

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



СЗЧЧ. 1и

А-471

P13 - 8538

995/3-75

Г.Д.Алксеев, В.И.Ганичев, Н.А.Калинина,  
В.М.Королев, В.В.Круглов, В.Н.Кузнецов,  
А.В.Куликов, А.В.Купцов, Л.Л.Неменов,  
Д.М.Хазинс, И.Н.Чурин

УСТАНОВКА ДЛЯ ПОИСКА НОВЫХ  
МЕТАСТАБИЛЬНЫХ ЧАСТИЦ МЕТОДОМ  
РЕГИСТРАЦИИ ЗАПАЗДЫВАЮЩЕГО  
ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

**1975**

Г.Д.Алексеев, В.И.Ганичев, Н.А.Калинина,<sup>1</sup>  
В.М.Королев, В.В.Круглов,<sup>1</sup> В.Н.Кузнецов,<sup>2</sup>  
А.В.Куликов,<sup>1</sup> А.В.Купцов, Л.Л.Неменов,  
Д.М.Хазинс, И.Н.Чурин

УСТАНОВКА ДЛЯ ПОИСКА НОВЫХ  
МЕТАСТАБИЛЬНЫХ ЧАСТИЦ МЕТОДОМ  
РЕГИСТРАЦИИ ЗАПАЗДЫВАЮЩЕГО  
ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

---

<sup>1</sup> НИИЯФ МГУ

<sup>2</sup> Иркутский государственный университет

## 1. Введение

Описываемая установка предназначена для поиска новых долгоживущих частиц методом регистрации высокоэнергетических продуктов их распада. Предполагается, что новые частицы могут образоваться в столкновениях протонов высокой энергии с ядрами мишени и, с некоторой малой вероятностью, остановиться внутри ядра-продукта глубокого расщепления. Распад этих частиц должен сопровождаться выделением значительной энергии и по этому признаку может быть выделен среди актов обычного радиоактивного распада. Этот метод был предложен в <sup>1/</sup> и реализован в <sup>2-4/</sup> для поиска активностей с периодами полураспада более нескольких часов. Измерения проводились с мишенями, удаленными из места облучения.

Настоящая установка способна детектировать излучение высокой энергии от мишени, постоянно находящейся на траектории пучка. Аппаратура позволяет регистрировать распады с испусканием гамма-квантов и электронов с временами жизни от миллисекунд и более.

## 2. Расположение установки и пучок

Установка располагается на выведенном протонном пучке канала №9 ускорителя ИФВЭ в Серпухове. Место размещения детекторов находится в опасной радиационной зоне, и во время работы ускорителя доступ к установке закрыт. Это предъявляет особые требования к надежности аппаратуры.

Схема установки приведена на рис. 1. Продукты распада гипотетических частиц, рождающихся и останавли-

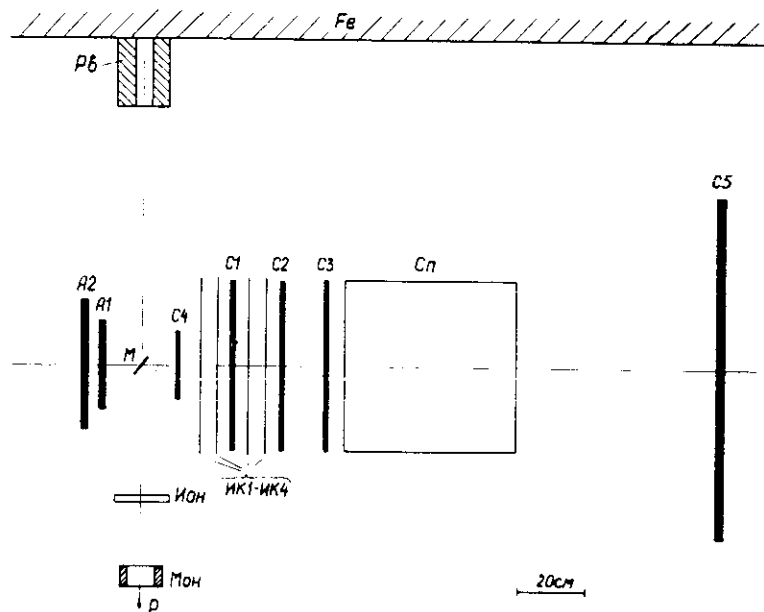


Рис. 1. Схема расположения детекторов.

