

препринт

Будкер Г.И., Киселев А.В., Коньков Н.Г.,  
Наумов А.А., Нифонтов В.И., Острейко Г.Н.,  
Панасюк В.С., Петров В.В., Юдин Л.И., Яснов Г.И.

**Запуск синхротрона Б-3М инжектора  
для позитрон-электронного накопителя**

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АН СССР

Будкер Г.И., Киселев А.В., Коньков Н.Г., Наумов А.А.,  
Нифонтов В.И., Острейко Г.Н., Панасюк В.С., Петров В.В.  
Юдин Л.И., Яснов Г.И.

ЗАПУСК СИНХРОТРОНА Б-ЭМ - ИНЖЕКТОРА  
ДЛЯ ПОЗИТРОН-ЭЛЕКТРОННОГО НАКОПИТЕЛЯ

(Доклад, представленный на Междуна-  
родную конференцию по ускорителям,  
Фраскати, Италия )

г.Новосибирск  
1965

### А н н о т а ц и я

Описывается конструкция и работа синхротрона Б-ЭМ, являющегося инжектором для накопителя встречных позитрон-электронных пучков. В настоящее время синхротрон работает в режиме  $E = 100 \pm 130$  Мэв, ток ускоренных электронов до 100 ма ( $1,6 \cdot 10^{10}$  электронов в импульсе).

В /1-2-3/ сообщалось, что инжектором для накопителя встречных позитрон-электронных пучков ВЭПП-2 является импульсный синхротрон Б-ЭМ.

Работы по наладке и использованию ускорителя разделены на два этапа. На первом этапе проводилась детальная проверка и настройка элементов ускорителя в режиме малых токов, когда действием объёмного заряда можно пренебречь. При этом параметры пучка удовлетворяют требованиям для проведения первых опытов по накоплению электронов и позитронов на кольце ВЭПП-2.

На втором этапе предусматривается исследование возможности получения больших кольцевых токов в ускорителе и накопление предельных электронных и позитронных токов на накопителе.

В настоящем докладе приводятся краткие сведения о конструкции, схеме и результатах настройки синхротрона Б-ЭМ на первом этапе.

### Конструкция и работа синхротрона

Электромагнит ускорителя - кольцевой ( $R \approx 1\text{м}$ ), С - образный, с четырьмя прямолинейными промежутками по 40см каждый, работает в импульсном режиме. Сечение электромагнита показано на рис.1. Магнитное поле в рабочей области формируется как наклоном полюсов, так и соответствующим профилем прямой и обратной шин (1-2), обеспечивающими показателем спада магнитного поля  $\lambda = 0,6$ .

Поскольку за внутренней поверхностью шин магнитное поле спадает на длине порядка толщины скин-слоя, значительно облегчается задача впуска и выпуска электронов.

Характерной особенностью конструкции является также то об-

стоятельство, что электромагнит и вакуумная камера представляют собой единое целое. Токонесущие шины играют роль вертикальных стенок вакуумной камеры. Кришки (4) сделаны из оргстекла. Рабочий вакуум в камере  $2 \pm 3 \cdot 10^{-6}$  торр.

Для окончательной корректировки показателя спада магнитного поля и положения орбиты по радиусу и высоте на крышках вакуумной камеры укреплены витки (5). Для этих же целей часть блоков магнита охвачена вспомогательными шинами. На рис.2 показаны кривые равных значений показателя спада магнитного поля без коррекции.

Полная апертура составляет 120мм по радиусу и 85мм по высоте. Системы впуска и выпуска уменьшают радиальный размер камеры в медленной плоскости на 30мм. Камера рассчитана на магнитное поле напряженностью порядка 12 килоэрстед при токе через шины порядка 150ка и частота повторения до 12,5раз в секунду.

Возбуждение электромагнита осуществляется системой питания, обеспечивающей получение однополярных импульсов тока синусоидальной формы длительностью  $1,5 \cdot 10^{-3}$  секунды<sup>х)</sup> и вспомогательным генератором, создающим квазипостоянное поле при инжекции.

Плавное нарастание скорости изменения магнитного поля при переходе от инжекции к режиму ускорения осуществляется с помощью насыщающихся дросселей, включенных последовательно с электромагнитом.

