

С 345e3

3-125

18/xi-

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

9 - 4749



В.П.Заболотин, Л.П.Зиновьев, И.Б.Иссинский,  
Е.М. Кулакова, С.А. Новиков

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

НАСТРОЙКА СИСТЕМЫ  
БЫСТРОГО РЕЗОНАНСНОГО ВЫВОДА  
ПРОТОННОГО ПУЧКА ИЗ СИНХРОФАЗОТРОНА

1969

9 - 4749

8076/2 чр

В.П.Заболотин, Л.П.Зиновьев, И.Б.Иссянский,  
Е.М. Кулакова, С.А. Новиков

НАСТРОЙКА СИСТЕМЫ  
БЫСТРОГО РЕЗОНАНСНОГО ВЫВОДА  
ПРОТОННОГО ПУЧКА ИЗ СИНХРОФАЗОТРОНА

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И  
ЭНЕРГЕТИКИ  
БИБЛИОТЕКА

При выводе протонного пучка из синхрофазотрона ЛВЭ возмущение, обеспечивающее возбуждение полуполого резонанса  $\nu_x = 1/2$  ( $n \approx 0,79$ ), распространяется на весь поперечный размер циркулирующего пучка и, следовательно, все частицы почти одновременно начинают испытывать рост амплитуд радиальных бетатронных колебаний. Наибольшая разница попадания частиц в зазор септум-магнита составляет около ста оборотов. Такой способ заброса частиц дает возможность осуществить быстрый ( $< 100$  мксек) вывод пучка.

В работах /1-3/ приведены результаты расчета системы быстрого вывода, а также параметры применяемой аппаратуры. В настоящей работе дано описание настройки выводной системы и полученных характеристик пучка.

На рис.1 показана схема расположения аппаратуры вывода и регистрации пучка в районе выводного участка. Резонансные обмотки возбуждения (РО) находятся на полюсах I и II квадрантов ускорителя. Вертикально перемещающийся септум-магнит (М-1) расположен в вакуумной камере в промежутке между II и III квадрантами (рис.2). Исследование пучка в септум-магните в момент заброса осуществлялось с помощью плунжерных мишеней ПМ-1 и ПМ-2, помещенных в окна № 24 и 26 магнита ускорителя.

Мишень для определения формы и интенсивности пучка, получившего отклонение в магните М-1, установлена в окне №33 перед выходом частиц из камеры ускорителя (рис.1).

