

10692

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



C 344.1u 3755/2-77

A - 139

19/12-77
13 - 10692

А.У.Абдурахимов, М.Х.Аникина, А.М.Балдин,
С.Г.Басиладзе, Г.Л.Варденга, В.Д.Володин,
Н.С.Глаголева, А.И.Голохвастов, А.Г.Грачев,
Е.А.Дементьев, В.Г.Иванов, М.С.Журавлева,
Н.И.Каминский, П.С.Кузнецов, Ю.Лукстиньш,
П.К.Маньяков, Е.А.Матюшевский, А.Т.Матюшин,
В.Т.Матюшин, М.Г.Мещеряков, Ж.Ж.Мусульманбеков,
Н.Н.Нургожин, Э.О.Оконов, Г.И.Олейник,
В.А.Степаненко, Х.Хмелевски, С.А.Хорозов,
Ю.А.Черепанов, Э.А.Шевченко

УСТАНОВКА

С ДВУХМЕТРОВОЙ СТРИМЕРНОЙ КАМЕРОЙ
В МАГНИТНОМ ПОЛЕ -СКМ-200

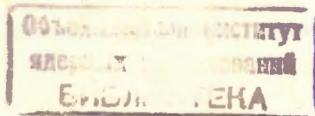
1977

А.У.Абдурахимов, М.Х.Аникина, А.М.Балдин,
С.Г.Басиладзе, Г.Л.Варденга, В.Д.Володин,
Н.С.Глаголева, А.И.Голохвастов, А.Г.Грачев,
Е.А.Дементьев, В.Г.Иванов, М.С.Журавлева,
Н.И.Каминский, П.С.Кузнецов, Ю.Лукстиньш,
П.К.Маньяков, Е.А.Матюшевский, А.Т.Матюшин,
В.Т.Матюшин, М.Г.Мещеряков, Ж.Ж.Мусульманбеков,
Н.Н.Нургожин, Э.О.Оконов, Г.И.Олейник,
В.А.Степаненко, Х.Хмелевски, С.А.Хорозов,
Ю.А.Черепанов, Э.А.Шевченко

УСТАНОВКА

С ДВУХМЕТРОВОЙ СТРИМЕРНОЙ КАМЕРОЙ
В МАГНИТНОМ ПОЛЕ -СКМ-200

Направлено в ПТЭ



Абдурахимов А.У. и др.

13 - 10692

Установка с двухметровой стримерной камерой в магнитном поле - СКМ-200

Описана установка для исследования адрон-ядерных взаимодействий в двухметровой стримерной камере, помещенной в магнитное поле. Приводятся описания основных узлов установки и соответствующие характеристики. Эти рабочие характеристики были получены при облучении установки на синхрофазотроне ОИЯИ в пучке α -частиц с импульсом 17 ГэВ/с. Регистрировались взаимодействия α -частиц с твердой мишенью (Li), помещенной внутри камеры, и с ядрами газа-наполнителя (Ne). В ходе этого облучения было снято свыше 80 тысяч стереофотографий.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

В соответствии с проектом^{/1/} в ОИЯИ была создана установка СКМ-200, основой которой является двухметровая стримерная камера^{/2/}, помещенная в магнитное поле. Установка СКМ-200 - один из двух крупнейших в мире спектрометров со стримерной камерой* - предназначена для исследований в области релятивистской ядерной и гиперядерной физики, а также физики каонов на ускорителях Дубны и Серпухова^{/4.5/} и может быть использована в других областях физики высоких энергий.

После успешных стендовых испытаний стримерной камеры^{/6/} установка СКМ-200 в 1973 году была смонтирована в измерительном павильоне синхрофазотрона с таким расчетом, чтобы обеспечить возможность работы ее как в пучках протонов и релятивистских ядер, так и в пучках вторичных частиц - каонов и пионов. К концу 1974 года на этой установке было получено более 100 тыс. стереофотографий, из которых свыше 80 тыс. - в пучках α -частиц с импульсом 17 ГэВ/с. Результаты предварительного анализа α Li - и α Ne - взаимодействий, зарегистрированных в камере, опубликованы в работе^{/7/}. Схема установки приведена на рис. 1.

Наиболее существенные системы и узлы установки СКМ-200 были описаны в работах^{/8-16/}. Цель настоящей статьи - дать краткое описание всей установки в целом и привести ее характеристики, полученные в результате проведенных облучений.

* Рабочий объем стримерной камеры в магнитном поле, действующей в США /СЛАК/, имеет примерно такие же размеры^{/3/}.