После окончания рабочего импульса в магните имеется остаточная индукция, величина которой зависит от режима работы и может достигать 3гс. В связи с тем, что распределение по радиусу постоянного остаточ-

х) Первоначально длительность импульса тока была  $1 \cdot 10^{-3}$  сек.

ного поля существенно отличается от распределения импульсного поля, после каждого рабочего импульса тока система размагничивается однополярным импульсом, амплитуда которого зависит от величины рабочего импульса. Таким образом, в течение одного цикла ускорения через шины электромагнита проходят импульсы тока, показанные на рис.3 (масштаб не выдержан)

Инжектором для Б-3М является высокоточный импульсный линейный ускоритель ИЛУ /4/, представляющий собой четвертьволновый резонатор. Резонансный контур образуется спиралью с насадкой на конце, помещенными в металлический бак. В насадке расположена электронная пушка, включающаяся на один полупериод колебаний резонатора. На первом этапе использовался инжектор, обеспечивающий энергию электронов  $1 \pm 1,5$  Мэв при длительности импульса  $\tau \approx 7$ нсек и энергетическом разбросе  $\pm 0,5\%$ .

От инжектора до синхротрона пучок идет по каналу, в котором расположены система контроля положения пучка, фокусирующие линзы и корректирующие катушки, а также монохроматор - электронный затвор. В нем частицы отклоняются за пределы впускного канала синхротрона постоянно действующим электрическим полем. Поле снимается с помощью высоковольтного наносекундного импульса на время, необходимое для выделения требуемого спектра энергий частиц. Электронный затвор использовался только при настройке синхротрона.

В синхротроне принята однооборотная инжекция. Электроны впускаются в момент времени, когда равновесная орбита находится в середине рабочей области камеры. Через специальный канал в наружной шине пучок попадает в камеру. Однооборотный захват осуществляется с помощью электростатического инфлектора, расположенного в прямолинейном промежутке на расстоянии четверти длины волны радиальных бетатронных коле-

баний от места впуска /5/. Длительность импульса напряжения на инфлекторе  $\sim 25$  нсек. К концу первого оборота напряжение с инфлектора снимается за время около 3 нсек (рис.4).

При проверке системы однооборотной инжекции был получен коэффициент захвата, близкий к единице, для пучка с энергетическим разбросом на входе в ускоритель  $\frac{\Delta E}{E} = \pm 5 \cdot 10^{-3}$  и фазовым объёмом  $10^{-2}$  рад. См

Ускорение в синхротроне происходит на третьей гармонике частоты обращения частиц, выбранной из соображения улучшения синхротронного захвата при принятом радиальном размере ускорительной камеры и уменьшения размеров резонатора.

Для того, чтобы радиус равновесной орбиты в процессе ускорения оставался постоянным, частота ускоряющего напряжения в начале цикла ускорения изменяется от 108,4 до 113,7 Мгц, в соответствии с ростом энергии (рис.5). В конце ускорения пучок смещается к наружной стенке камеры изменением частоты до 109,5 Мгц, после чего производится выпуск. Для обеспечения необходимой равномерности ускоряющего напряжения добротность резонатора  $Q = 12$ .

Сравнительно большая скорость нарастания магнитного поля требует большого ускоряющего в.ч. напряжения на резонаторе синхротрона. Чтобы повысить коэффициент синхротронного захвата и устранить потери в процессе ускорения, введена модуляция амплитуды ускоряющего напряжения в начале цикла ускорения (рис.6).

Были проверены два варианта захвата в синхротронный режим:

1. Включение в.ч. до впуска электронов. При таком режиме в камере ускоряются один или два сгустка, так как впускаемый пучок, вследствие малой длительности, не может заполнить три сепаратриссы.

2. Включение в.ч. через 10-20 мксек после впуска электронов.

За это время первоначально впущенный сгусток распределяется практически равномерно по всей орбите за счёт различия частот обращения электронов с разными энергиями, и при включении в.ч. образуются три сгустка.