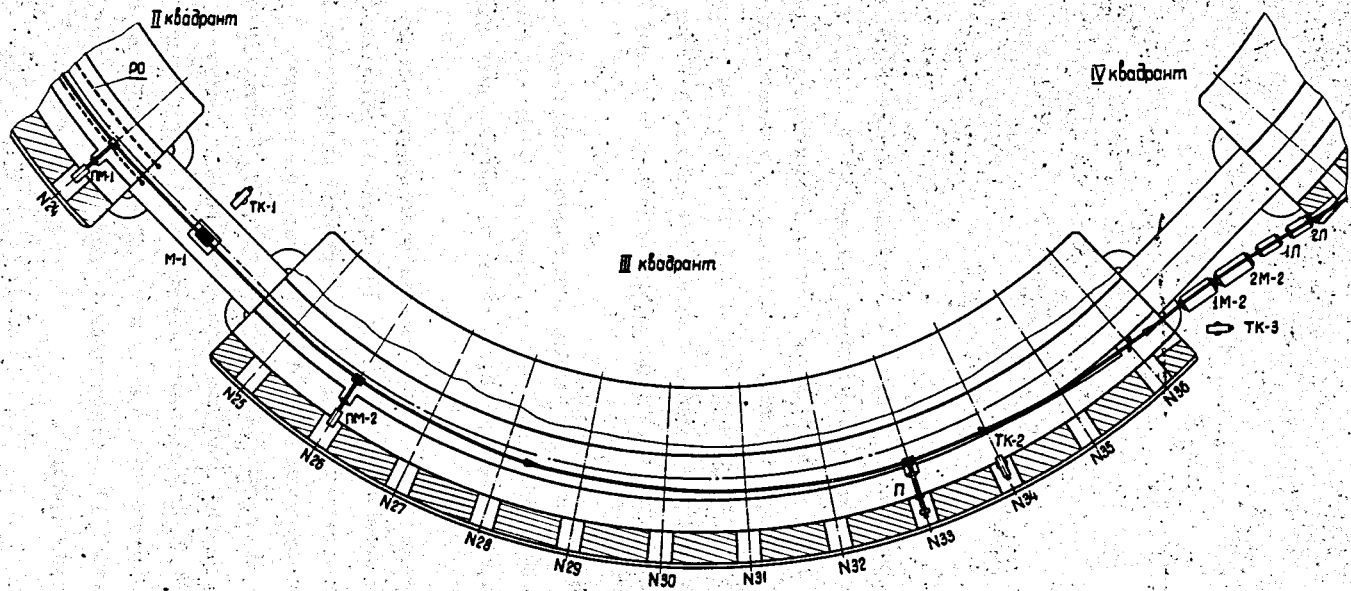


Рис.1. Расположение аппаратуры системы вывода протонного пучка.

Передающие телевизионные камеры для визуального наблюдения за пучком с помощью скинтилляционных экранов размещены в следующих местах:

ТК-1 - в смотровом окне линейного промежутка вакуумной камеры, напротив септум-магнита;

ТК-2 - в окне №34 на выходе пучка из камеры;

ТК-3 - в конце III квадранта после выхода пучка из камеры ускорителя.

Для передачи изображения на пульт зала управления используется многоканальная телевизионная установка ПТУ-102. Определение размеров пучка, получившего резонансную раскачку, или отклоненного за пределы камеры, в большинстве случаев производилось с помощью фотопленок ФТ-31 и ФТ-41 (чувствительность 8 и 0,5 единиц по ГОСТ, соответственно). Облучение производилось, как правило, 10-12 импульсами. Для измерения распределения интенсивности пучка по сечению использовалась ядерная фотоэмульсия.

Для выбора размеров зазора септум-магнита и его положения по радиусу при оптимальном токе в обмотках возбуждения резонанса перед общей наладкой системы были проведены предварительные эксперименты. Найдено, что наиболее выгодно располагать край магнита в 20 - 22 см от центральной орбиты. Наибольший заброс ( $> 10$  см) при индукции в ускорителе 1,26 тл был получен при токе в резонансных обмотках  $340 \text{ а}^{1/2}$ .

Кроме указанных экспериментов, исследовалось влияние на резонансный заброс начального положения циркулирующего пучка по радиусу. При этих измерениях сигнальные электроды, с помощью которых производится индикация ускоряемого пучка, дополнительно калибровались путем его поочередного наведения на две мишени, расположенные по азимуту вблизи сигнальных электродов (электроды и септум-магнит находятся на одном азимуте - в III прямолинейном промежутке). Эксперименты показали, что допустимое отклонение циркулирующего пучка от центрального радиуса  $R_0$  ускорителя в момент сброса составляет  $\pm 1$  см.

Влияние коррекции  $n$  на поведение пучка при резонансе исследовалось при включении схемы расширения рабочей зоны на больших индукци-

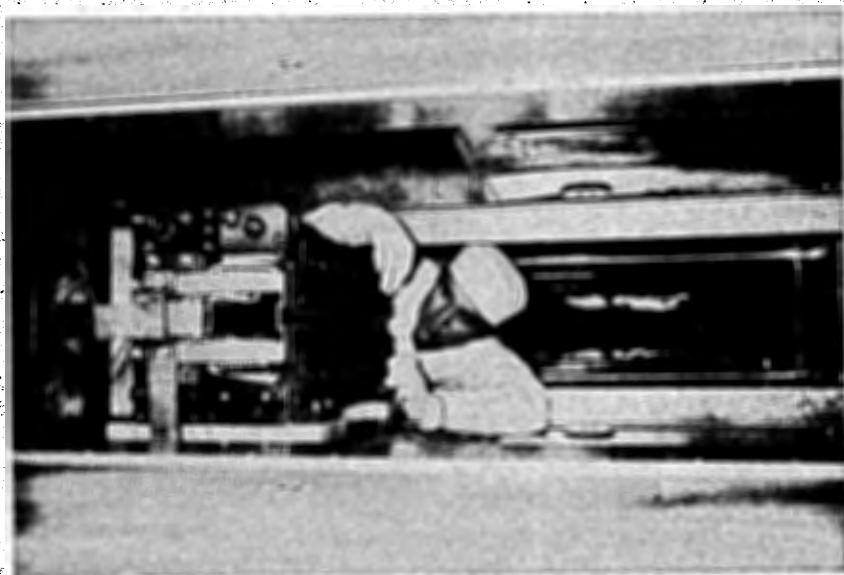


Рис.2. Септум-магнит в камере синхрофазотрона

ях (т.н. схемы ИВЗ), которая уменьшает  $n$  по всему периметру ускорителя в области +40 см от центральной орбиты и увеличивает его в области - 40 см. Найдено, что при расположении края мишени на расстоянии +20 см от центрального радиуса ускорителя влияние коррекции  $n$  незначительно. Глубина заброса без коррекции и при ее включении получается приблизительно одинаковой (рис.3а и б, соответственно).