вающихся в мишени М, регистрируются сцинтилляционными счетчиками  $C_1-C_4$  бесфильмовыми искровыми камерами ИК<sub>1</sub>-ИК<sub>4</sub> и водяным черенковским спектрометром /Сп/. Измерения проводятся в промежутках между сбросами пучка на мишень. Аппаратура работает на линии с электронной вычислительной машиной.

В каждом цикле ускорения осуществляется быстрый вывод /5/ в канал одного сгустка протонов /банча/. Длительность цикла - около 9 с. Длительность сброса протонов на мишень /длительность банча/ - около 20 нс. Интенсивность сброса - до  $6 \times 10^{10}$  протонов в банче. Энергия выведенных протонов - до 70 ГэВ.

Мишень представляет собой свинцовую пластинку толщиной несколько миллиметров и может передвигаться

в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Мишень служит одновременно конвертором для рождающихся в ней гамма-квантов.

Размер пучка на мишени составляет 8 мм по вертикали и горизонтали /ширина на полувысоте/. Контроль за формой и положением пучка производится, во-первых, с помощью люминесцентных экранов, помещенных в пучок и просматриваемых телевизионной установкой, и, во-вторых, при помощи многопроволочной ионизационной камеры /Ион/ /рис. 1/ размером  $160 \times 160$  мм<sup>2</sup>, информация с которой выведена на осциллограф /6/.

Интенсивность протонного пучка измеряется в каждом цикле индукционным монитором /Мон/, изготовленным на основе кольцевого ферритового трансформатора. Кроме того, проводится измерение интегрального потока протонов по активации медных и алюминиевых фольг, помещенных в пучок. Для этого по окончании экспозиции на специальном стенде измеряется спектр гамма-излучения от облученных фольг. По интенсивности линий от изотопов <sup>22</sup>Na и <sup>24</sup>Na /сечения образования которых известны с точностью около 10%/ вычисляется поток прошедших через мишень частиц.

Заметим, что большая интенсивность пучка приводит к высокому уровню наведенной радиоактивности как на мишени, так и на окружающих предметах /рядом с установкой находится железная стена, в которой поглощается протонный пучок/. Поэтому все детекторы работают в условиях сильного радиоактивного фона.

### 3. Детекторы

Схема расположения детекторов изображена на рис. 1. Ось установки составляет угол 90° с пучком и 45° с горизонтальной плоскостью.

В состав детекторов входят сцинтилляционные счетчики  $C_1-C_5$ ,  $A_1, A_2$ , водяной черенковский спектрометр /Сп/, проволочные искровые камеры ИК<sub>1</sub>-ИК<sub>4</sub>. Счетчики  $C_1-C_4$  служат для регистрации факта прохождения частицы через телескоп счетчиков. Счетчики  $A_1$  и  $A_2$ , находящиеся по другую сторону мишени, служат для выде-

ления запусков, вызванных космическими частицами. Амплитуды импульсов со всех этих счетчиков измеряются, что позволяет подавлять радиоактивный фон по величине ионизационных потерь /радиоактивный фон дает, в основном, сигналы с малыми амплитудами/.

Сцинтилляторы счетчиков  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  имеют размеры  $500 \times 500 \times 10$  мм<sup>3</sup>,  $C_4$  -  $200 \times 200 \times 10$  мм<sup>3</sup>,  $A_1$  -  $260 \times 260 \times 20$  мм,  $A_2$  -  $380 \times 380 \times 20$  мм<sup>3</sup>. В этих счетчиках используются фотоумножители типа ФЭУ-30. Светосбор в счетчиках  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  производится с двух противоположных граней на два фотоумножителя, в  $A_2$  - с одной грани на два фотоумножителя,  $C_4$  и  $A_1$  - на один фотоумножитель. Для улучшения загрузочных характеристик этих счетчиков последние четыре диода фотоумножителей дополнительно запитываются от низкоомных источников питания УИП-1<sup>7/</sup>. На счетчиках, имеющих по два фотоумножителя, смешивание сигналов с двух ФЭУ производится на схемах линейных сумматоров, находящихся в домике экспериментатора.