В обоих режимах ускорения получены примерно одинаковые максимальные токи ускоренных электронов. Однако второй режим отличается большей стабильностью тока выпущенного пучка, что является существенным при настройке накопителя.

После окончания цикла ускорения осуществляется однооборотный выпуск электронов с помощью дефлектора, на который подаётся импульсное напряжение от генератора высоковольтных наносекундных импульсов. Дефлектор имеет длину 800 мм и расположен вблизи наружной стенки ускорительной камеры. В отличие от инфлектора, здесь для отклонения частиц используются электрическая и магнитная компоненты электромагнитного поля, а сам дефлектор представляет собой короткозамкнутую длинную линию.

Малая длительность цикла ускорения и принятая система инжектора обусловили весьма жесткие требования к импульсной и высокочастотной электронной аппаратуре синхротрона.

В частности, управление пучком при инжекции выполняется с помощью генераторов высоковольтных (до 50кв) наносекундных импульсов, синхронизованных с запускающим импульсом с точностью до одной наносекунды /6/.

Трудности, связанные со стабилизацией импульсных устройств питания электромагнита и ускоряющего напряжения ИЛУ привели к необходимости в цикле инжекции использовать специальное счётно-решающее устройство. Оно открывает электронную пушку ИЛУ в момент времени, когда напряженность магнитного поля на орбите пучка и ускоряющее на-

первой и третьей гармонике циркулирующего тока.

В настоящее время синхротрон Б-3М обеспечивает настройку накопителя ВЭП-2 в режиме:  $E = 100 \pm 130$  Мэв,  $J \approx 100$  ма ( $1,6 \cdot 10^{10}$  электронов в импульсе), частота повторения один раз в секунду (определяется временем затухания колебаний электронов в накопителе); поперечный размер выпущенного пучка  $\Delta Z = 3$  мм,  $\Delta Z = 7$  мм при угловой расходимости  $\Delta \alpha = \pm 1,5 \cdot 10^{-3}$ . Коэффициент выпуска порядка 0,9.

В ближайшее время на установке Б-3М будут поставлены опыты по получению предельных токов при энергии инжекции  $2 \pm 2,5$  Мэв.

Л и т е р а т у р а

1. Будкер Г.И., Наумов А.А. и сотрудники.  
Труды Международной конференции по ускорителям, Дубна, 1963, с.1065, Атомиздат, М., 1964.
2. Будкер Г.И., Наумов А.А. и сотрудники.  
Труды Международной конференции по ускорителям, Дубна, 1963, с. 274, Атомиздат, М., 1964.
3. Будкер Г.И., Наумов А.А. и сотрудники.  
Доклад на Международной конференции по ускорителям, Фраскати, 1965.
4. Гриц Ю.А., Иремашвили Д.В., Наумов А.А., Острейко Г.Н., Панасюк В.С., Пятницкий А.П., Чернов А.А., Юдин Л.И., Яснов Г.И.  
Труды Международной конференции по ускорителям, Дубна, 1963, с.1080, Атомиздат, М., 1964.
5. Гельцель М.Ю., Панфилов А.Д., Панасюк В.С., Соболев С.С., Юдин Л.И. Высоковольтный генератор наносекундных импульсов. ПТЭ (в печати).
6. Егоров А.А., Самохин И.А., Панасюк В.С., Юдин Л.И.  
Прибор для точной синхронизации пусковых импульсов. ПТЭ (в печати).
7. Шорин К.Н., Метальников Ю.Н., Бозин Г.М., Ерёмин Л.В.  
ПТЭ № 4, 25 (1958).