С удалением мишени от  $R_0$  на +30 см глубина заброса при этих двух режимах становится различной - в отсутствие коррекции растет (рис. 4а), при ее включении - резко падает (рис.4б). Это объясняется тем, что увеличение  $n$  на радиусе, превышающем 30 см, способствует дальнейшему росту амплитуд радиальных колебаний, в то время как введение коррекции вносит ограничение, поскольку резонансная область остается в этом случае лежащей по радиусу в пределах возмущения, вносимого с помощью резонансных проводников. Вследствие незначительного влияния коррекции на характер заброса при  $R_0 + 20$  см, включение схемы ИВЗ при работе с выведенным пучком, как правило, не производится.

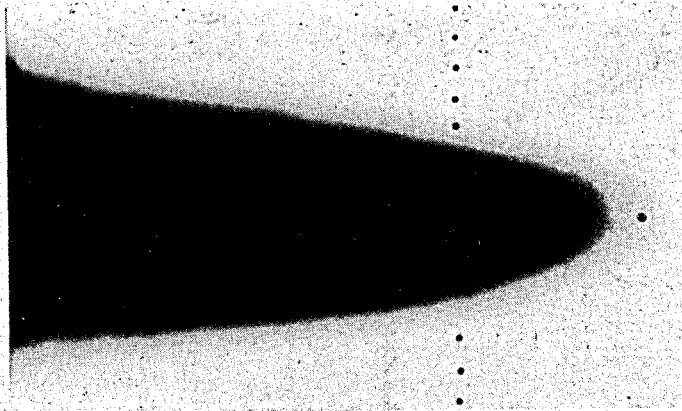


Рис.3а. Заброс пучка на фотопленку, расположенную на  $R_0 + 20$  см при выключенной коррекции  $\mu$  (расстояние между маркировочными метками - 5 мм)

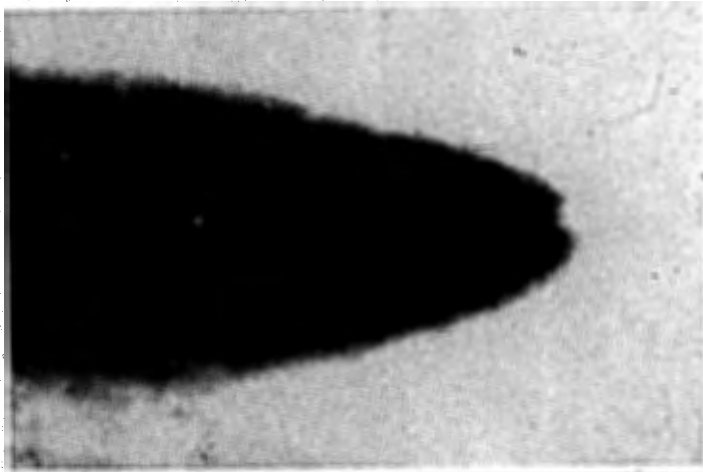
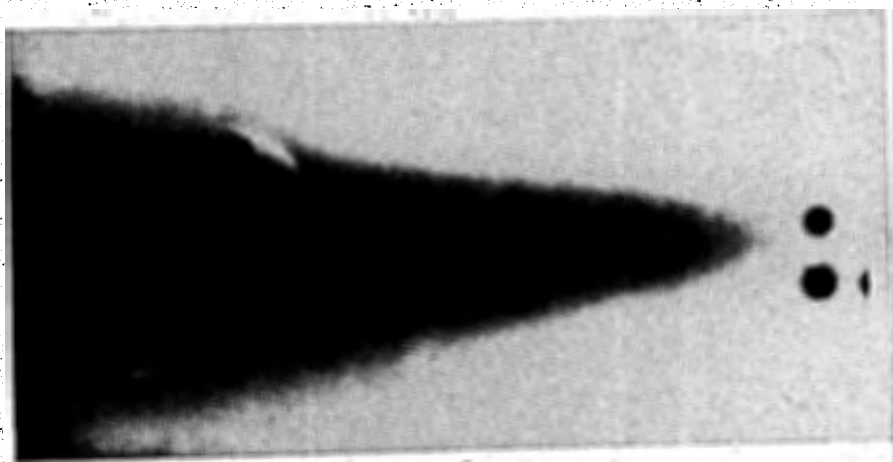
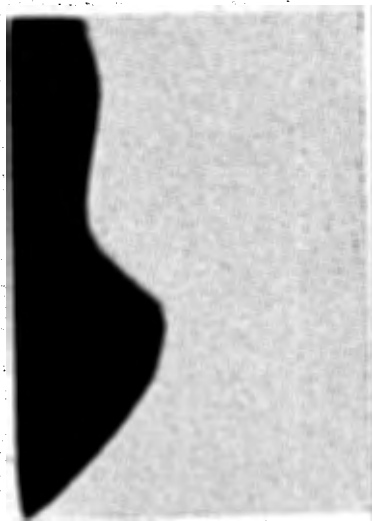