Черенковский спектрометр<sup>8/</sup> служит для измерения энергии электронов. Радиатором является дистиллированная вода, заливаемая в плексигласовый бак с внутренними размерами  $500 \times 500 \times 500$  мм<sup>3</sup>. Радиатор просматривается через заднюю стенку девятью фотоумножителями ФЭУ-49. Для смещения спектра черенковского излучения в область чувствительности сурьмяно-цезиевого фотокатода в воде растворялась дикалиевая соль амино-Г-кислоты в концентрации 20 мг/л. Зависимость амплитуды сигналов спектрометра и его разрешения от энергии электронов показана на рис. 2. Последние четыре диода фотоумножителей спектрометра дополнительно запитываются от источников питания Б7-3.

Счетчик  $C_3$  выделяет частицы, насквозь пронизывающие спектрометр, и служит для его калибровки. В амплитудном распределении импульсов со спектрометра от частиц, насквозь пронизывающих радиатор, имеется пик, соответствующий прохождению космических частиц с  $\beta \approx 1$  /т.к. при этом испускается максимальное количество фотонов черенковского излучения/. По положению этого пика производится абсолютная привязка пока-

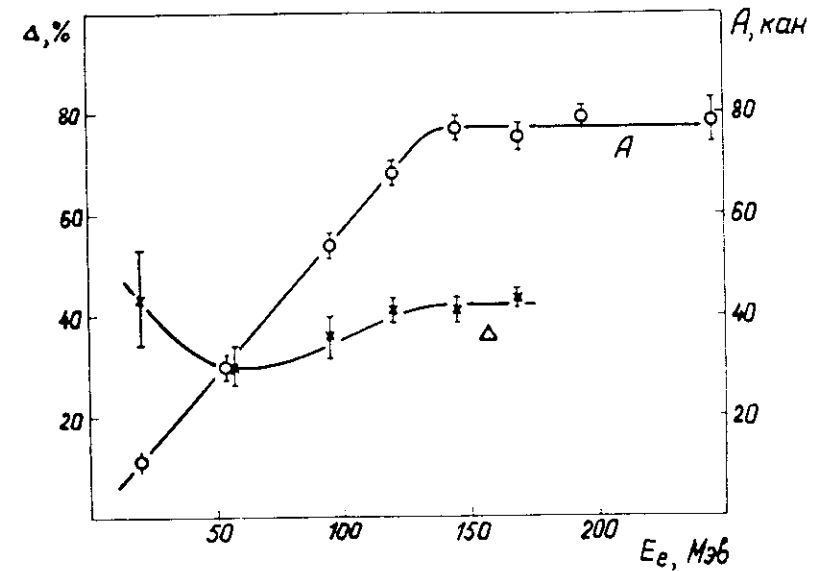


Рис. 2. Зависимость наиболее вероятной амплитуды и разрешения водяного спектрометра от энергии электронов.

заний спектрометра к калибровке на электронах, выполненной в<sup>8/</sup>. Сцинтиллятор счетчика  $C_3$  имеет размеры  $1000 \times 1000 \times 20$  мм<sup>3</sup> и просматривается через воздушный световод со стороны большой плоской грани фотоумножителем ФЭУ-49.

На всех сцинтилляционных счетчиках и спектрометре установлены световые диоды, с помощью которых контролируется работа детекторов, а также измеряются просчеты<sup>9/</sup> в электронных схемах.