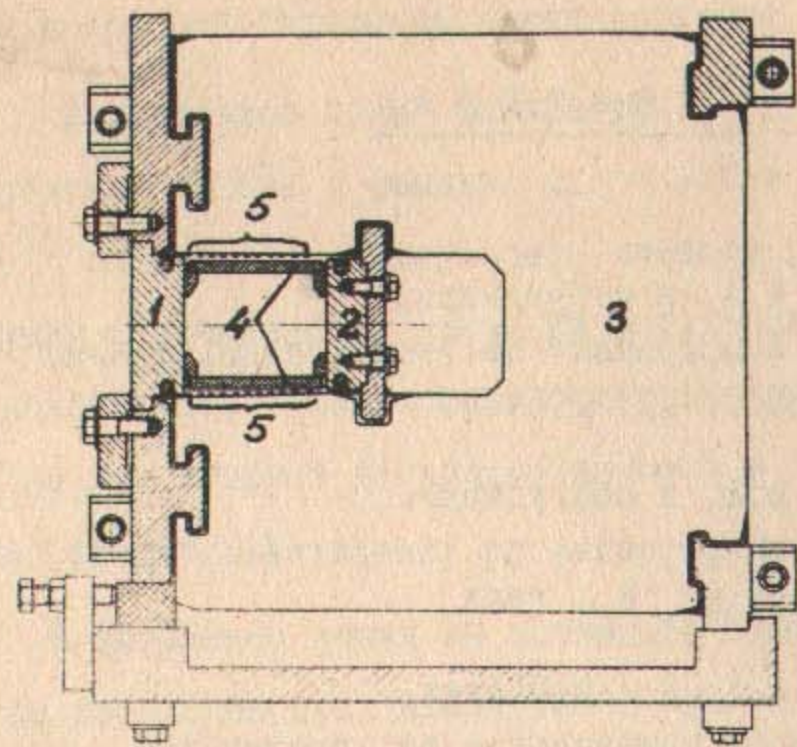


Рис.1. Разрез электромагнита.

- 1 - наружная шина, 2 - внутренняя шина,
- 3 - магнитопровод, 4 - крышки из оргстекла,
- 5 - корректирующие витки.

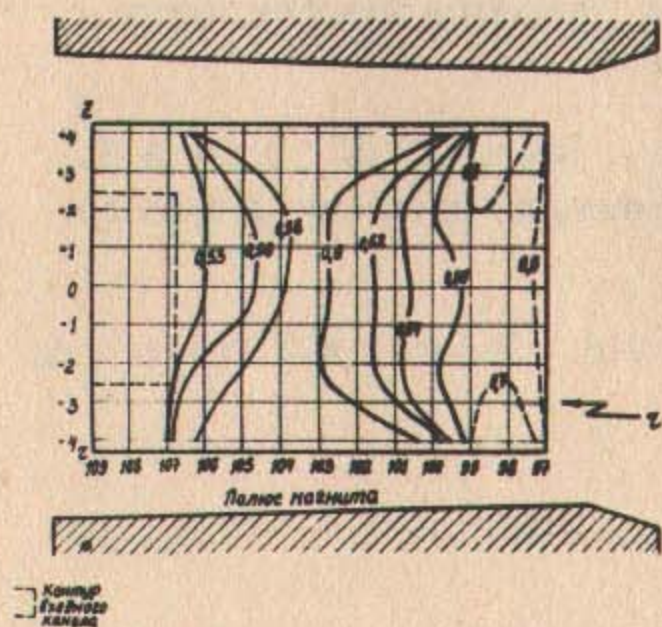


Рис.2. Распределение показателя спада магнитного поля в камере.

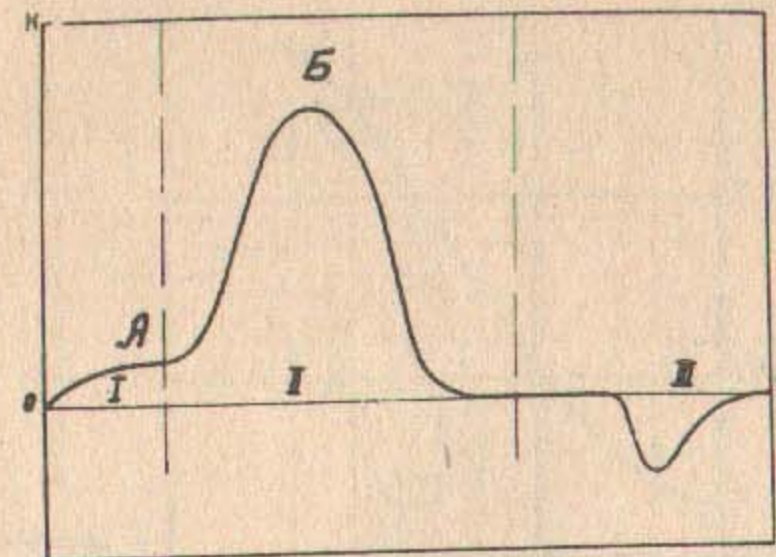


Рис.3. Магнитное поле в Б-3М.

