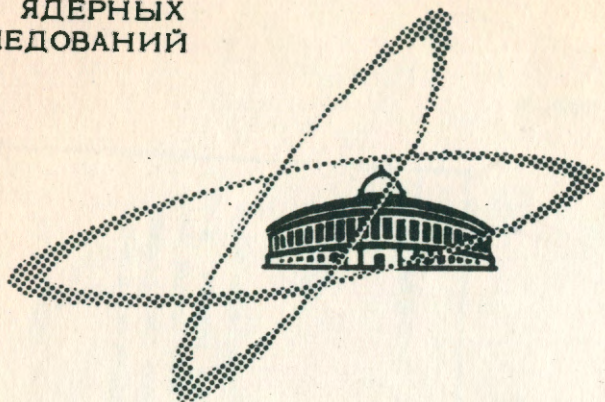


ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

Р - 2657



В.Г. Зинов, С.В. Медведь, Е.Б. Озеров

ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА ПУЧКОВ ЧАСТИЦ,
ВЫВЕДЕННЫХ ИЗ СИНХРОЦИКЛОТРОНА ОИЯИ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1966

P - 2657

В.Г. Зянов, С.В. Медведь, Е.Б. Озеров

ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА ПУЧКОВ ЧАСТИЦ,
ВЫВЕДЕННЫХ ИЗ СИНХРОЦИКЛОТРОНА ОИЯИ

Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ

Изучение временной структуры пучка ускорителя представляет интерес со многих точек зрения. С одной стороны, знание ее помогает понять особенности ускорителя и выбрать пути улучшения его работы. С другой стороны, изучение этой структуры позволяет более строго оценивать возможности постановки физических экспериментов. Наряду с этим, требования к параметрам регистрирующей аппаратуры также в значительной степени обусловлены характером временной структуры пучков частиц.

Известно, что синхротрион работает циклично. Временная структура выведенных пучков имеет двойную периодичность, связанную, во-первых, с частотой повторения циклов ускорения - "макроструктуру", и, во-вторых, с частотой ускоряющего напряжения - "микроструктуру". На рис. 1 в весьма схематической форме представлено временное распределение частиц в пучке.

В настоящей работе описываются способы изучения макро- и микроструктур и обобщаются результаты измерений.

1. Макроструктура

Частота следования циклов ускорения синхротриона ОИЯИ в обычных условиях 120 1/сек. Время ускорения составляет 4,0 мсек. Продолжительность же вывода частиц из ускорителя в значительной степени определяется способом его осуществления.

Временная макроструктура изучалась единым для всех пучков методом. Блок-схема аппаратуры представлена на рис. 2. Частицы пучка регистрировались телескопом из трех сцинтилляционных счетчиков, включенных на совпадения. Жесткая временная привязка к циклу ускорения осуществлена с помощью частотного дискриминатора. Настройкой его контура можно было регулировать момент привязки. Обычно он выбирался вблизи участка с наибольшей скоростью изменения частоты по времени. При каждом цикле ускорения на выходе дискриминатора получались импульсы с длительностью 30 мсек, которые через делитель частоты следования запускали генератор пилообразного напряжения. Сигнал со схемы совпадений поступал на вход временного селектора. На дру-

гой его вход подавалось пилообразное напряжение. При приходе импульса со схемы совпадений временной селектор вырабатывал сигнал с амплитудой, пропорциональной мгновенному уровню пилообразного напряжения, осуществляя тем самым время-амплитудное преобразование. Спектр выходных импульсов селектора записывался на 256-канальном амплитудном анализаторе ^{1/1}. Временной масштаб анализатора определялся временем нарастания пилообразного напряжения. В ряде случаев было полезно записывать не один, а несколько последовательных пиков работы ускорителя. Для осуществления такого режима служил делитель частоты следования импульсов с частотного дискриминатора.

На рис. 3 представлено измеренное распределение интенсивности пучка выведенных протонов. Малое время вывода протонов - всего 160 мксек - определяется особенностями вывода.