Рис.3б. Заброс пучка на фотопленку, расположенную на  $R_0 + 20$  см при включенной коррекции  $\mu$  (расстояние между маркировочными метками - 5 мм)



а) без коррекции п . ;



б) с коррекцией п .

Рис.4. Заброс пучка на фотопленку, расположенную на  $R_0 + 30$  см.



Разработанный для системы быстрого вывода септум-магнит <sup>12/</sup> имеет характеристики, представленные в таблице 1. На рис.5 и 6 приведено распределение вертикальной компоненты поля по радиусу в зазоре магнита и в наружной области, прилегающей к септуму. На рис.7 показана форма септума, применяемого в настоящее время. Как показали эксперименты, рассеянное поле магнита за пределами септума не нарушает устойчивости циркулирующего пучка даже при подведении его вплотную к включенному магниту.

Малое время вывода позволяет использовать для питания обмоток возбуждения магнита схему разряда батареи конденсаторов.

В настоящее время нами применяются два вида синхронизации импульсов тока в септум-магните и обмотках возбуждения резонанса, расположенных на полюсах ускорителя.

В первом случае включение резонансного устройства осуществляется запускающим импульсом, задержанным по отношению к моменту включения тока в магнит (рис.8, канал 1). При этом погрешность угла отклонения пучка увеличивается из-за нестабильности амплитуды разрядного тока (временной разброс включения элементов схемы пренебрежимо мал).

Во втором случае эта нестабильность ликвидируется путем введения дискриминации уровня тока. Сигнал, пропорциональный току в основной обмотке, поступает на дискриминатор. При достижении током величины, соответствующей заданному уровню поля  $V_0$ , выходной сигнал с дискриминатора запускает устройство возбуждения резонанса (рис.8, канал II).

Вторая схема более предпочтительна. Она позволяет отклонять пучок в септум-магните с точностью  $\approx \pm 0,1\%$ .

Широкий диапазон рабочих характеристик выводной аппаратуры, выполнение жестких требований, предъявляемых к ее параметрам, а также проведение предварительных экспериментов значительно облегчили ввод в действие системы и позволили получить выведенный пучок при первом сеансе работы. Вывод пучка произведен в диапазоне энергий от 7,5 до  $\approx 10$  Гэв.

Во время наладки системы для каждого значения выбранной энергии циркулирующий пучок устанавливался по центру камеры и производилась стабилизация его радиального положения. После получения оптимального

Таблица 1

Характеристики магнита М-1

Параметр	Величина
1. Длина сердечника	62,4 см
2. Эффективная длина (по магнитным измерениям)	70 см
3. Высота зазора на равновесном радиусе (по железу)	44 мм
4. Число витков в основной обмотке	I
5. Число витков в градиентной обмотке	12
6. Толщина септума	4 мм
7. Максимальный ток основной обмотки (в импульсе)	36 ка
8. Максимальное поле на равновесном радиусе	1,24 тл
9. Рассеянное поле на расстоянии 1 см от септума (по отношению к полю на равновесном радиусе)	< 0,5%
10. Вес	≈ 300 кг.
11. Рабочий ход	40 см
12. Время хода	0,9 сек