Проволочные искровые камеры с ферритовым съемом информации служат для выделения таких событий, когда в камерах имеется трек, исходящий из мишени. Рабочие размеры камер -  $512 \times 512$  мм<sup>2</sup>. Конструкция их аналогична описанным в работе<sup>10/</sup> камерам меньшего размера. Каждая камера дает информацию о двух координатах. Рамки камер изготовлены из стеклопластика. Электроды намотаны медной проволокой диаметром 0,1 мм с шагом

1 мм. Зазор между электродами равен 8 мм. Камеры продуваются неоном с 1,6% добавкой спирта. Высоковольтный импульс на них подается с формирователей, выполненных на высоковольтных разрядниках<sup>11</sup>, которые могут работать в широком диапазоне напряжений питания без изменения величины зазора. Импульс поджига разрядников вырабатывается генератором высоковольтного импульса<sup>12</sup> /ГВИ/ в домике экспериментатора. Длина кабеля от ГВИ до формирователей - 85 м. Полная задержка подачи высоковольтного импульса на камеры составляет 1,3 мкс. Время памяти камер при очищающем поле 40 В равно 2,5 мкс.

Эффективность каждой камеры при малых нагрузках /на космических лучах при неработающем ускорителе/ составляет более 99%. При работе быстрого вывода протонов регистрируется большое число фоновых искр от наведенной радиоактивности. Поэтому вводится требование регистрации треков во всех четырех камерах, чтобы уменьшить число ложных "треков", проводимых через фоновые искры, случайно оказавшиеся на одной прямой. Эффективность камер при этом может определяться лишь по отношению числа треков к числу запусков. Получаемые таким образом значения эффективности занижены на несколько процентов, так как часть запусков не сопровождается треками в искровых камерах /в основном, это запуски от космических ливней/. Эффективность камер, определенная по числу запусков, при проведении трека по всем четырем камерам в обеих проекциях составляет 87%.

При увеличении загрузки камер эффективность их падает. Для сохранения высокой эффективности увеличивалась амплитуда высоковольтного импульса. Напряжение питания формирователей в зависимости от загрузки камер выбиралось в диапазоне от 7,2 до 8,6 кВ. При интенсивности пучка  $3 \cdot 4 \cdot 10^9$  протонов за цикл эффективность камер равнялась 70%.

Среднеквадратичная ошибка в определении координаты в каждой камере, измеренная с использованием треков в широком диапазоне углов, составляет  $0,5 \pm 1,0$  мм в зависимости от режима работы камер.

Подбор задержек и усиления для сцинтилляционных счетчиков и спектрометра, получение калибровочных распределений по величине ионизационных потерь и временных сдвигов между импульсами от детекторов, а также определение эффективности искровых камер во время экспозиции проводятся с использованием космических лучей. Выполнение этих работ с помощью частиц пучка, рассеявшихся на мишени, невозможно из-за большой интенсивности пучка и малой длительности сброса на мишень.

#### 4. Электроника

Электронную аппаратуру функционально можно разделить на четыре части: быструю электронику, систему многомерного амплитудного анализа, систему считывания информации с искровых камер и аппаратуру связи с ЭВМ.

Быстрая электроника состоит, в основном, из стандартных блоков, разработанных в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ<sup>13</sup>. Упрощенная блок-схема приведена на рис. 3. Импульсы от детекторов поступают к регистрирующей электронике по 50-омным кабелям длиной 85 м. Сигналы от детекторов суммируются по амплитуде, где это необходимо, и разветвляются на линейных сумматорах ЛС<sub>1</sub> ÷ ЛС<sub>7</sub>. Сигналы со счетчиков С<sub>1</sub> ÷ С<sub>4</sub> с одного из выходов ЛС<sub>3</sub> ÷ ЛС<sub>6</sub> через дискриминаторы Д<sub>1</sub> ÷ Д<sub>4</sub> приходят на схему совпадений СС<sub>1</sub> с разрешающим временем  $2\tau = 24$  нс. Выходной сигнал СС<sub>1</sub> и сигнал со спектрометра поступают на схему совпадений СС<sub>2</sub> с разрешающим временем  $2\tau = 70$  нс, которая вырабатывает мастер-импульс. Счетчики А<sub>1</sub>, А<sub>2</sub> и С<sub>5</sub> в электронную логику, формирующую мастер-импульс, не включены, а поступают на схему "Годоскоп". Схема дает на выходе в цифровом коде признак наличия сигнала на том или ином входе в момент прихода мастер-импульса. Это позволяет программным путем в ЭВМ отделять запуски, вызываемые космическими лучами, и использовать их для калибровки и непрерывного контроля за аппаратурой. Мастер-импульс поступает 1/ на управление удлинителями У<sub>1</sub> ÷ У<sub>7</sub>, на которые с выходов линейных сумматоров поступают сигналы от счетчиков С<sub>1</sub> ÷ С<sub>4</sub>, А<sub>1</sub>, А<sub>2</sub> и спектрометра, 2/ на схемы