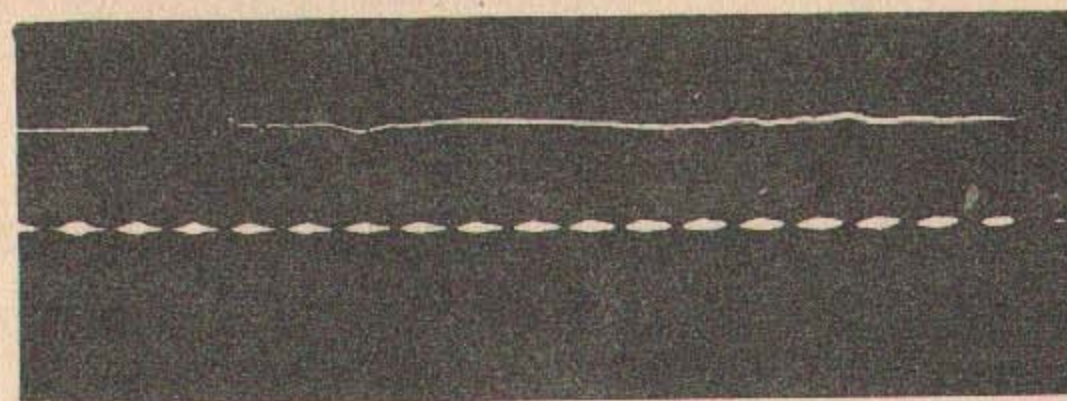


Рис.4. Импульс напряжения на инфлекторе.

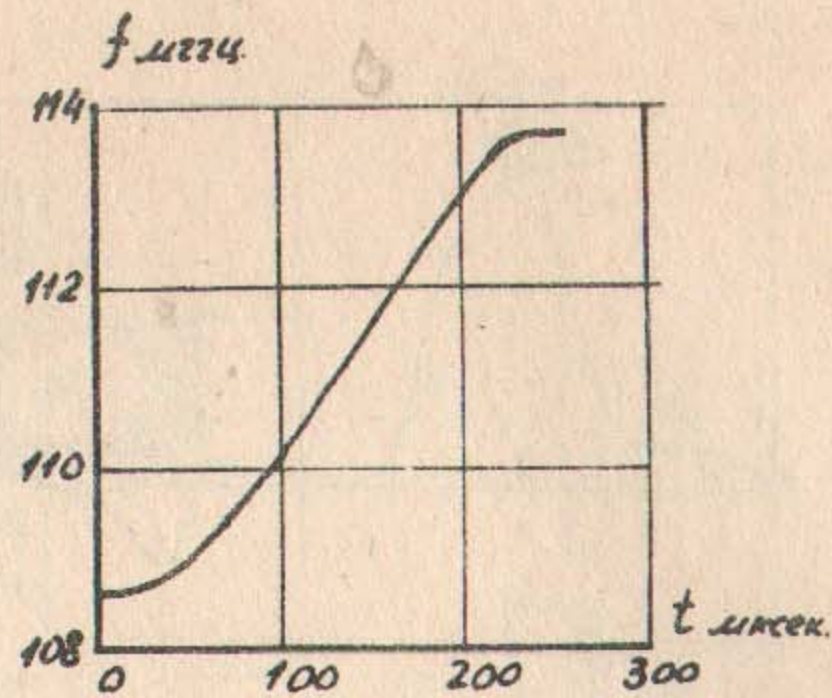


Рис.5. Изменение частоты в начале ускорения.

