

СЗУСеЗ

А-194

+



АВЕРИЧЕВ, С.А. и др.

Б2-9-6896

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б2-9-6896

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 19 73

C345e3  
A-194

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

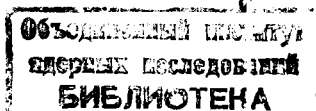
Лаборатория высоких энергий

Б2 - 9 - 6896

С.А.Аверичев, В.Н.Булдаковский, Б.В.Василишин,  
В.И.Волков, И.А.Елисеева, В.П.Заболотин,  
Л.П.Зиновьев, И.Б.Иссинский, С.В.Каленов,  
Е.М.Кулакова, В.П.Матвеева, Е.А.Матюшевский,  
В.А.Михайлов, В.С.Миронюк, С.А.Новиков,  
Б.Д.Омельченко, Н.И.Павлов, В.Ф.Сиколенко,  
Б.Ф.Стуканов, В.И.Черников

СОСТОЯНИЕ РАБОТ ПО МЕДЛЕННОМУ ВЫВОДУ ПУЧКА  
ИЗ СИНХРОФАЗОТРОНА ОИЯИ

17 января 73



Дубна, 1972 год

с. 99. 3469

## ВВЕДЕНИЕ

Высокоэффективный вывод первичного пучка имеет весьма существенное значение для синхрофазотрона ОИЯИ, поскольку он позволяет отказаться от глобальной радиационной защиты ускорителя. Существующая интенсивность является предельно допустимой с точки зрения радиационной ситуации на территории, окружающей корпус. Повышение интенсивности ускоренного пучка, ожидаемое в ближайшее время, вызовет недопустимое увеличение ионизирующего излучения синхрофазотрона, которое можно существенно уменьшить за счет вывода значительной части ускоренного пучка в экспериментальный зал, оборудованный специальной защитой и ловушкой.

Разработанная в Лаборатории высоких энергий система резонансного вывода, работающая на частоте радиальных бетатронных колебаний  $\nu_x = 2/3$ , позволяет с помощью двух внутренних магнитов и линз осуществить вывод не менее 90% ускоренного пучка.

Благоприятной для вывода пучка особенностью синхрофазотрона ОИЯИ является большой поперечный размер рабочей области в конце цикла ускорения, превышающий в радиальном направлении  $\pm 500$  мм. Это позволяет осуществить заброс пучка в зазор первого септум-магнита до 170 мм, избежав заметного влияния нелинейностей на его эмиттанс.

На рис. I представлена общая схема расположения выводных устройств и канала транспортировки пучка. В прямолинейном промежутке между I и II квадрантами находится септум-магнит, отклоняющий пучок на угол 12 мрад, и горизонтально-фокусирующая линза. Пройдя II квадрант, пучок входит во второй внутренний магнит и следующую за ним линзу, где получив отклонение около 100 мрад, выходит из камеры.

## РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМЫ /I/

Цель расчетов состояла в выборе параметров системы вывода, обеспечивающих высокую эффективность и минимальный радиальный эмиттанс выведенного пучка. Аналитическое рассмотрение позволило

сделать приближенный выбор параметров системы, Окончательное значение этих параметров получено численными расчетами с учетом реальных характеристик ускорителя.

Средний угол пучка, попадающего в зазор септум-магнита в процессе резонансной раскачки, т.е. за время вывода, уменьшается на 0,9 мрад, однако, его мгновенный угловой разброс сохраняет величину около 0,05 мрад. Для поддержания неизменным угла пучка на выходе первой отклоняющей системы применен септум-магнит с изменяющимся во времени магнитным полем.

Другой способ компенсации углового ухода пучка во времени, состоящий в введении второй дипольной гармоники в магнитную систему синхрофазотрона, рассмотрен в работе /2/.

Радиальная расходимость пучка при прохождении краевого поля II квадранта может быть уменьшена с помощью первой линзы, так чтобы радиальный размер пучка не превышал апертуры второго магнита. Однако в этом случае радиальный эмиттанс сильно деформирован нелинейностями в поле квадранта и эффективный вертикальный эмиттанс также значительно увеличивается. В нашей схеме используется перефокусировка пучка, которая является наилучшей с точки зрения минимальных искажений радиального и вертикального эмиттансов. Ход радиальных траекторий во II квадранте для этого случая показан на рис. 2. По оси абсцисс отложено расстояние от центрального радиуса  $R_0$ , по оси ординат - азимут. (Цифрами обозначены траектории с различными начальными условиями).