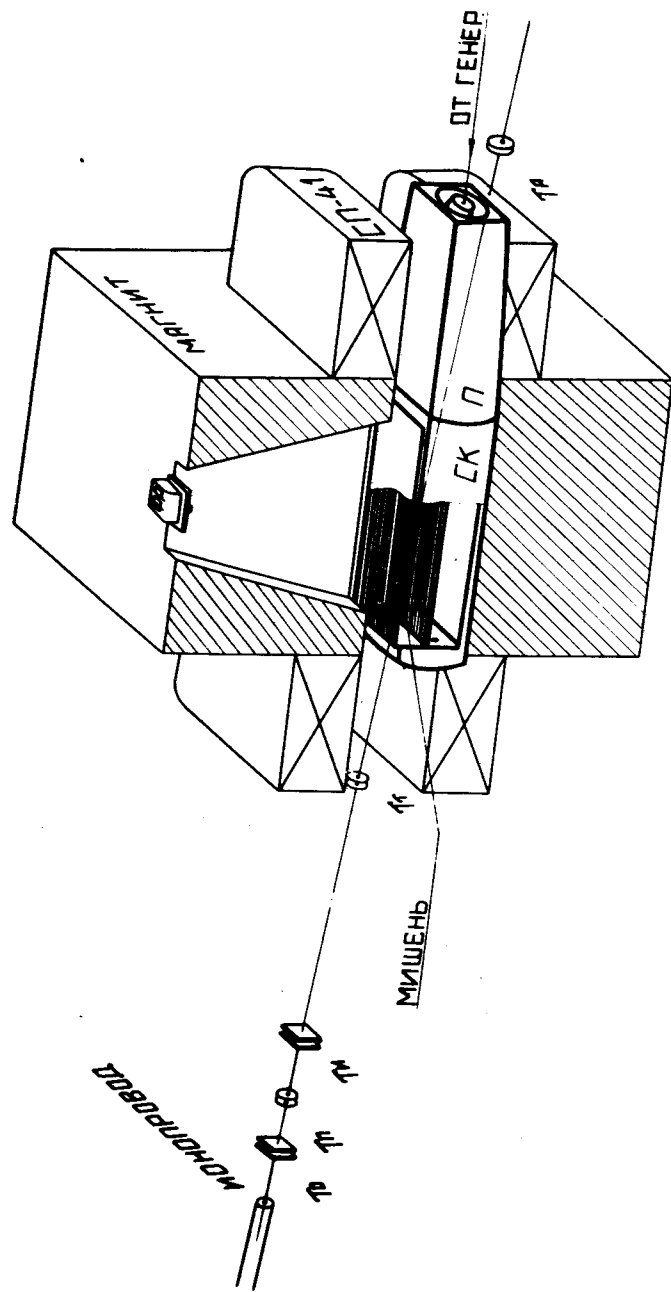


Рис. 1. Схема установки. СК - стримерная камера в магните СП-41. В верхнем полюсе магнита - шахта для фотографирования /ФР/. П - система электродов, соединяющих генератор и камеру. Т₀, Т_п, Т_и, Т_т, Т_а - счетчики, запускающие стримерную камеру.

1. Камера

Двухметровая стримерная камера^{/2/} содержит два рабочих зазора по 30 см. Рабочий объем камеры /1 м³/ просматривается через окна размерами 191 x 88 см², герметично затянутые лавсановой пленкой толщиной 0,15 мм. Верхний и средний электроды камеры - проволочные, нижний - пластина из дюралюминия. Диаметр проволоки среднего и верхнего электрода /0,1 и 0,25 мм/ и шаг /0,6 и 1,8 мм соответственно/ выбраны на основании результатов работы^{/17/}, при этом возникновения электрической короны на них в рабочих режимах камеры не наблюдалось. Нижний электрод камеры с девятью окнами ϕ 60 мм для фотографирования реперных крестов зачернен для уменьшения коэффициента отражения света. Стенки камеры выполнены из листового пенопласта, каркас и электроды соединены эпоксидным клеем с наполнителем.

Камера смонтирована в кожухе - экране, установленном на тележке, передвигаемой по уголковым направляющим, закрепленным в зазоре магнита.

Электродная система камеры образует симметричную полосковую линию передачи высоковольтного импульса, в качестве согласующей нагрузки которой /36 Ом/ служат сопротивления типа ТВО-60, равномерно распределенные на ее выходе.

Пучок ускоренных частиц пропускается через отверстие в экране и затянутое лавсановой пленкой толщиной 0,05 мм окно в стенке камеры на высоте 80 мм от среднего электрода. Внутри объема камеры на расстоянии 30-40 см от входного окна располагается съемная мишень. В качестве мишеней могут использоваться любые материалы, в том числе металлы.

