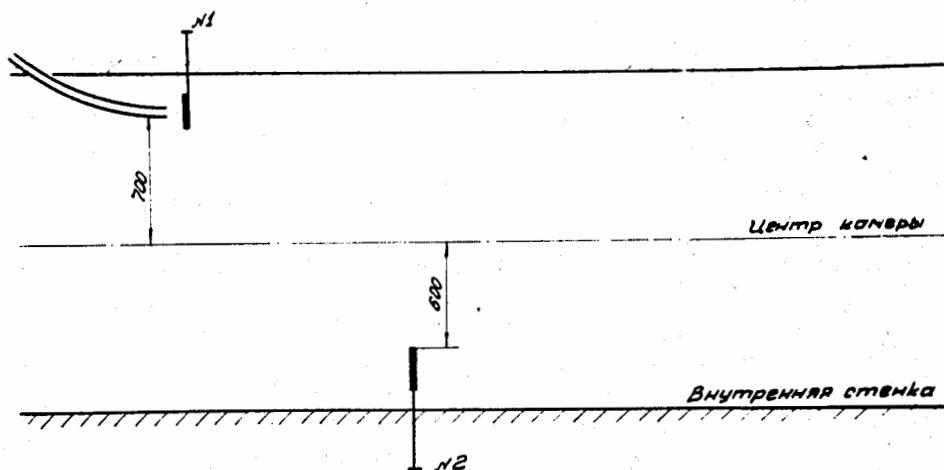


Рис. 19 Расположение измерительных устройств при определении коэффициента захвата на первом этапе инжекции.

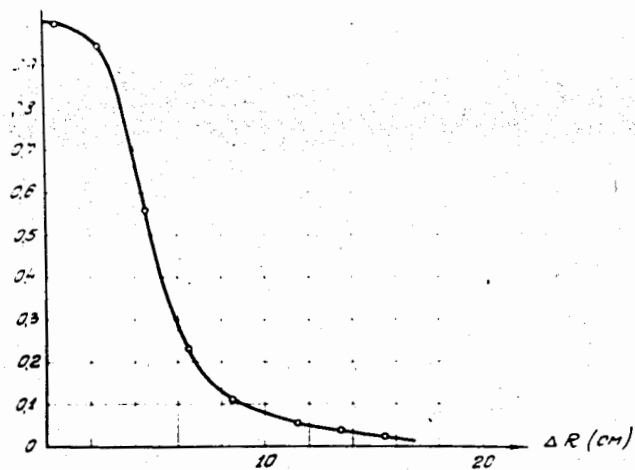


Рис. 20. Распределение частиц, свернувшихся на коллектор измерительного устройства № 2 в направлении радиуса.

спад интенсивности частиц, попавших на коллектор № 2, в направлении радиуса, измеренный с помощью фотопластинки. Радиальный размер коллектора составлял 250 мм, так что на него попадал весь сворачивающийся пучок. Коэффициент захвата на первом этапе инжекции определялся как отношение заряда, измеренного устройством № 2 к заряду, измеренному устройством № 1. При оптимальной настройке режима инжекции он составлял 30%.

Авторы выражают глубокую благодарность академику В.И.Векслеру и проф. В.А.Петухову за полезные обсуждения и советы, а также всем сотрудникам, принимавшим участие в работах по запуску синхрофазотрона.

Л и т е р а т у р а

1. М.С.Рабинович. Труды ФИАН СССР, т.Х, 23, 1958.
2. В.И.Векслер, А.А.Коломенский, В.А.Петухов, М.С.Рабинович. Приложение № 4 к журналу "Атомная энергия", 5, 1957г.
3. С.К.Есин, Л.П.Зиновьев, К.П.Мызников, В.П.Саранцев. Препринт ОИЯИ, 555.
4. Л.П.Зиновьев, И.Б.Иссинский, К.П.Мызников. Препринт ОИЯИ, 557.
5. А.А.Журавлев, Е.Г.Комар, И.А.Мозалевский, Н.А.Моносзон, А.М.Столлов. Приложение № 4 к журналу "Атомная энергия", 15,1957.
6. Л.П.Зиновьев, И.Б.Иссинский, К.П.Мызников, Препринт ОИЯИ, 556,1960.