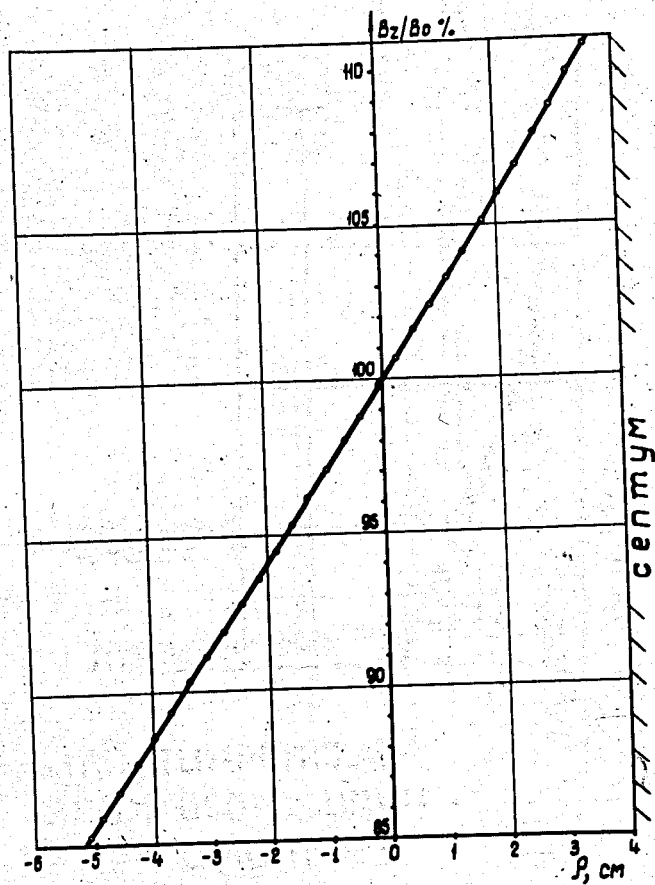
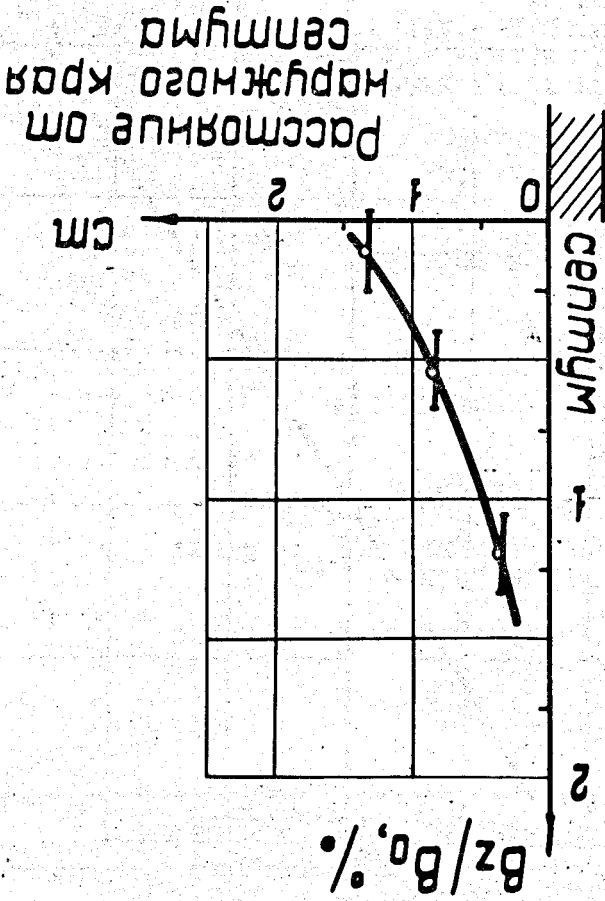


Рис.5. Зависимость вертикальной компоненты поля от радиальной координаты в зазоре септум-магнита.  
 $B_0$  - величина поля на центральной орбите ( $\rho=0$ ).

Рис. 6. Характер рассеянного поля центу-магнита в поперечном направлении.