Вторичные частицы, как правило, получают на внутренней мишени синхротрона. Форма кривой распределения интенсивности выведенного пучка определяется, в основном, скоростью наплывания сгустка ускоренных протонов на мишень и спектром амплитуд радиальных колебаний. Эти факторы объясняют большую продолжительность вывода вторичных частиц.

На рис. 4 представлено измеренное распределение интенсивности выведенного пучка μ -мезонов. Среднее время вывода 820 мксек. Начальный пик интенсивности связан с электростатической фокусировкой в центре машины ^{1/2}.

Во многих опытах желательно как можно больше увеличить продолжительность вывода частиц из ускорителя. Это необходимо, с одной стороны, для уменьшения загрузки аппаратуры (уменьшение потерь за счет мертвого времени) и, с другой стороны, для снижения плотности фонового излучения. На нашем ускорителе в 1985 г. был осуществлен оригинальный способ медленного вывода пучка ^{1/3}. Суть его заключается в том, что на конечных орбитах ускорителя возбуждаются вынужденные дополнительные радиальные колебания сгустка протонов с помощью переменного во времени магнитного поля. Этот способ позволил увеличить продолжительность вывода мезонов до 2500 мксек, что видно из рис. 5. Достигнутая скважность составляет 25% при сохранении 70% интенсивности пучка.

2. Микроструктура

В конце пика ускорения рабочая частота ускорителя медленно меняется от 14,2 до 14,0 Мгп. Средний период микроструктуры пучка \approx 71 нсек.

Одним из простых способов измерения распределения интенсивности в микроимпульсе является использование обычных схем совпадений с хорошим разрешением. На

входы схем подаются сигналы от фотоумножителей спонтанного телескопа и через линию задержки переменной длины заводятся узкие импульсы, сформированные из синусоидального высокочастотного напряжения ускорителя. При практическом использовании этого метода встречаются серьезные трудности, связанные с формированием коротких импульсов из синусоиды переменной частоты.

Для первоначальных измерений мы выбрали другой путь - фотографический. На рис. 6 представлена блок-схема опыта. Грубая синхронизация аппаратуры с ускорителем по-прежнему осуществлялась частотным дискриминатором. Частота следования импульсов с дискриминатора уменьшалась делителем частоты в 15 раз. Коэффициент деления определялся быстродействием фотоаппарата. Одновибратор сдвига выбирал интересующий нас участок процесса вывода частиц, а одновибратор ширины "ворот" задавал протяженность исследуемого участка. Импульс последнего одновибратора подавался на один из входов схемы совпадений, на два других поступали импульсы от фотоумножителей 58 AVP, стоящих в исследуемом пучке частиц. Сигнал с выхода схемы совпадений запускал развертку пятилучевого осциллографа ^{1/4}. Этот же импульс управлял работой фотоаппарата.

На одну пару пластин вертикального отклонения трубки осциллографа подавалось высокочастотное напряжение от ускорителя. На вторую и третью пары пластин поступали импульсы от фотоумножителей через широкополосные усилители типа УЗ-5 (УР-4). Четвертый и пятый лучи не использовались. Горизонтальная развертка всех лучей производилась от одного генератора. Скорость развертки \approx 10 нсек/см.

Поскольку частота запуска не превышала быстродействия фотоаппарата, а ширина импульса "ворот" была меньше мертвого времени развертки осциллографа, то не наблюдалось наложение кадров друг на друга при любых загрузках счетчиков.

Одна из фотографий приведена на рис. 7. Во время предварительного просмотра отбрасывались все кадры, где было зарегистрировано более одного импульса на любом луче. На оставшихся кадрах измерялось расстояние от точки А пересечения восходящей ветви синусоиды со вторым лучом до точки В пересечения касательной к фронту импульса фотоумножителя с продолжением этого же луча. Период синусоиды (отрезок луча АС) измерялся через каждые 100 кадров. Отношение отрезков АВ и АС давало относительную фазу момента прихода частицы. Абсолютная фаза не определялась. Точность измерений (включая просмотр) составляла \pm 0,8 нсек. Всего было обработано 10000 фотографий.