2. Генератор высоковольтных импульсов

Генератор высоковольтных импульсов^{/8/}, содержащий коаксиальную двойную формирующую линию /ДФЛ/ и генератор импульсного заряда линии обеспечивает получе-

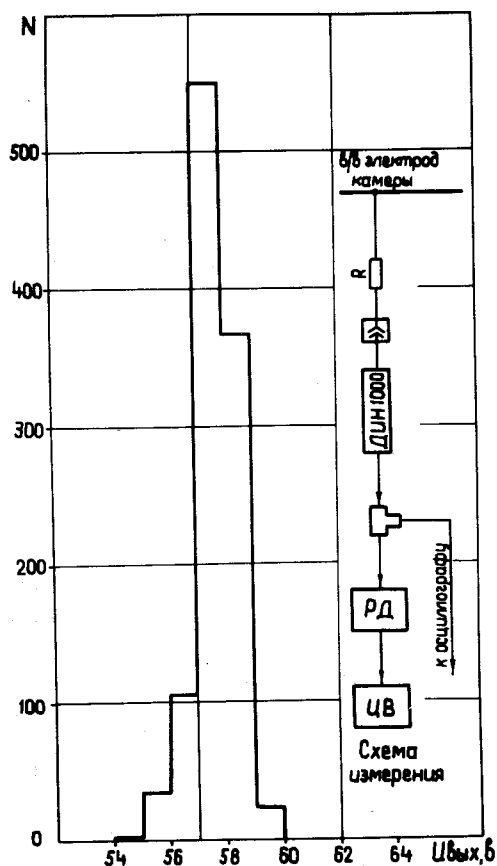


Рис. 2. Гистограмма, характеризующая стабильность амплитуды высоковольтного импульса на электродах стримерной камеры в показаниях цифрового вольтметра /ЦВ/.

ние на согласующей нагрузке /36 Ом/ выходного импульса с амплитудой до 700 кВ. Конструкция ДФЛ предусматривает возможность изменения длительности выходного импульса в пределах 7-13 нс путем замены среднего электрода. Как показано в работе /15/, уменьшение длительности импульса при соответствующем повышении его амплитуды позволяет увеличить яркость треков, однако при длительностях импульсов, меньших 10 нс, резко воз-

растает электрическое коронирование на выходе генератора, приводящее к пробое даже при замене воздуха элегазом в переходном участке линии ДФЛ-камера.

В рабочем режиме камеры с неоновым наполнением длительность высоковольтного импульса - 10,5 нс, амплитуда - 500 кВ. При замене неоновой камеры гелиевой амплитуда и длительность импульса изменяются в соответствии с рассчитанными в работе /15/ кривыми, причем заметное изменение наступает при содержании неона в камере менее 30% от всего объема, при 10% неона амплитуда импульса была увеличена до 560-600 кВ, а его длительность - до 12,5 нс.

Амплитуда и задержка высоковольтного импульса при работе установки непрерывно контролируются специальной аппаратурой, описанной в /9,10/. Результаты измерений с помощью цифровых вольтметров выводятся на ЦПМ и могут быть переданы в ЭВМ и на информационное табло для фотографирования вместе с треками.

Рис. 2 характеризует стабильность амплитуды высоковольтного импульса в течение 8 часов работы установки. Средняя величина нестабильности не превышала $\pm 1,5\%$. На этом же рисунке приведена схема измерений. Импульс напряжения с высоковольтного электрода камеры через делитель /ДИН 1000/ с временем нарастания фронта импульса не хуже 2 нс, выполненный на основе резисторов типа ТВО и УЛИ, передается на расширитель /РД/, а затем на цифровой вольтметр /ЦВ/. Задержка высоковольтного импульса измеряется путем аналогового преобразования временных интервалов в напряжение. Общая задержка при работе установки около 1 мкс.

3. Система газообеспечения

Газообеспечение стримерной камеры производится с помощью системы, описанной в работе /11/. Основой разработанной схемы газообеспечения является непрерывный продув камеры рабочим газом со сбором и регенерацией его под давлением. Регенерация газа может осуществляться либо при работающей ка-

мере, либо после ее выключения, что позволяет, с одной стороны, поддерживать требуемую чистоту газа в камере путем фиксации и регулировки величины потока газа через нее, с другой - выбрать наиболее эффективный и экономичный режим регенерации. Для автоматического слежения за отклонением давления в камере от атмосферного, а также для предварительного сбора газа, выходящего из камеры, в систему введен уравновешенный газгольдер объемом $1,3 \text{ м}^3$.