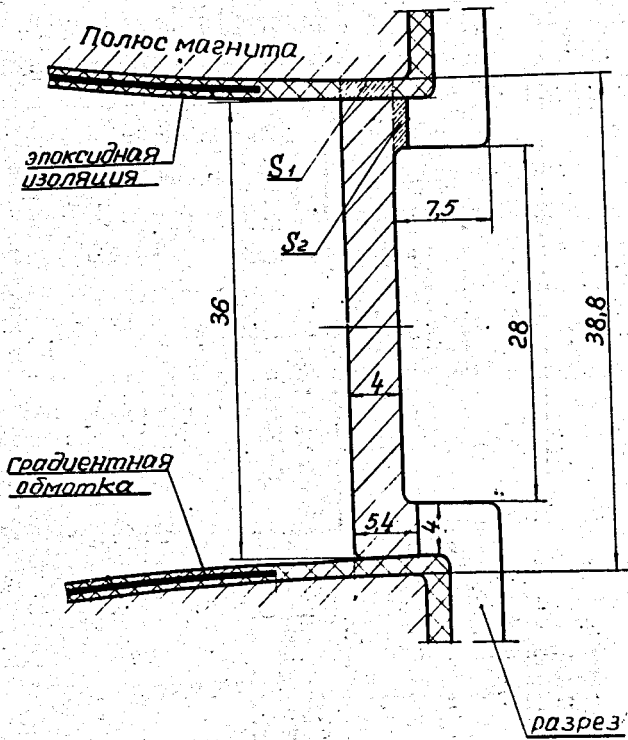


Рис.7. Форма септума.

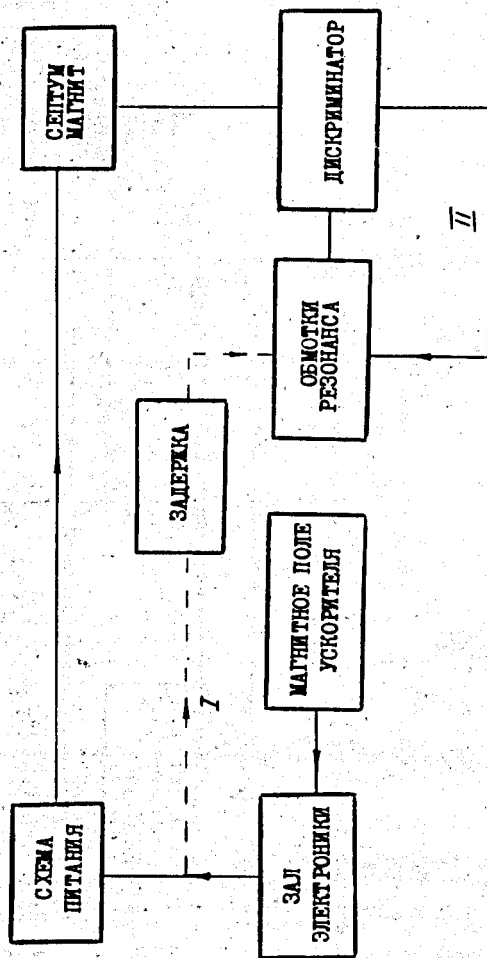


Рис.8. Блок-схема синхронизации импульсов тока.

режима сброса частиц включался механизм вертикального перемещения септум-магнита и юстировалось его положение по вертикали. Для этой цели верхняя и нижняя кромки септума были симметрично покрыты люминофором, светящимся под действием ускоренных протонов, что позволило вести контроль за попаданием пучка по вертикали в зазор магнита. Наблюдение велось с помощью камеры ТК-1. Затем устанавливались величины тока основной и градиентной обмоток, при которых пучок должен выходить на заданное направление и иметь минимальный размер на азимуте окна №34, т.е. на входе в область сильной дефокусировки по радиусу. Для контроля использовалась камера ТК-2.

Оказалось, что требуемый угол отклонения пучка в септум-магните несколько больше расчетного и составляет  $\approx 19$  мрад. Это можно объяснить, по-видимому, наличием таких неучтенных при расчете факторов, как искажение орбиты ускорителя, асимметрия его рассеянного поля и др.

Влияние градиентного поля в септум-магните на размер пучка иллюстрируется рис.9, где показано изображение пучка на фотопленке, облученной с помощью мишени в окне № 33.

Фотография (а) - форма пучка при показателе поля в септум-магните  $\mu_0 = -120$ , (б) - форма пучка при  $\mu_0 = -70$ .

Как и ожидалось, дополнительный эффект сжатия пучка по радиусу дало уменьшающееся во времени поле в септум-магните. Полученный при этом размер пучка составляет  $\approx 2,5 \times 3 \text{ см}^2$ , что находится в хорошем соответствии с результатами расчетов ( $2,4 \times 2,5 \text{ см}^2$ ). На рис.10 показана осциллограмма тока в основной (1) и градиентной (2) обмотках септум-магнита в режиме спадающего поля (скорость изменения поля  $\approx 400$  тл/сек).