Измерения микроструктуры проводились на пучках протонов, мезонов и пионов. Исследовалась также структура пучков частиц на выходе μ -мезонного тракта ^{1/5}. Все опыты проводились на полной интенсивности внутреннего пучка ускорителя в начале и конце процесса вывода (соответственно точки А и В на рис. 4). Результаты измерений представлены на рис. 8-12. Из соображений наглядности гистограмма, соответствующая одному периоду, повторена на следующем периоде.

Обращает на себя внимание асимметрия полученных временных распределений для пучков вторичных частиц. Этот эффект объясняется многократным прохождением протонов внутреннего сгустка через мишень. Имеющаяся немонохроматичность пучков не может существенно исказить форму этих распределений. Интересно, что средняя ширина распределения в начале вывода заметно больше, чем в конце. Она уменьшается с 16,5 до 12,5 нсек.

На рис. 13 представлено временное распределение интенсивности в микроимпульсе выведенного пучка протонов. Хотя форма кривой и отличается от формы подобной же кривой для вторичных частиц, но средняя длительность микроимпульса по-прежнему составляет 15 нсек. Распределение можно хорошо аппроксимировать гауссовской кривой со среднеквадратичным разбросом $\sigma = 5,5$ нсек. Кривые, снятые в начале и в конце вывода, практически совпадают.

В отдельных опытах изучалась микроструктура растянутого пучка вторичных частиц. Изображенные на рис. 5 два пика распределения интенсивности в макроимпульсе отвечают двум разным механизмам вывода. Первый узкий пик соответствует наплыванию сгустка ускоренных протонов на внутреннюю мишень при наличии высокочастотного напряжения на дуанте ускорителя. Затем напряжение снимается и подается импульс тока в специальные катушки системы растяжки пучка. Второй, широкий, пик соответствует наплыванию сгустка протонов за счет созданного катушками возмущения магнитного поля ускорителя. Подробное описание метода дано в работе ^{/3/}.

Когда высокочастотное напряжение на дуанте отключается, сгусток протонов внутри машины очень быстро расплывается по азимуту за счет разброса по скоростям, и микроструктура выведенного пучка исчезает.

Это было проверено в опытах со схемой совпадений на пучке мюонов с μ -мезонного тракта. С помощью системы синхронизации сначала выделялся только начальный пик. Для выделенного участка определялась обычная кривая задержанных совпадений (кривая А на рис. 14). На крыльях кривой ясно проявляется периодическая структура. Она обусловлена случайными совпадениями частиц из разных микроимпульсов. При аналогичных измерениях на широком пике, связанном с магнитным выводом пучка, периодическая структура не наблюдается (кривая В на рис. 14). Провал на кривых непосредственно после основного пика совпадений обусловлен мертвым временем входных цепей схемы совпадений. Отсутствие микроструктуры в растянутом пучке является большим достоинством осуществленной схемы растяжки.

Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить В.И. Данилова, Е.И. Розанова и И.Б. Енчевича за обсуждение полученных результатов, а Н.Р. Юшкевича за большую работу по просмотру фотографий.

Л и т е р а т у р а

1. В.А. Казаков, В.В. Моисеева, А.Н. Синаев, Чао Го-чжэн. Препринт ОИЯИ 1843, Дубна 1985.
2. В.И. Данилов, И.Б. Енчевич, Е.Н. Марченко, Э.А. Полферов, А.Н. Сафонов, А.В. Шестов. Препринт ОИЯИ Р-1853, Дубна 1984.
3. В.И. Данилов, И.Б. Енчевич, Б.И. Замолотчиков, Э.А. Полферов, Е.И. Розанов, В.И. Смирнов, В.Г. Тестов. Атомная энергия, 19, 289, (1985).
4. А.Ф. Дунайцев, В.И. Петрухин, Ю.Д. Прокошкин, В.И. Рыклин. ПТЭ, 2, 114 (1984).
5. Ю.М. Грашин, Б.А. Долгошея, В.Г. Кирялков-Угрюмов, А.А. Кропни, В.С. Роганов, А.В. Самойлов, С.В. Сомов. Атомная энергия, 18, 384 (1985).