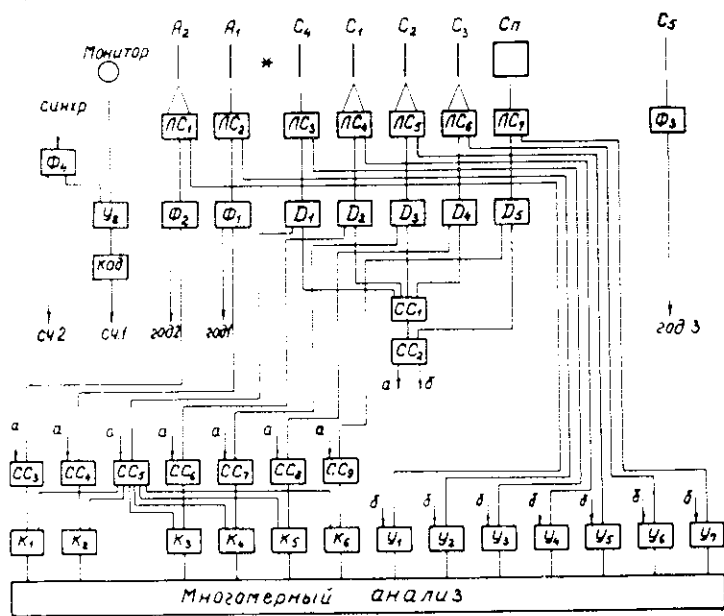


Рис. 3. Упрощенная блок-схема быстрой электроники. Обозначения приведены в тексте.

совпадений  $CC_3$ - $CC_9$  для пропуска импульсов с тех же детекторов на время-амплитудные конвертеры  $K_1$ - $K_6$ , 3/ на управление измерителем времени и схемой "Годоскоп", 4/ на запуск ГВИ и системы многомерного анализа.

Измеритель времени начинает отсчет с приходом синхронимпульса ускорителя /опережающего вывод пучка на 30 мкс/ и регистрирует моменты регистрации событий в течение цикла ускорителя.

Система многомерного амплитудного анализа позволяет одновременно измерять амплитуды импульсов по 16 входам и состоит из двух восьмимерных анализаторов<sup>14/</sup>, имеющих общее управление.

Сигнал с индукционного монитора через удлинитель  $У_8$  поступает на кодировщик /Код/ и далее на счетчик серии  $Сч1$ . Запись информации в счетчик происходит в момент сброса пучка на мишень, а считывание - с приходом каждого мастер-импульса. Счетчик /Сч2/ считает число синхронимпульсов /число циклов/ ускорителя.

Вывод информации на ЭВМ осуществляется через устройство связи<sup>15/</sup>, к которому подключены каркас с блоками КАМАК<sup>16,17/</sup> и система считывания информации с искровых камер, разработанные в ЛЯП ОИЯИ. Блок-схема вывода информации на ЭВМ приведена на рис. 4.

Каркас КАМАК управляется контроллером с фиксированными программами, работающим в режиме последовательного считывания со всех блоков каркаса. Информация от системы многомерного анализа поступает на два восьмиканальных двоичных счетчика. В каркасе КАМАК также находятся измеритель времени, быстрый входной регистр /"Годоскоп"/, двоичные счетчики с быстродействием 25 и 150 МГц, блоки задания констант, некоторые вспомогательные блоки.

Система считывания информации с искровых камер аналогична описанной в работе<sup>18/</sup>, однако, в отличие от нее, в использованном варианте логическая часть системы считывания выполнена на интегральных схемах.