Эффективность данной системы вывода определяется главным образом эффективностью септум-магнита, так как потери на остальной трассе пучка не являются неизбежными, и выбором соответствующих апертур могут быть сведены до несущественных величин. Поэтому при настройке системы основное внимание уделялось уменьшению потерь в септум-магните как за счет режима заброса пучка, так и за счет точности установки магнита.

При измерениях эффективности прохождения пучка через септум-магнит был использован эффект эмиссии  $\delta$ -электронов (или  $\delta$ -лучей), ис-

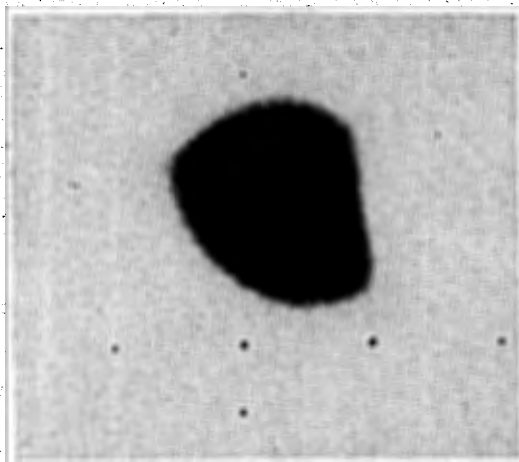
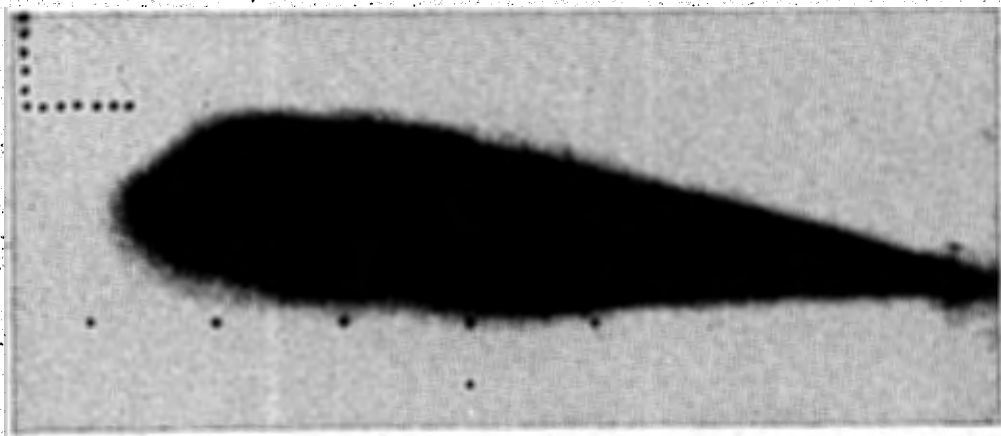


Рис.9. Влияние градиентного поля магнита М-1 на размер пучка в окне №33:  $n_0 = -120$  (а),  $n_0 = -70$  (б). (Расстояние между маркировочными метками по горизонтали - 20 мм).



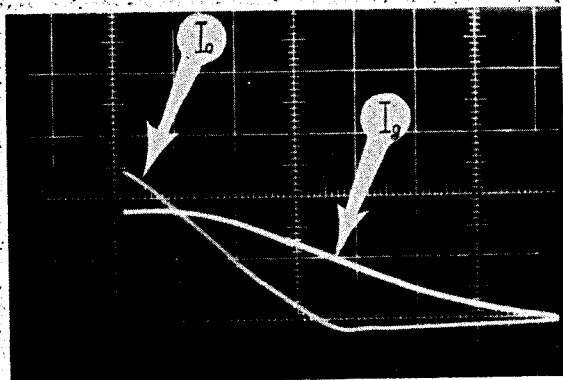


Рис.10. Осциллограмма тока септум-магнита.

$I_0$  - ток основной обмотки ( 10 ка/клетку),  
 $I_g$  - ток градиентной обмотки (100 а/клетку).  
 Развертка 0,5 мсек/клетку.