Рукопись поступила в издательский отдел
4 апреля 1986 г.

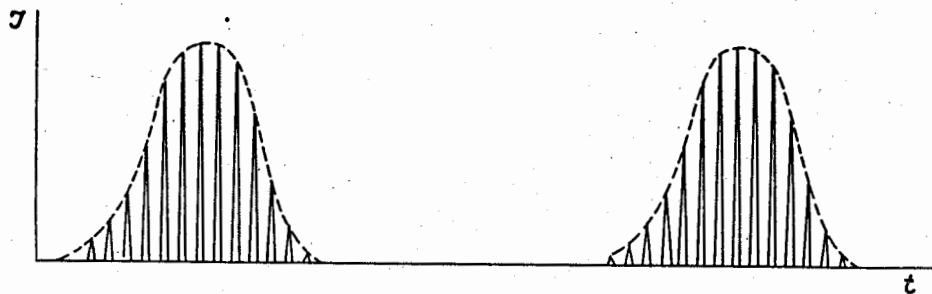


Рис. 1. Схематическое изображение временной структуры пучка частиц, выведенного из синхротрона.

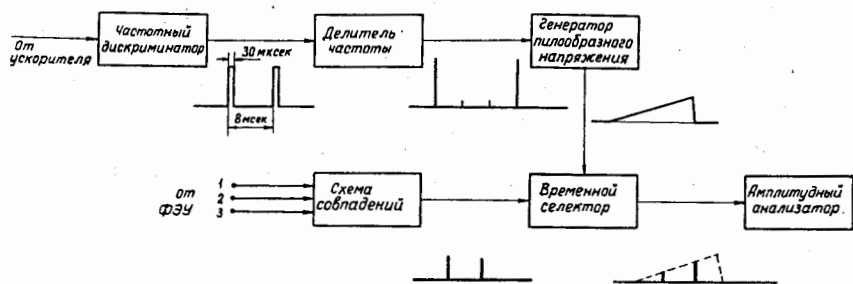


Рис. 2. Блок-схема аппаратуры для измерения макроструктуры пучков. Показаны эпюры напряжений в отдельных точках системы.

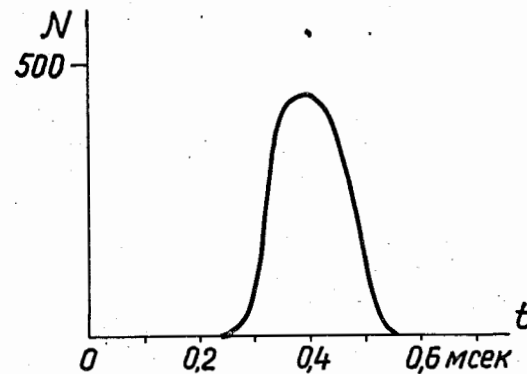


Рис. 3. Макроструктура выведенного протонного пучка.

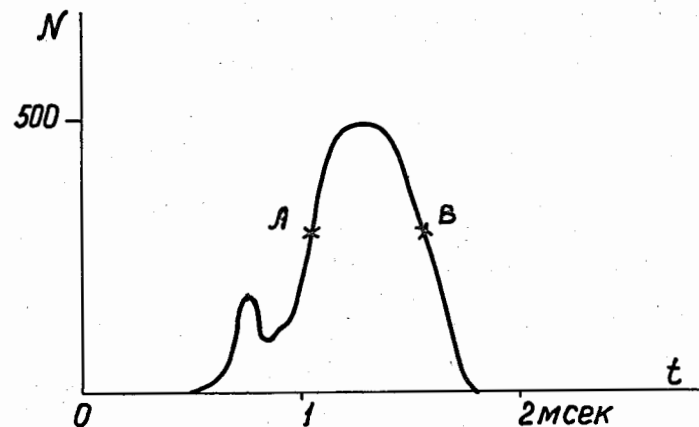


Рис. 4. Макроструктура выведенного пучка вторичных частиц (мюоны с импульсом 150 Мэв/с).