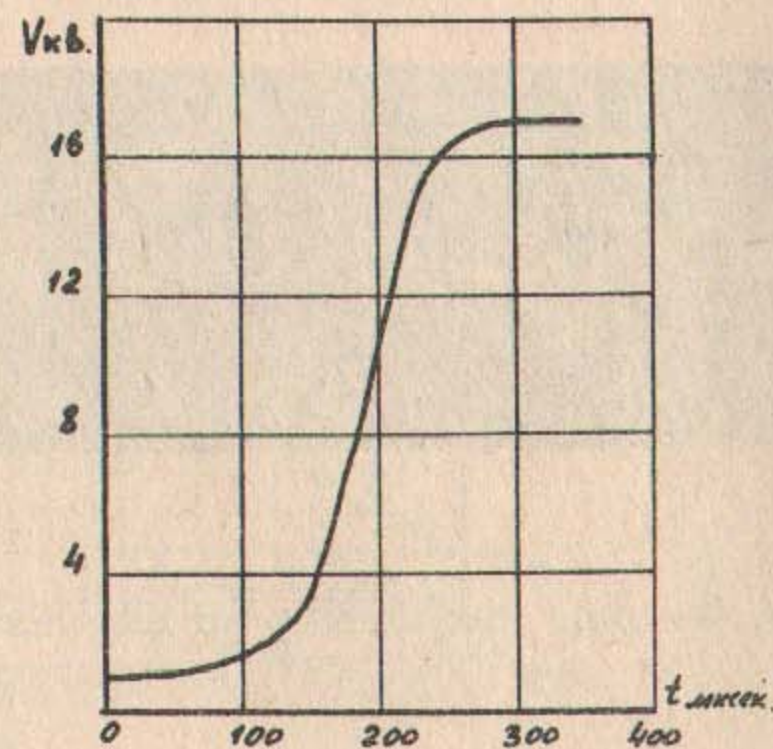


Рис.6. Изменение амплитуды ускоряющего напряжения в начале ускорения.