Значительная компенсация нелинейностей при прохождении пучком ускорителя позволяет получить малый поперечный фазовый объем выводимого пучка.

Расчетное значение эффективности вывода составляет 90%.

### АППАРАТУРА

Септум -магнит /3/ длиной 1,7 м имеет зазор  $65 \times 220 \text{ мм}^2$  (рис.3). Максимальное рабочее поле в зазоре составляет 0,25Тл. Толщина септума - 2 мм. Эффективная мощность тока в рабочем режиме -  $15 \text{ А/мм}^2$ . Неоднородность магнитного поля внутри зазора лежит в пределах  $\pm 0,2\%$ .

Следующая за магнитом септум-линза представляет собой "полулинзу" с прямоугольной апертурой, имеющую нейтральный полюс в виде тонкой стальной пластины - магнитный септум. Магнит и линза вводятся в рабочее положение с помощью пневматического механизма.

Магнит и линза второй внутренней ступени установлены в реконструированном выводном участке вакуумной камеры. Длина магнита - 3 м, апертура 65x190 мм, толщина септума - 25 мм. Максимальная индукция в зазоре - 1,3 Тл. Для 90% поперечного размера зазора неоднородность поля лежит в пределах  $\pm 0,2\%$ .

Магнитная линза (Панофского) имеет длину 0,7 м и апертуру 65x216 мм<sup>2</sup>. Градиент поля - 8 Тл/м.

Источниками питания элементов медленного вывода служат системы на базе электромашинных агрегатов, существенно усовершенствованных с целью обеспечения программного управления током и введения обратных связей.

Индикация пучка и измерение его параметров производится с помощью датчиков трех видов. Начальная настройка режимов осуществляется, как правило, с помощью телекамер и экранов. Точная регистрация размеров и положения пучка во время наладки проводилась с помощью фотопленок, вводимых в пучок.

В качестве лоперативных датчиков измерителей профиля используются проволочные ионизационные камеры <sup>14</sup>, установленные вдоль трассы выведенного пучка.

Заряды, собранные каждой проволочкой камеры, измеряются соответствующим числом электрометрических усилителей и с помощью электронного коммутатора представляются в виде последовательности импульсов (гистограмм) на экране запоминающего осциллографа.

Корректировка закона изменения тока, питающего септум-магнит, осуществляется с помощью автоматической системы, имеющей датчиком устройство измерения центра заряда выводимого пучка.

### НАЛАДКА СИСТЕМЫ

В настоящее время проведены первые работы по наладке системы медленного вывода и в мае 1972 года осуществлен вывод пучка из камеры ускорителя.

Сдвиг показателя поля  $\Delta n$  осуществляется изменением тока ( $I_{\Delta n}$ ) в полюсных проводниках, расположенных на  $R_0 \pm 100$  мм и  $R_0 \pm 300$  мм, Вторая гармоника квадратичной нелинейности магнитного поля создается токами в проводниках на  $R_0 \pm 200$  мм ( $I_{2A}$ ) и  $R_0 \pm 400$  мм ( $I_{2B}$ ). Вначале квадратичное возмущение поднимается до величины, определяемой глубиной заброса частиц в септум-магнит, затем показатель поля сдвигается от рабочей точки к  $n_{рез.}$  со скоростью, обеспечивающей длительность вывода 0,3 - 0,4 сек. Сведение к минимуму стабилизирующего действия на развитие резонанса  $\nu_x = 2/3$  нелинейности четвертого порядка выполнено подбором токов  $I_{2A}$  и  $I_{2B}$ . Это позволило расширить область квадратичного возмущения до  $\pm 400$  мм. Сравнение результатов расчета и эксперимента дано в таблице I.

Таблица I

Параметр	Начальное значение тока	Конечное значение тока	Суммарный ток	Отношение токов	Глубина заброса
	$I_{\Delta n} (A)$	$I_{\Delta n} (A)$	$I_{2A} + I_{2B} (A)$	$I_{2A} / I_{2B}$	$\Delta x (mm)$
Расчет	39	50	210	0,42	170
Эксперимент	39	49	212	0,42	170

Фотография пучка, полученная при облучении фотопленки на координате септум-магнита для режима, приведенного в таблице I, показана на рис. 4 (шкалы даны в см.).