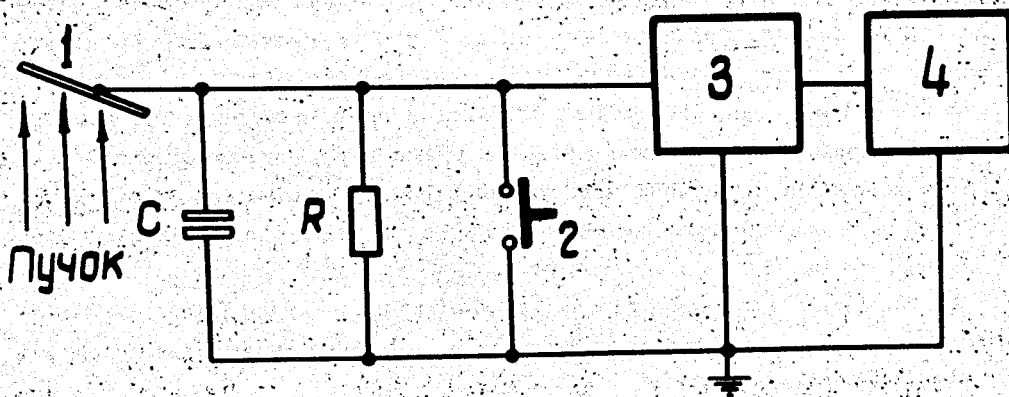


Рис.11. Принципиальная схема интегрирования заряда  $\delta$ -электронов.

1- пластина, 2 - сброс, 3 - усилитель, 4 - регистрирующий прибор.

пускаемых веществом при прохождении через него протонов высоких энергий. При этом способе мониторинга выходной сигнал имеет линейную зависимость от числа первичных частиц и хорошую воспроизводимость результатов /4/. Алюминиевая пластина толщиной 1,5 мм укреплялась на мишени в окне №24 под углом  $30^\circ$  к падающему пучку. За пластиной был установлен поглотитель, исключавший вторичное прохождение через нее ускоренных протонов. Заряд на пластине, пропорциональный количеству прошедших протонов, интегрировался, и сигнал от него передавался на пульт управления (рис.11). Идентичное устройство было установлено в окне №33. Характеристики схем регистрации совпадали в пределах  $\pm 2\%$ . Измерения проводились при стабилизированной интенсивности ускоренного пучка. Эффективность, определяемая как отношение измеренных величин зарядов, составила 84 % при общей погрешности измерений, не превышающей  $\pm 10\%$ . Этот результат находится в хорошем соответствии с оценкой эффективности, которую можно ожидать на основании распределения, полученного при облучении ядерной фотозмульсии во время предварительных экспериментов. Потери частиц на септуме, имеющем толщину в средней части 4 мм (рис.7), должны составлять около 10%. Еще несколько процентов частиц может теряться на вертикальных краях зазора магнита.

Во время экспериментов по выводу пучка оказалось, что септум толщиной 3 мм недостаточно прочен и разрушается при амплитуде тока 36 ка. Увеличение толщины септума до 4 мм и усиление его крепления дали возможность работать при этом токе пока без заметных остаточных деформаций обмотки. Нагревание магнита и незначительное падение вакуума в прямолинейном промежутке во время перемещения магнита в рабочее положение не вносят осложнений в работу ускорителя.

В настоящее время протонный пучок получен за пределами вакуумной камеры, на выходе из магнитов М-2.

Дальнейшая транспортировка и формирование пучка будут производиться после установки магнитных линз на месте временного расположения канала  $K^0$ -мезонов.

Авторы отмечают большую работу, сделанную сотрудниками группы автоматики и телеметрии М.А.Воеводиным, А.А.Лариным и А.А.Анашиным при введении в эксплуатацию телевизионной системы. Они пользуются

также случаем выразить свою благодарность В.Н.Булдаковскому, В.А.Шурховецкому, В.С.Миронову, Ю.Ф.Кусагину, М.Д.Ершову, А.И.Крюкову и другим сотрудникам группы вывода пучков за большую помощь при наладке аппаратуры и подготовке экспериментов.

#### Литература

1. Л.П.Зиновьев, И.Б.Иссинский, В.И.Котов, Е.М.Кулакова, К.П. Мызников, Н.И.Павлов. Препринт ОИЯИ Р-2387, Дубна, 1965.
2. И.Б.Иссинский, И.И.Карпов, Е.М.Кулакова. Депонированное сообщение ОИЯИ, Б2-9-4095, Дубна, 1965.
3. Н.Г.Борисов, Л.П.Зиновьев, И.Б.Иссинский, В.Н.Лысяков, С.А.Новиков, Н.И.Павлов, Н.М.Тараканов. Препринт ОИЯИ, 9-3924. Дубна, 1968.
4. K.Budal. Charge Transport from Targets in Proton Beams. CERN 67-17.

Рукопись поступила в издательский отдел  
24 октября 1969 года.