Величина потока газа через камеру может регулироваться в пределах от 5 до 500 л/ч. Производительность системы регенерации не менее $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ при уровне содержания воздуха во входном газе 0,3% и выходном - не более 0,01%. В рабочем режиме при натекании воздуха в камеру 0,005% объема в час величина потока газа устанавливается в пределах 5-10 л/ч в зависимости от требуемого времени памяти стримерной камеры /5-10 мкс/. Более подробно этот вопрос рассмотрен в работе /12/.

4. Анализирующий магнит

Стримерная камера помещена в зазоре модифицированного магнита ИСП-41. Площадь полюсов стандартного магнита ИСП-41 - $2000 \times 1000 \text{ мм}^2$, а зазор - 500 мм. В процессе его модификации была снята одна пластина с нижнего полюса и переделан верхний таким образом, что зазор был увеличен до 760 мм. Кроме того, в верхнем полюсе было сделано расширяющееся в сторону камеры пирамидальное отверстие для фотографирования с размерами: сверху - $700 \times 800 \text{ мм}^2$ и у нижнего среза - $1800 \times 800 \text{ мм}^2$. Магнитная индукция в зазоре при этом уменьшилась до 1 Тл /10 кГс/, но, несмотря на большое отверстие в верхнем полюсе, неоднородность магнитного поля в центральной части стримерной камеры / $1600 \times 400 \times 600 \text{ мм}^3$ / не превышает 5%.

Измерения, произведенные с помощью датчика Холла в большом числе точек /свыше 35000/ позволили построить топографию магнитного поля в зазоре с доста-

точной точностью /0,5% для вертикальной составляющей/. Измерения магнитного поля проводились с помощью автоматической системы с выводом результатов на ЭВМ БЭСМ-4.

На нижнем полюсе магнита жестко закреплена дюралюминиевая плита с реперными крестами, а по всей длине магнита /7 м с учетом обмоток/ в направлении пучка проложены уголковые направляющие, установленные таким образом, что при движении кожуха-экрана с камерой в зазор окна в нижнем электроде камеры совмещаются с соответствующими реперными крестами.

5. Система фотографирования

Треки в стримерной камере регистрируются двухобъективным стереофотоаппаратом /стереобаза - 316 мм/, закрепленным наверху магнита. Вся система фотографирования жестко связана с магнитом. Ось пучка частиц в камере лежит в плоскости фокусировки объективов, при этом расстояние съемки - 2300 мм, что при используемых объективах типа ОКС-1-56 приводит к масштабу изображения 1:40.

Съемка производится на перфорированную 35-миллиметровую фотопленку /чувствительность 3000-4500 ед. ГОСТ, коэффициент контрастности 1,6-1,8/, размер кадра $22 \times 50 \text{ мм}^2$.

Реперные кресты выполнены в виде узких щелей шириной 0,1 мм, подсвечиваемых снизу неоновыми лампочками типа МН-0,2, работающими в импульсном режиме. Расстояния между крестами измерены с точностью не хуже 0,03 мм, размеры реперной сетки /число реперов может быть до 20/ составляют $600 \times 1900 \text{ мм}^2$. Импульсный запуск стереофотоаппарата и подсвет крестов осуществляются с помощью аппаратуры, описанной в работе /13/.

Служебная информация, которая вводится в световое табло /14/ посредством оптической системы /рис. 3/ из наклонных зеркал /1 и 2/ и телескопической насадки, состоящей из прямоугольных линз /+4 и -5 диоптрий/,

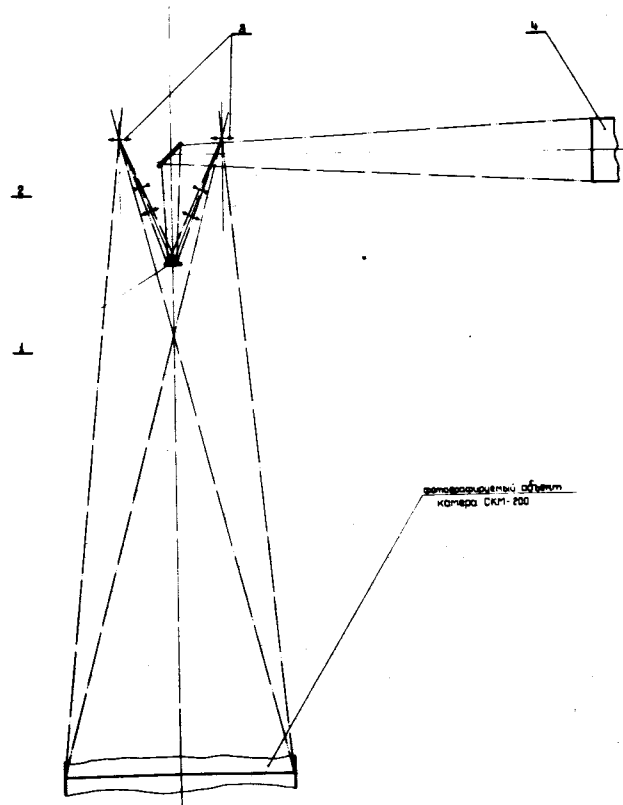


Рис. 3. Схема фотографирования камеры и тарбо двумя объективами ОКС-1-56 /3/. Расстояние до плоскости фокусировки /1/ - 2300 мм, 2 - зеркала перископической системы для фотографирования тарбо /4/.