На координате входа во второй внутренний магнит пучок получен при следующем режиме (таблица 2).

Параметр	Режим резонансной системы	Начальное поле в септум-магните	Конечное поле в септум-магните	Градиент в первой линзе	Вход во 2 магн	
					Горизонтальный размер пучка	Вертикальный размер пучка
		$B (Tл)$	$B (Tл)$	$G (Tл/м)$	$\Delta x (mm)$	$\Delta Z (mm)$
Расчет	см. таблицу I	0,167	0,182	0,99	80	25
Эксперимент		0,205	0,226	0,95	70	35

Некоторое увеличение тока в септум-магните по сравнению с расчетными можно объяснить существующим искажением орбиты по радиусу, что вызывает необходимость увеличения угла отклонения частиц, выходящих из магнита.

В июле месяце с.г. пучок выведен из синхрофазотрона в экспериментальный павильон. Режим вывода осуществляется на столе<sup>15/</sup> магнитного поля ускорителя.

Транспортировка пучка к первой мишени производится с помощью двух дублетов, в первый из которых входят линзы МЛ-16, во второй - линзы 20К200А. На расстоянии 30 м от ускорителя пучок сфокусирован в пятно размером  $18 \times 4 \text{ мм}^2$  (рис.5). Измеренный при этом горизонтальный эмиттанс составляет  $95 \mu\text{мм.мрад}$ , вертикальный -  $50 \mu\text{мм.мрад}$ , что в 3 раза для горизонтали и 1,3 раза для вертикали превышает расчетное значение. Это завышение обусловлено угловым рассеянием пучка при прохождении им индикационных экранов и измерительных дельта-пластин, установленных в настоящее время для наладки в камере ускорителя (~~общее количество вещества на пути пучка составляет~~ (общее количество вещества на пути пучка составляет около  $3 \text{ г/см}^2$ )).

Хотя работы по определению эффективности еще не закончены, измерения, выполненные с помощью фотопленок и реакции на угле-роде, показывают, что эффективность системы вывода составляет более 90%.

В настоящее время продолжается отработка режимов управления с применением обратных связей и оснащению системы вывода диагностической аппаратурой, а также ведутся работы по измерению радиационных полей с целью обеспечения наиболее эффективной защиты экспериментального зала.

Авторы выражают глубокую благодарность всем сотрудникам Лаборатории высоких энергий и Центральным экспериментальным мастерским ОИЯИ, принявшим участие в создании системы медленного вывода.

Особую признательность авторы приносят А.М.Балдину и И.Н.Семенюшкину за ценные советы и обсуждения, а также усилия, направленные на сооружение системы.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Б.В.Василишин, И.Б.Иссинский, Е.М.Кулакова, В.А.Михайлов  
ОИЯИ, Б-1-9-65 + 36, Дубна, 1972.
2. M. Contre. JINR , E9 - 6538, Dubna , 1972.
3. Л.П.Зиновьев, И.Б.Иссинский, В.С.Смирнов, С.А.Новиков,  
В.И.Черников. ОИЯИ, 9-65-37, Дубна, 1972.
4. F.Hornstra , J.R.Simanton. Nucl. Instr. & Meth. 68, 138-140, 1969.
5. А.А.Смирнов, Д.П.Калмыков, А.З.Дорошенко, Л.Н.Беляев.  
ОИЯИ, 9-4394, Дубна, 1969.