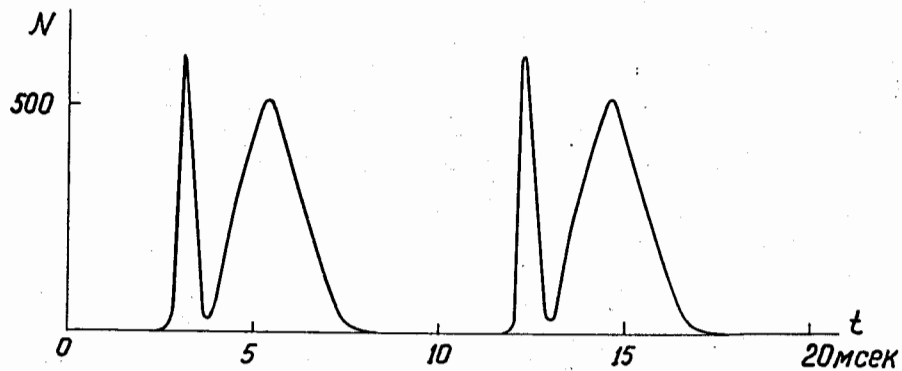


Рис. 5. Макроструктура пучка мюонов, выведенных из ускорителя с помощью системы медленного вывода ("растяжка" пучка).

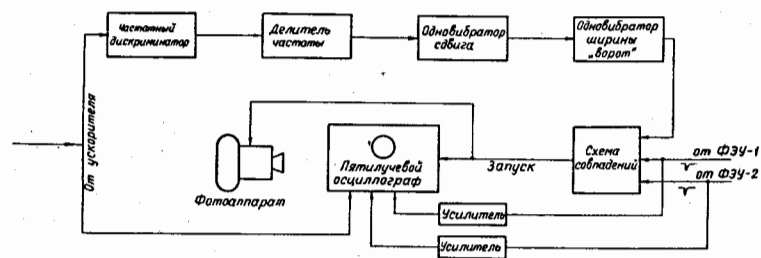


Рис. 6. Блок-схема аппаратуры для изучения микроструктуры выведенных пучков.

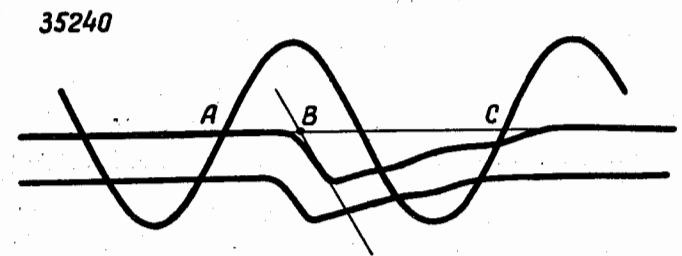


Рис. 7.

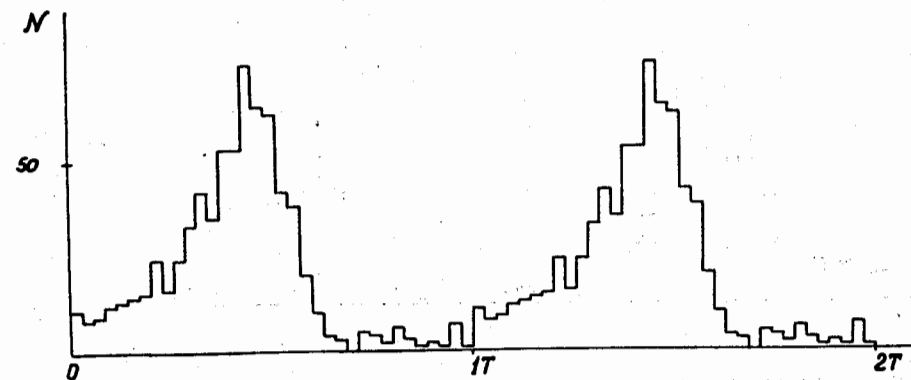


Рис. 8. Микроструктура пучка мюонов на выходе μ -мезонного тракта. Начало процесса вывода.