передается в кадр и фотографируется при срабатывании стримерной камеры.

На рис. 4 приведена гистограмма, характеризующая точность измерения импульсов пучковых α -частиц с $P/Z = 8,5$ ГэВ/с /при этом среднеквадратичная ошибка $\sigma = 0,35 \pm 0,4$ */.

* При прочих равных условиях $\sigma \rightarrow 1/P_Z$ /с учетом заряда частицы Z/.

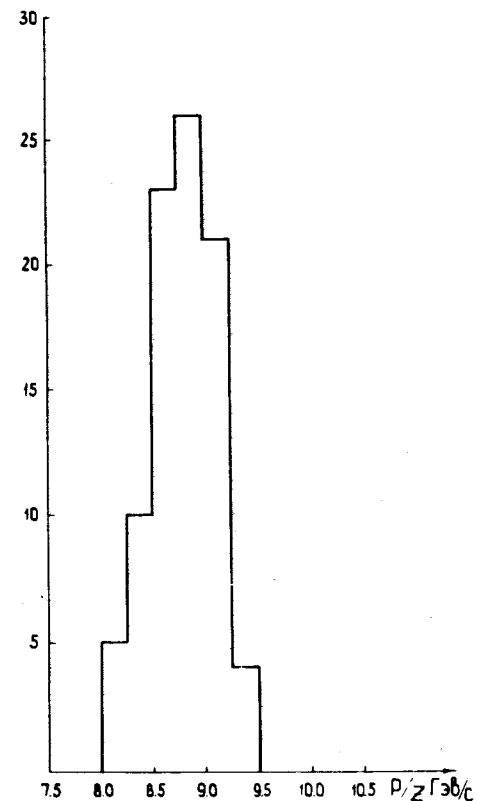


Рис. 4. Распределение импульсов пучковых α -частиц, измеренных на фотографии в стримерной камере. Видно, что точность измерения импульса $\Delta P/P = 3,5\%$ для $P/Z = 8,5$ ГэВ/с.

6. Триггер

Первый этап исследований на установке СКМ-200 предусматривал наблюдение всех взаимодействий α -частиц с мишенью /4/. Система отбора событий запускала камеру при выбывании α -частицы из пучка на участке, находящемся внутри объема камеры. Геометрия распо-

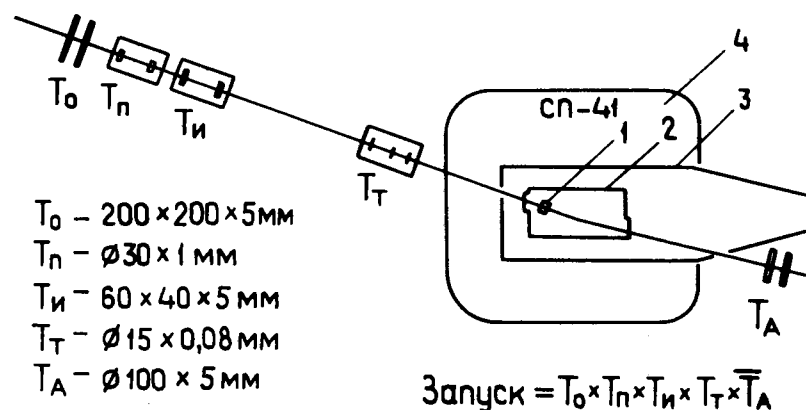


Рис. 5. Схема расположения и размеры сцинтилляционных счетчиков в эксперименте, в котором запуск осуществлялся при выбывании α -частицы из пучка /нет сигнала от счетчиков T_A /. Счетчик T_p определял заряд частицы, счетчики $T_{и}$ и T_T выделяли частицы, попадающие в мишень /1/. Линиями 2 и 3 указаны контуры камеры и экранного /заземленного/ электродов. 4 - магнит СП-41.

ложения телескопов сцинтилляционных счетчиков, осуществлявших триггер, размеры пластиков и логическая схема электроники показаны на рис. 5 и подробно описаны в работе /16/.