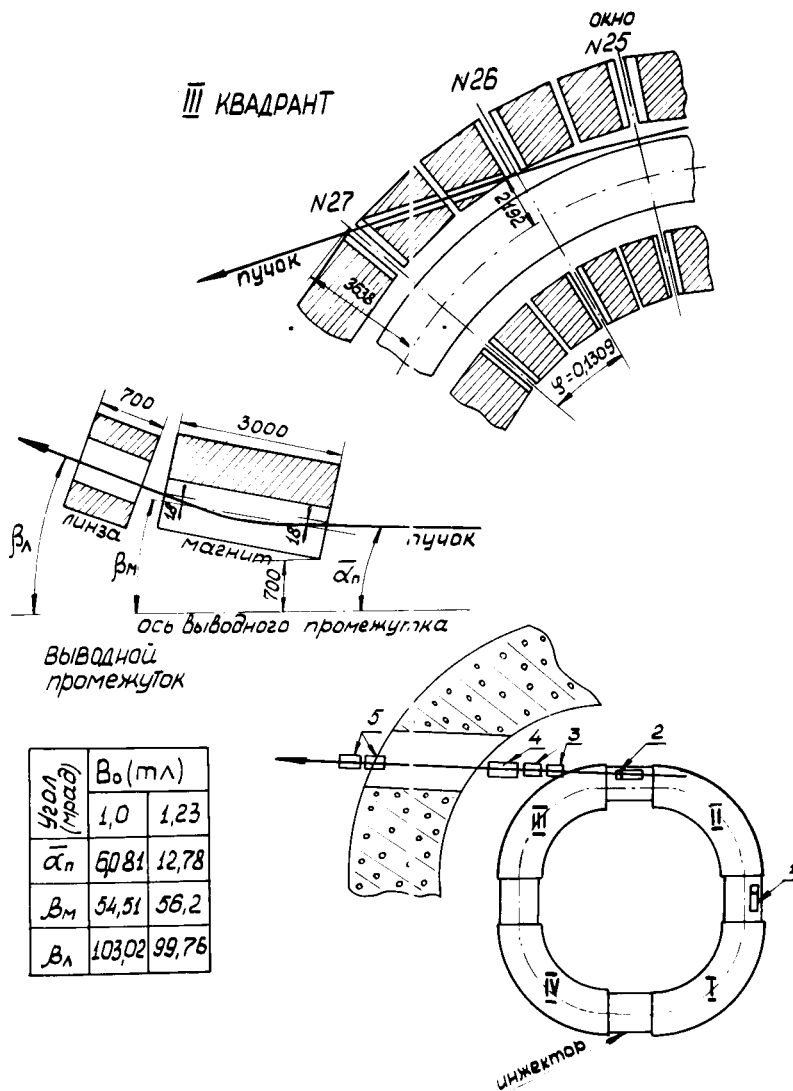


Рис. I. Общая схема расположения выводных устройств и канала транспортировки пучка. I—септум-магнит и септум-линза; 2 — выводной магнит и линза; 3 — дублет линз МЛ-16; 4 — магнит; 5 — дублет линз 20К200А.

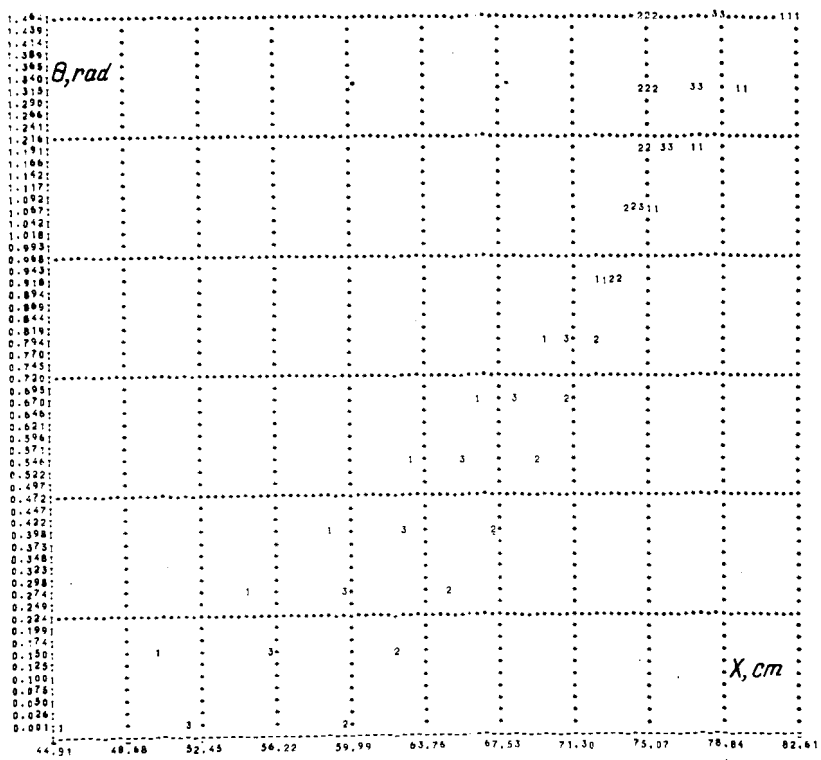


Рис. 2. Ход радиальных траекторий пучка во втором квадранте.