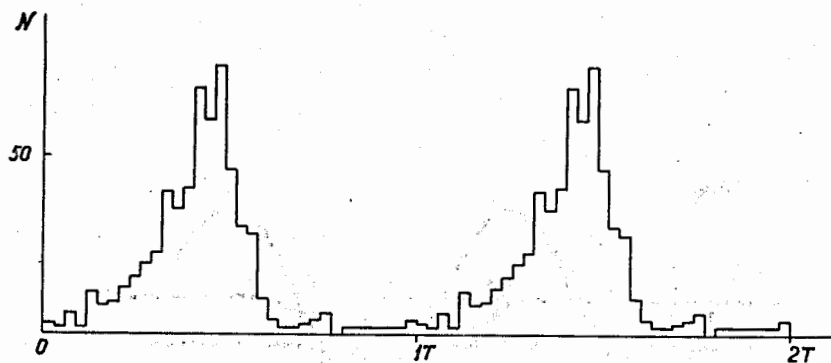


Рис. 9. Микроструктура пучка пионов на выходе μ -мезонного тракта. Конец процесса вывода.

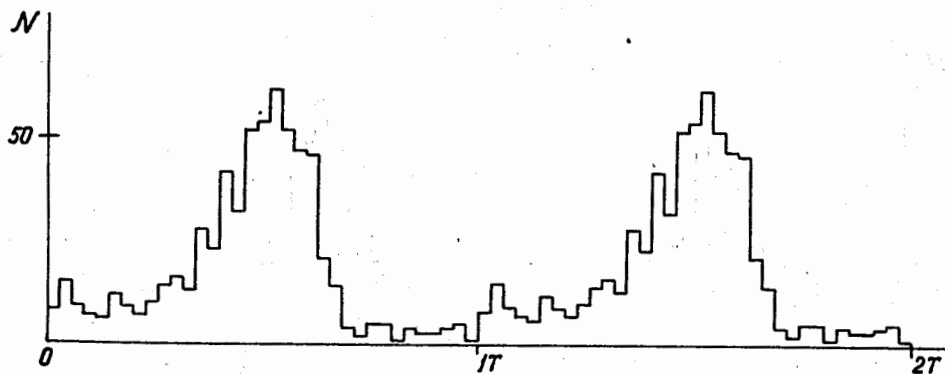


Рис. 10. Микроструктура пучка мюонов на выходе μ -мезонного тракта. Начало процесса вывода.

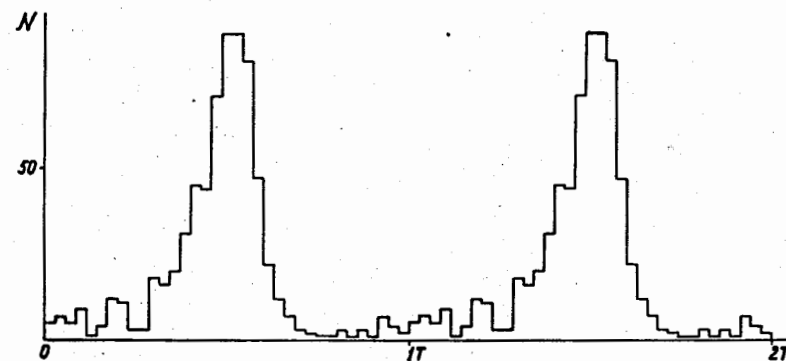


Рис. 11. Микроструктура пучка мюонов на выходе μ -мезонного тракта. Конец процесса вывода.