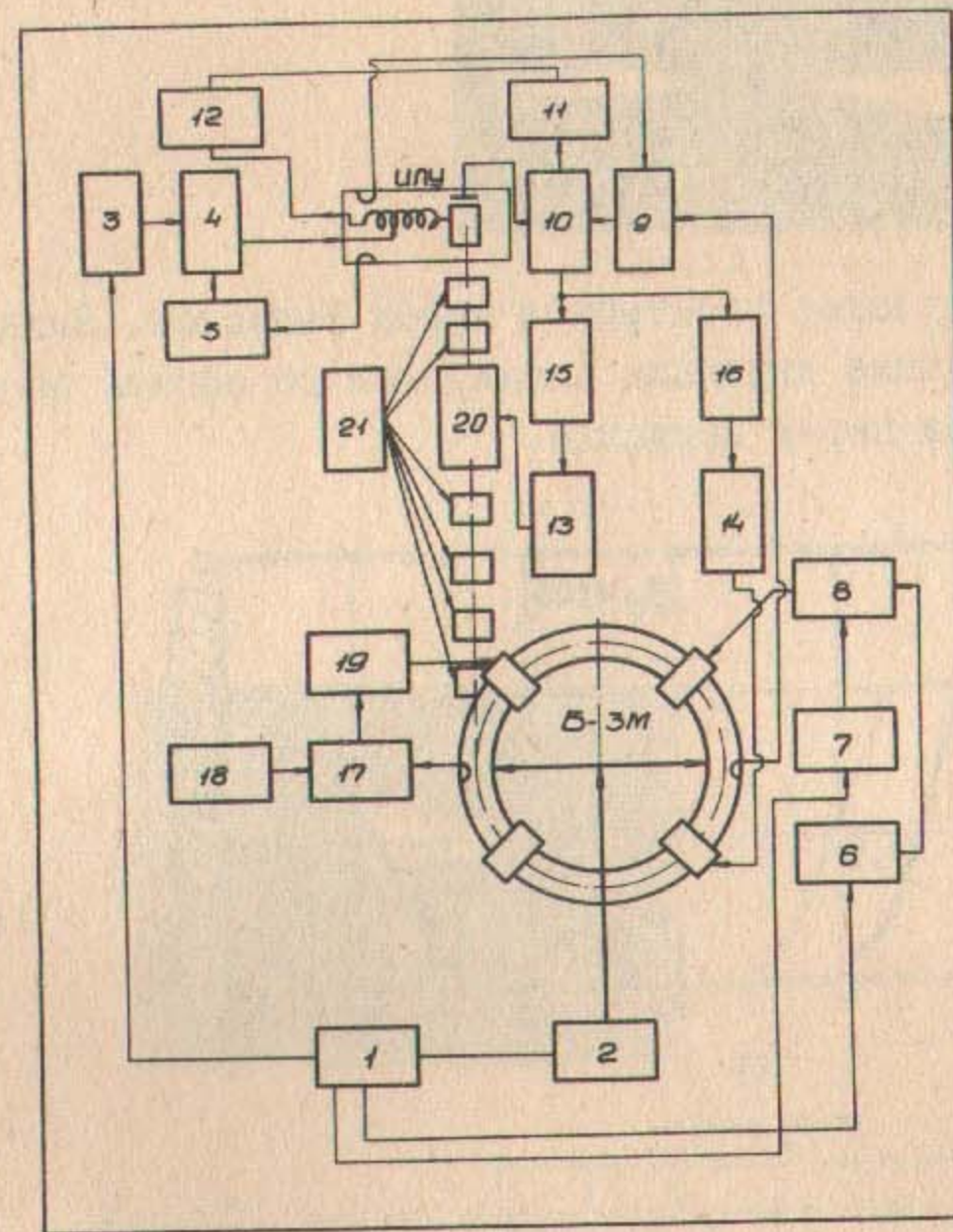


Рис.7. Блок-схема аппаратуры синхротрона Б-3М.

1 - блок пусковых импульсов, 2 - система возбуждения электромагнита, 3 - модулятор в.ч. генератора, 4 - в.ч. генератор ИЛУ, 5 - фазовращатель, 6 - система частотной модуляции в.ч. генератора, 7 - система амплитудной модуляции в.ч. усилителя, 8 - в.ч. усилитель, 9 - счетно-решающее устройство, 10 - блок фиксации фазы, 11 - линия задержки, 12 - генератор импульсов электронного затвора, 14 - генератор импульсов инфлектора, 15, 16 - линия задержки, 17 - блок сравнения напряжений, 18 - опорное напряжение, 19 - генератор импульсов дефлектора, 20 - электронный затвор, 21 - блок питания элементов канала.



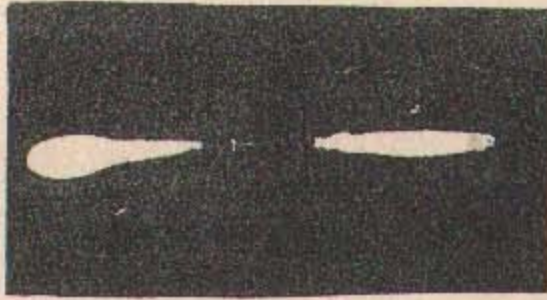


Рис.8. Видимое излучение электронов перед выпуском. Видно ядро, соответствующее движению электронов по орбите постоянного радиуса перед выпуском.