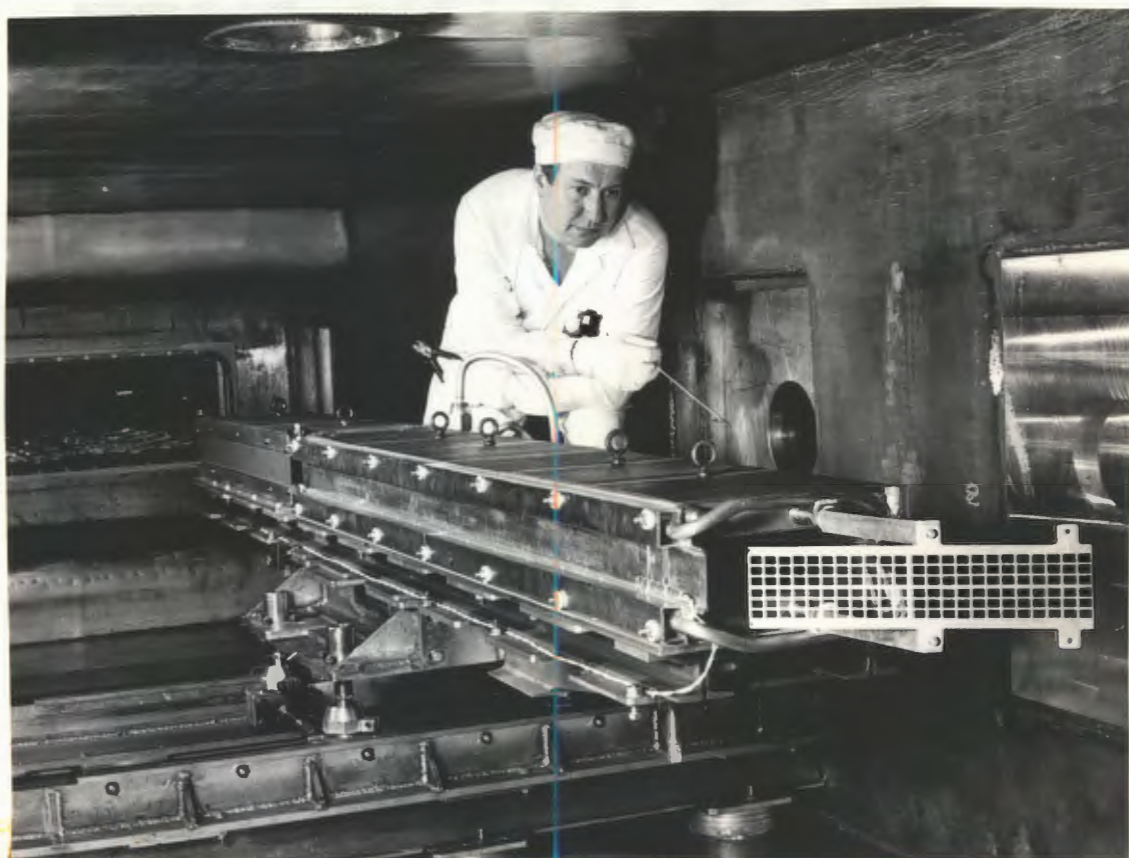


Рис. 3. Общий вид септум-магнита в камере синхрофазотрона.