В телескопах сцинтилляционных счетчиков использованы ФЭУ-30 и блоки быстрой электроники, разработанные в ЛВЭ /18/. К системе отбора предъявлялись следующие требования:

а/ надежное выделение α -частиц входным телескопом;

б/ малая вероятность взаимодействия α -частиц в последнем перед входом в камеру телескопе;

в/ высокая эффективность подавления счетчиками антисовпадений случаев, когда не было взаимодействия /при минимальной чувствительности к однозарядным частицам/.

Импульс со всех ФЭУ системы запуска поступал на остальные схемы через линейные разветвители, к пос-

ледним могла быть подключена система контроля, основным элементом которой являются линейные "ворота" с медленным выходом на анализатор. Это позволяло наблюдать состав пучка по заряду и оценивать возможность идентификации компонент по амплитуде импульсов и одновременно контролировать порог дискриминации по амплитудному спектру.

Система идентификации давала возможность выделять α -частицы на фоне однозарядных частиц по величине амплитуды импульсов со сцинтилляционных счетчиков ($dE/dx \sim Z^2$). При этом подавление однозарядных частиц этой системой было около 10^4 .

Счетчики телескопа системы антисовпадений / T_A / работали в ионизационном режиме, при этом запуск запрещался при попадании в антисовпадательные счетчики частиц с зарядом 2 и более.

7. Система вывода цифровой информации

Для контроля за основными параметрами во время работы установки СКМ-200 разработана автономная система вывода цифровой информации на десятичные индикаторы и на цифropечать. В основу системы был положен опыт использования схемы вывода данных на цифropечать и перфоленту в стандарте КАМАК /19/. Система накапливала информацию и передавала ее на пульт оператора и на световое табло для ввода в кадр, причем могли регистрироваться как текущие параметры /число циклов ускорителя, кадров стереофотоаппарата, срабатываний камеры, счет мониторных счетчиков, показания цифровых вольтметров/, так и постоянные, устанавливаемые оператором: номера экспозиции, пленки и др.

В дальнейшем предусматривается связь этой аппаратуры с ЭВМ типа ТРА-1.

Для визуального дистанционного контроля за работой узлов установки с пульта оператора используется промышленная 12-канальная телевизионная установка типа ПТУ-103М.

Общий вид установки, смонтированной в измерительном павильоне синхрофазотрона, показан на рис. 6.

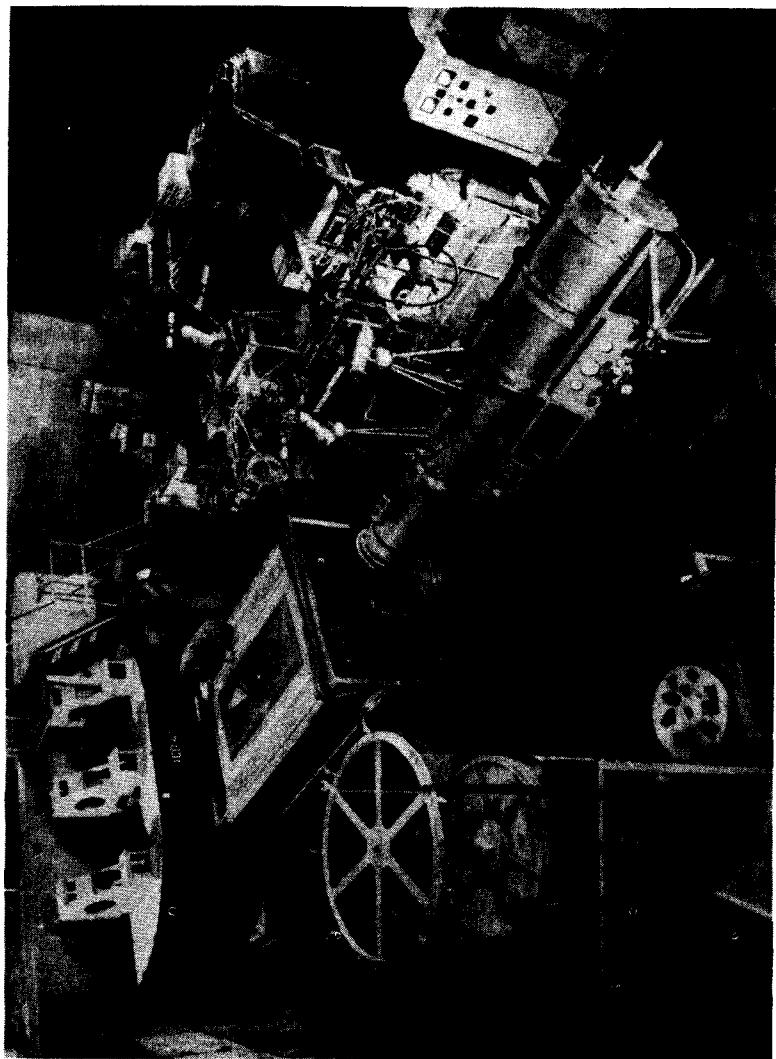


Рис. 6. Общий вид установки, смонтированной в измерительном павильоне синхрофазотрона.