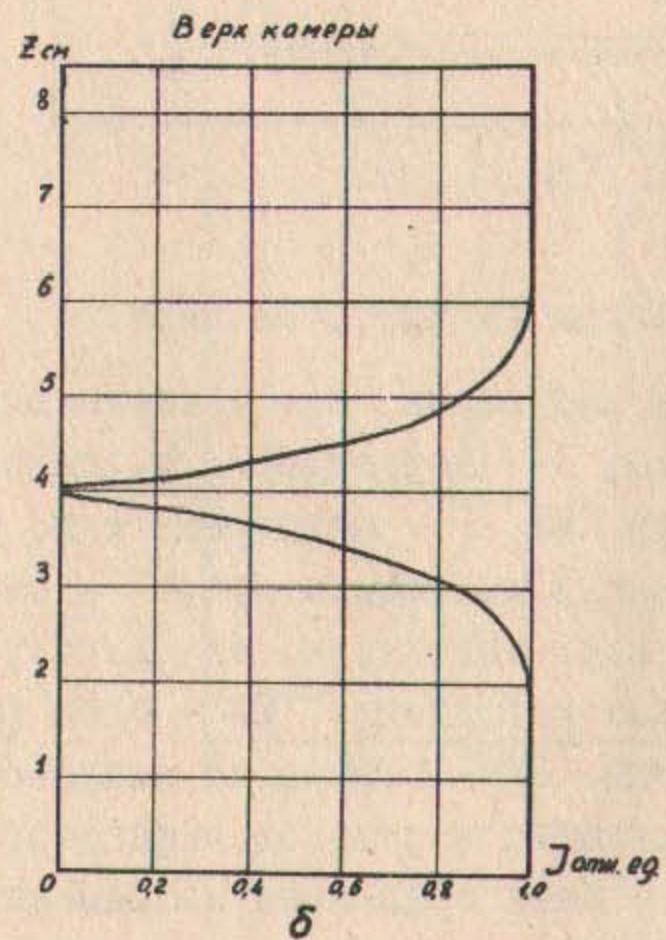
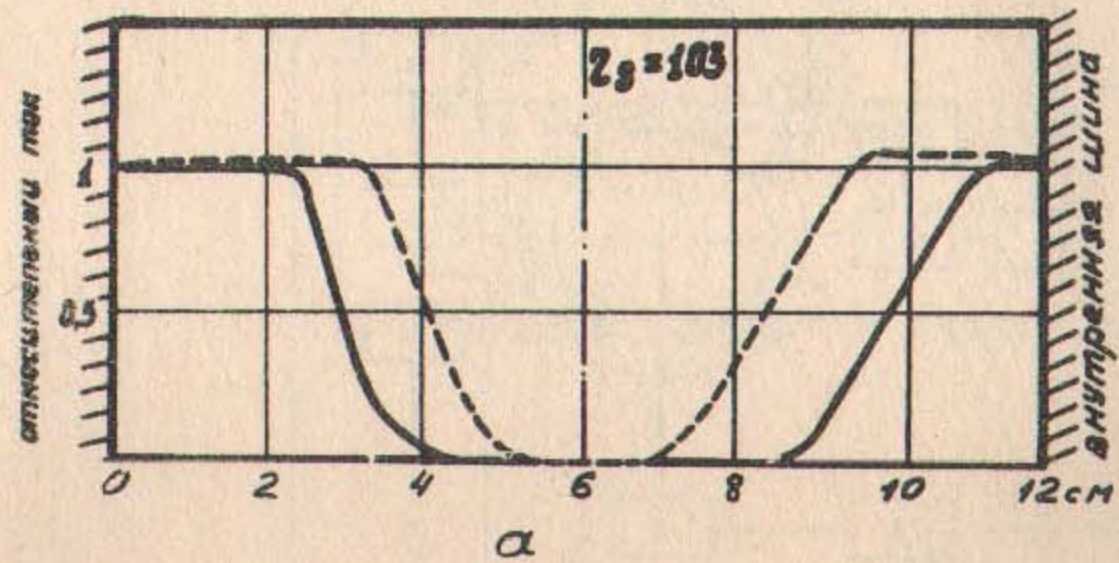


Рис.9. Распределение тока по камере в квазибетатронном режиме.  
а - распределение по радиусу, б - распределение по высоте.

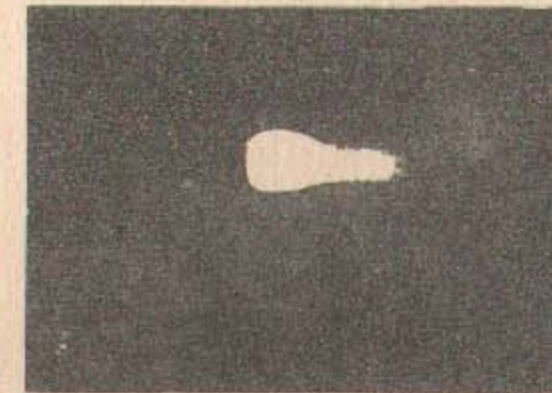


Рис.10. Выпущенный пучок.

Ответственный за выпуск В.В.Петров

Отпечатано на ротапринте в Институте  
ядерной физики СО АН СССР. Тираж 200экз.