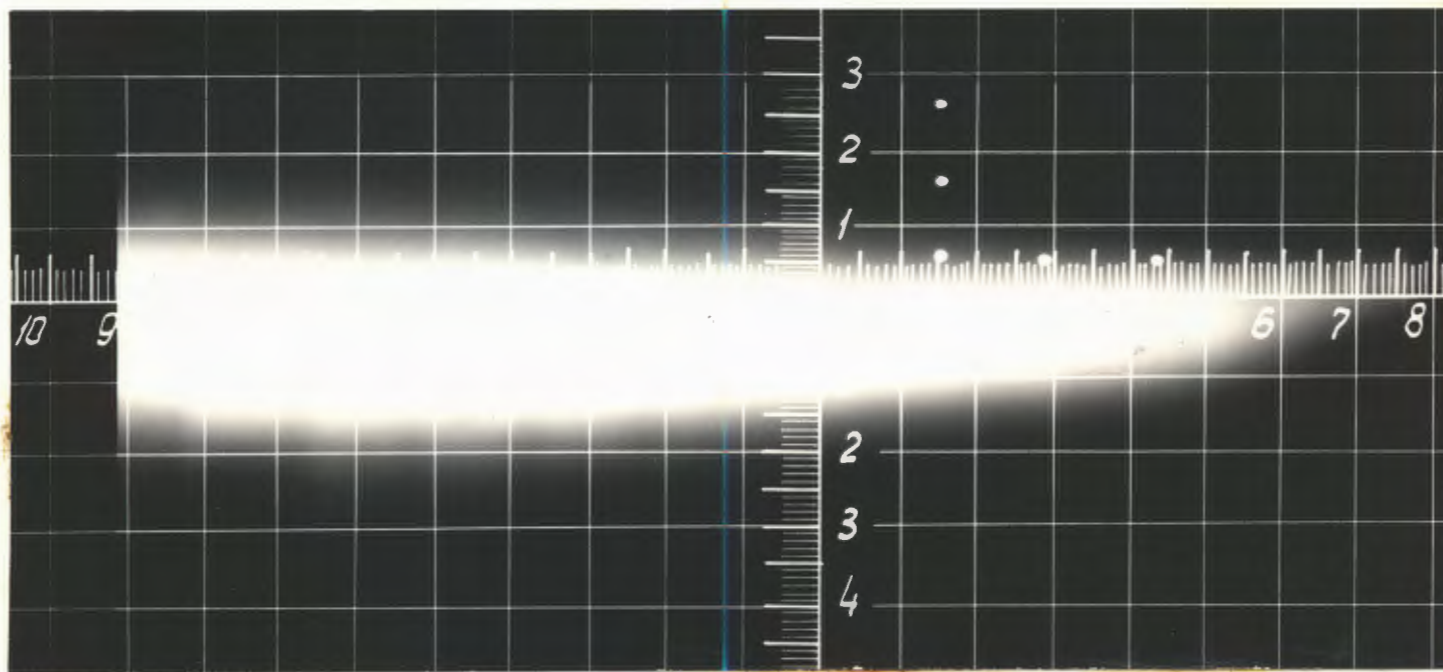


Рис. 4. Фотография пучка на входе в септум-магнит  
( одна клетка - 1 см )

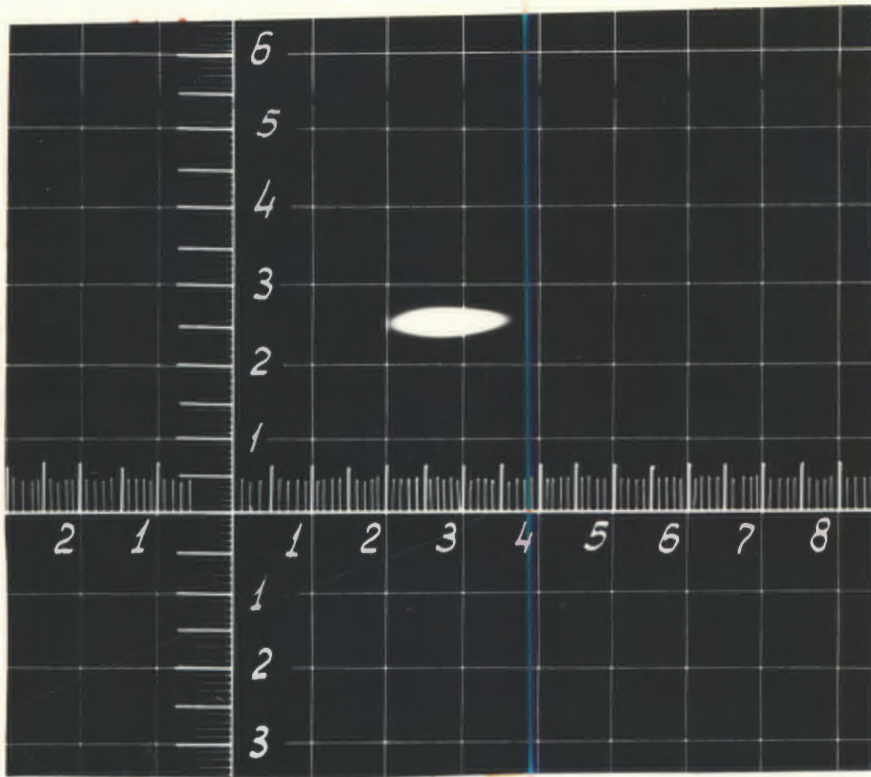


Рис. 5. Фотография пучка на внешней мишени (одна клетка - 1 см)