### 5. Накопление данных и обработка на ЭВМ

Вычислительная машина выполняет во время эксперимента следующие функции: прием и накопление информации на магнитной ленте, оперативный контроль за работой аппаратуры, предварительный отбор событий. Использовалась ЭВМ БЭСМ-3М, оснащенная программно-управляемым каналом связи и схемой прерывания<sup>19,20/</sup>.

Передача информации ведется 45-разрядными словами в следующем формате.

Разряды:

- 1 - 17 - искровая информация,
- 19 - 34 - данные от системы КАМАК,
- 35 - 45 - резерв.

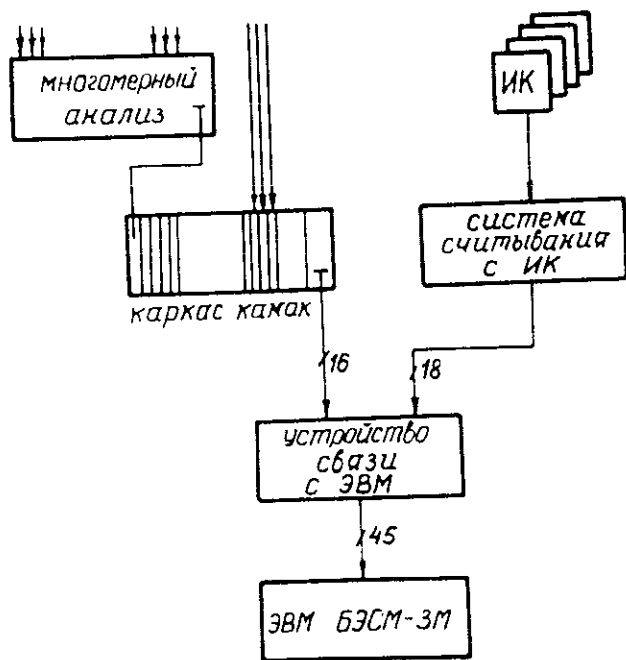


Рис. 4. Блок-схема вывода информации на ЭВМ.

Минимальное количество передаваемых слов равно 18 и определяется объемом информации, поступающей от системы КАМАК. Сверху количество передаваемых слов не ограничивается и определяется числом искр в проволочных камерах. /Ограничение сверху вводится в программе обработки на уровне 96 слов/.

Для каждого события в ЭВМ передается следующая информация:

1/ номера сработавших проволочек в искровых камерах;

2/ амплитуды и временные сдвиги для счетчиков  $C_1 \div C_4$ ,  $A_1$ ,  $A_2$  и спектрометра /от системы многомерного анализа/;

3/ время, истекшее с момента сброса пучка на мишень до регистрации события /с измерителя времени/;

4/ признак срабатывания счетчиков  $A_1$ ,  $A_2$  и  $C_5$  /со схемы "Годоскоп"/;

5/ интенсивность пучка в последнем сбросе;

6/ номер цикла;

7/ постоянное число /набираемое на блоке констант/, определяющее условия эксперимента;

8/ два контрольных кода для проверки качества связи.

Особенностью данного эксперимента, определившей логику приема, накопления и экспресс-обработки данных, является то, что регистрация событий осуществляется в промежутке между сбросами пучка на мишень. В этих условиях нет периодических, постоянной длины пауз между поступлением очередных событий. Подпрограмма, обеспечивающая обмен информацией с установкой, имеет высший приоритет и может прервать работу подпрограмм обработки. По окончании приема одного события ЭВМ продолжает прерванную обработку. Время переключения программы с обработки на прием сведено к минимуму и составляет 300-500 мкс. Первоначальный вариант программы описан в работе /21/.