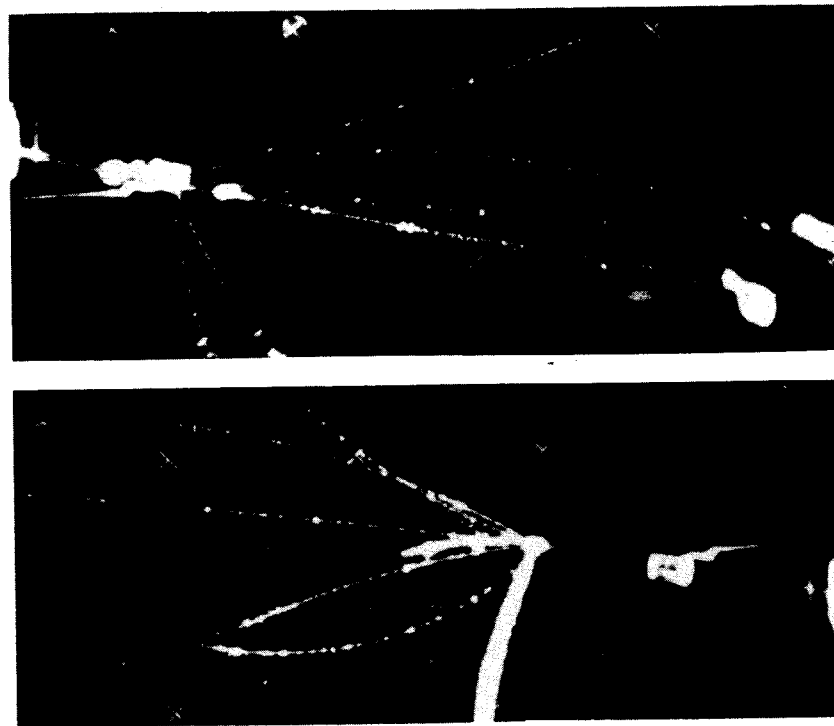


Рис. 7. Характерные картины взаимодействий, зарегистрированных камерой: а/аLi ; б/аNe , при импульсе α -частицы 17 ГэВ/с.

8. Математическое обеспечение экспериментов

На рис. 7 приведена картина взаимодействия, зарегистрированного в камере в пучке α -частиц. Обмер стереоснимков с СКМ-200 производится на полуавтоматах ОИЯИ, работающих на линии с ЭВМ БЭСМ-4/20/.

Для реконструкции пространственной картины событий на ЭВМ БЭСМ-6 создана специальная программа ГЕОМСК. В отличие от обычных трековых камер, где взаимодействия налетающих частиц наблюдаются в газе или жидкости, в СКМ-200 в основном изучаются взаи-

модействия налетающих частиц с ядрами твердой мишени. В этом случае точки взаимодействия налетающих частиц с ядрами мишени не видны на фотографиях. Поэтому в процессе реконструкции событий с СКМ-200 необходимо также находить координаты невидимой вершины.

Для решения этой задачи на начальном этапе реконструкции вычисляются "координаты проекций" невидимой вершины как точки пересечения проекций треков события на каждом стереоснимке^{/21/}. Далее находятся пространственные координаты вершины и реконструкция события идет по стандартной методике, применяемой для обычных пузырьковых камер^{/22/}.

Проверка методики реконструкции невидимой вершины события показала, что она дает удовлетворительные результаты для событий, в которых вторичные треки образуют с пучком углы $\geq 10-15^\circ$ /подробней см.^{/21,22/}. Для событий с небольшими углами разлета вторичных частиц эта методика не всегда давала хорошие результаты.

Поэтому в этих случаях в качестве первого приближения "координат проекций" невидимой вершины брались координаты проекции пучкового трека в центре мишени. Далее в ходе реконструкции пространственные координаты вершины уточнялись с учетом параметров выходящих из нее треков.