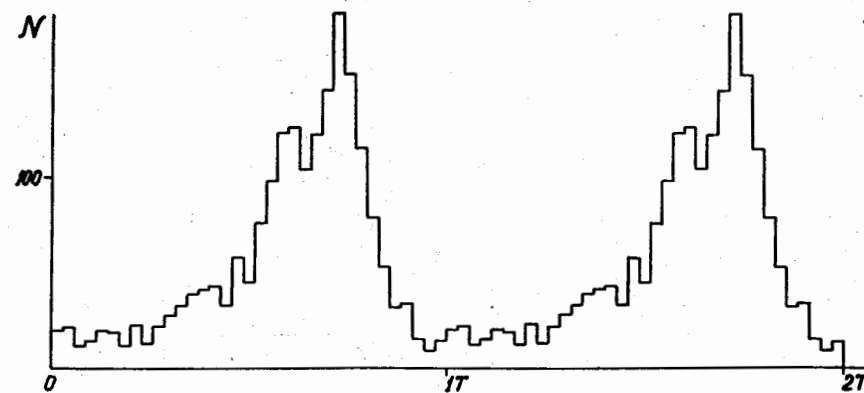


Рис. 12. Микроструктура смешанного пучка вторичных частиц (пионы, мюоны и электроны). Середина процесса вывода.

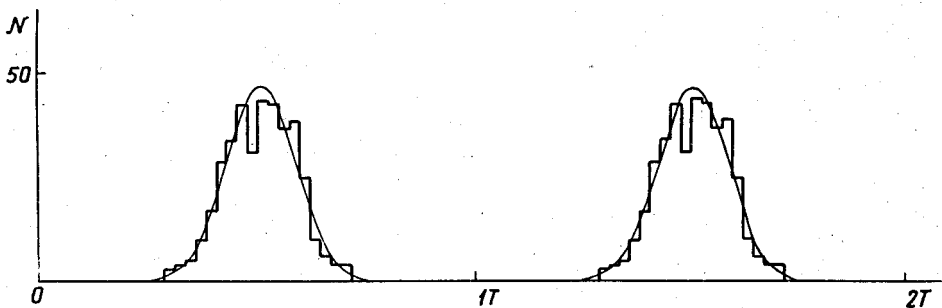


Рис. 13. Микроструктура смешанного пучка вторичных частиц (пионы, мюоны и электроны). Середина процесса вывода.

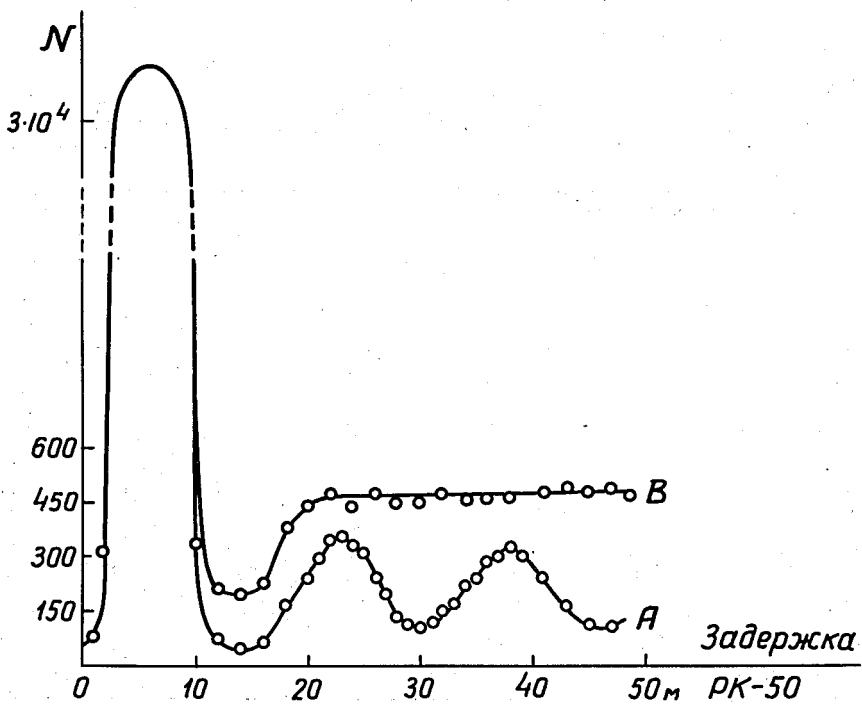


Рис. 14.