Если запуск установки вызван космической частицей /сработали счетчики  $A_1$  и  $A_2$ , а также зарегистрирован трек в искровых камерах/, то событие используется для калибровки и контроля аппаратуры. Амплитуды и временные сдвиги импульсов с детекторов записываются в каналы соответствующих гистограмм. Вычисляются средние значения и дисперсии этих величин, что позволяет контролировать стабильность работы каждого спектретрического канала. Контроль за работой искровых камер обеспечивается вычислением эффективности пакета в целом, определением точности и сдвигов камер, построением распределений по числу искр, их толщине, по частоте срабатывания отдельных ферритовых колец и групп записи и считывания. Все распределения выдаются на печать по окончании набора заданного массива событий или в любой момент по команде с пульта ЭВМ.



Если запуск установки произошел не от космической частицы /в счетчиках  $A_1$  или  $A_2$  нет импульса/, то событие обрабатывается иначе. Вводятся два критерия отбора: во-первых, требуется, чтобы в обеих проекциях камер был зарегистрирован хотя бы один трек, и, во-вторых, - чтобы точка пересечения этого трека с плоскостью мишени лежала в заданной области. События, удовлетворяющие этим условиям, являются "кандидатами" в искомые события. Для них выдается на печать полная амплитудно-временная информация, а также условное изображение зарегистрированных треков и фоновых искр в камерах.

В реальном масштабе времени обрабатывается более 99% событий. Программа имеет также возможность обработки данных с магнитной ленты /режим "офф-лайн"/, которая реализуется путем переключения тумблера на пульте управления ЭВМ.

Авторы благодарны В.А.Антюхову, В.Г.Зинову, Б.Ю.Семенову и А.Н.Синаеву за помощь в обеспечении эксперимента электроникой, И.М.Иванченко - за полезные обсуждения при разработке программного обеспечения, В.В.Вишнякову за ценные советы при наладке искровых камер, А.И.Барановскому - за помощь при наладке связи с ЭВМ, А.М.Зайцеву - за всестороннее содействие, В.А.Смирнову и В.Б.Швецову - за участие в изготовлении аппаратуры, а также сотрудникам ОФУ ИФВЭ во главе с И.А.Гусевым за большую работу по монтажу установки на канале.

#### Литература

1. Б.М.Поняков. ЯФ, 11, 846, 1970.
2. А.В.Демьянов и др. ЯФ, 13, 786, 1971.
3. В.С.Кафтанов, И.С.Троскин, А.Л.Шимкевич. Препринт ИТЭФ 858, Москва, 1971.
4. S.Frankel et. al. Phys. Rev., D, v.9, No.7, p.1932, 1974.
5. А.А.Асеев и др. Препринт ИФВЭ, 73-27, Серпухов, 1973.
6. В.В.Вишняков и др. ОИЯИ, 13-6971, Дубна, 1973.

7. В.Г.Горбенко и др. ОИЯИ, 13-3095, Дубна, 1966.
8. В.И.Ганичев и др. ОИЯИ, P13-7783, Дубна, 1974.
9. А.В.Купцов, Д.М.Хазинс. ПТЭ 3, 82, 1972.
10. В.В.Вишняков и др. ОИЯИ, 13-6045, Дубна, 1971.
11. Г.Д.Алексеев, Д.М.Хазинс. ОИЯИ, P13-8390, Дубна, 1974.
12. В.М.Королев. ОИЯИ, 10-6007, Дубна, 1971.
13. В.Ф.Борейко и др. ОИЯИ, 13-6396, Дубна, 1972.
14. В.А.Антюхов, Б.Ю.Семенов, В.Л.Трифонов. ОИЯИ, 13-7542, Дубна, 1973.
15. А.Н.Синаев, И.Н.Чурин. ОИЯИ, 10-7641, Дубна, 1973.
16. Н.И.Журавлев и др. ОИЯИ, 10-7332, Дубна, 1973.
17. Н.И.Журавлев и др. ОИЯИ, 10-8114, Дубна, 1974.
18. В.В.Вишняков и др. ОИЯИ, 10-5804, Дубна, 1971.
19. Е.Д.Городничев и др. ОИЯИ, 10-4870, Дубна, 1969.
20. Е.Д.Городничев и др. ОИЯИ, 13-5053, Дубна, 1970.
21. В.Н.Кузнецов. ОИЯИ, Д10-7707, стр. 524, Дубна, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел  
17 января 1975 года.