Программа ГЕОМСК имеет модульную структуру и состоит из элементов системы ГИДРА^{/23/}. Общая длина программы превышает отведенный для пользователей объем оперативной памяти ЭВМ БЭСМ-6. В связи с этим она разделена на несколько сегментов, перезагружаемых в процессе обсчета данных^{/24/}. В настоящее время имеются две схемы сегментации программы. Первая рассчитана на ввод данных о топографии магнитного поля с перфокарт, вторая - с магнитной ленты. Число данных, задаваемых на магнитной ленте, в несколько раз превышает объем информации, задаваемой на перфокартах. В связи с этим для второго варианта пришлось увеличить длину общего блока динамически распределяемой памяти, что привело к увеличению числа перезагружаемых сегментов, а соответственно и к возрастанию времени счета.

Библиотека программы хранится на магнитной ленте и состоит из следующих частей^{/25/}:

1. Личная библиотека служебных пакетов системы ГИДРА и подпрограмм общего назначения.
2. РАМ-файл геометрии, содержащий основные модули системы, предназначенные для восстановления пространственной картины событий.
3. РАМ-файл пользователя, в котором хранятся модули и подпрограммы, зависящие от характера эксперимента.

Сборка конкретных версий программы ГЕОМСК производится с помощью специальной программы^{/26/}.

Работа эта выполнена в ЛВТА и ЛВЭ ОИЯИ при участии сотрудников ИФВЭ КазССР.

Авторы благодарны руководству лабораторий за активное содействие в создании установки, всем подразделениям ЛВТА, ЛВЭ и ИФВЭ, участвовавшим в реализации проекта. За активное участие в изготовлении аппаратуры и участие в экспериментах авторы благодарны С.М.Биттибаеву, С.А.Краснову, Т.Д.Иманбекову, Г.Ф.Акимовой, А.А.Верещагину, Н.Н.Графову, А.И.Завгороднему, **Б.Е.Роганову**, В.П.Садиллову, В.Я.Рубцову.

Литература

1. Аникина М.Х. и др. ОИЯИ, 13-4527, Дубна, 1969.
2. Варденга Г.Л. и др. ОИЯИ, P13-9315, Дубна, 1975.
3. Bulos F. e.a. *Streamer Chamber Development*, SLAC-74, 1967.
4. Банник Б.П. и др. Депонированная публикация ОИЯИ, B2-1-7113, Дубна, 1973.
5. Оконов Э.О. ОИЯИ, 8309, стр. 104, Дубна, 1974.
6. Vardenga G.L. e.a. In: *Proceedings Intern. Conf. Instrumentation for High Energy Physics. Frascati (Italy), 8-12 May 1973.*

7. Аникина М.Х. и др. ОИЯИ, 1-9280, Дубна, 1975.
8. Глаголева Н.С. и др. ОИЯИ, 13-7792, Дубна, 1974.
9. Володин В.Д. и др. ОИЯИ, P13-7811, Дубна, 1974.
10. Глаголева Н.С., Матюшин А.Т., Матюшин В.Т. Авторское свидетельство СССР № 371678 кл. НОЗк 5/04 от 25.6.71 г. Бюлл. ОИПОТЗ №12, стр. 165 /1973/.
11. Белякин В.М. и др. ОИЯИ, 13-7878, Дубна, 1973.
12. Матюшин А.Т. и др. ОИЯИ, 13-9563, Дубна, 1976.
13. Володин В.Д. и др. ПТЭ, 1973, 3, 66.
14. Грачев А.Г. и др. ОИЯИ, Б1-13-9382, Дубна, 1975.
15. Глаголева Н.С. и др. ОИЯИ, P13-7791, Дубна, 1974.
16. Аникина М.Х. и др. ОИЯИ, 13-9030, Дубна, 1975.
17. Матюшин А.Т., Матюшин В.Т. ПТЭ, 1966, 5, 76.
18. Арефьев В.А. и др. ОИЯИ, 13-5447, Дубна, 1970.
Басиладзе С.Г. и др. ОИЯИ, 13-6383, Дубна, 1972.
19. Белякова М.П. и др. ОИЯИ, 10-7325, Дубна, 1973.
20. Ермолаев В.В. и др. ОИЯИ, Д10-6142, стр. 342-351, Дубна, 1971.
21. Дорж Л., Иванов В.Г., Степаненко В.А. ОИЯИ, P5-8560, Дубна, 1975.
22. Буздавина Н.А. и др. ОИЯИ, Д10-8245, стр. 47-61, Дубна, 1974.
23. Вбск Р.К. е.а. ОИЯИ, Д10-6142, стр. 547-564, Дубна, 1971.
24. Мазный Г.Л. ОИЯИ, 11-5974, Дубна, 1971.
25. Говорун Н.Н. и др. ЭЧАЯ, 1975, т. 6, вып. 3, стр. 743-775.
26. Дорж Л. и др. ОИЯИ, 10-6882, Дубна, 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 мая 1977 года.