

сообщения  
Объединенного  
Института  
Ядерных  
Исследований  
Дубна

4593/2-81

7/9-81

13-81-381

+

В.А.Баранов, П.Г.Евтухович, Ф.Е.Зязюля,  
Р.Иленбург, В.И.Комаров, А.С.Коренченко,  
С.М.Коренченко, Г.Е.Косарев, Б.Ф.Костин,  
Н.П.Кравчук, Н.А.Кучинский, Д.А.Мжавия,  
Г.В.Мицельмахер, А.С.Моисеенко, К.Г.Некрасов,  
В.С.Смирнов, А.И.Филиппов, А.П.Фурсов,  
Н.Л.Русакович, Н.В.Хомутов

ДЕТЕКТОР ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ  
СПЕКТРОМЕТРА АРЕС

1981

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Детектор заряженных частиц спектрометра АРЕС /С-детектор/ является центральной частью этой универсальной установки. На спектрометре АРЕС предполагается провести широкую программу исследований в области физики элементарных частиц и ядерной физики на реконструированном синхротронном ускорителе Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ<sup>1/</sup>.

С-детектор представляет собой самостоятельный большой и сложный прибор, включающий практически все основные узлы спектрометра АРЕС - цилиндрические пропорциональные камеры /ПК/ и сцинтилляционный годоскоп, помещенные в магнитное поле, электронику ПК, наносекундную логику, систему вывода информации в ЭВМ, связь он-лайн с ЭВМ ЕС-1040, быстрый специализированный процессор РАСТР для фильтрации информации и т.п.

В совокупности эти узлы обеспечивают сочетание таких важных качеств, как большой телесный угол установки, малое количество вещества на пути частиц, хорошее пространственное разрешение, возможность работать при большой интенсивности пучков частиц. Отфильтрованная экспериментальная информация выводится на магнитную ленту.

## 2. ОБЩЕЕ УСТРОЙСТВО

Общее устройство С-детектора показано на рис.1 и 2. Детектор представляет собой 8 коаксиальных цилиндрических пропорциональных камер (I-VIII)<sup>2/</sup>, вложенных друг в друга и помещенных в общий кожух 6. Размеры камер и число проволочек в них приведены в табл.1. В центре детектора расположена мишень 1. Запуск установки осуществляется с помощью годоскопической системы из 9 сцинтилляционных счетчиков 2, скомпонованных в два цилиндрических ряда /3 счетчика в 1-м ряду и 6 - во 2-м/. Световые импульсы по цилиндрическим световодам 8 длиной 60 см поступают к ФЭУ, расположенным на полюсе магнита 7. При наладке С-детектора на пучке пионов мю-тракта синхротронного ускорителя ЛЯП, он помещался в магнит МС-2. На ярме магнита были расположены элементы системы газообеспечения камер, электроника пропорциональных камер, блоки питания электроники, входные блоки быстрой электроники и быстрый специализированный процессор РАСТР. Все узлы электроники были помещены в общий кожух, температура в котором стабилизировалась с помощью кондиционеров.

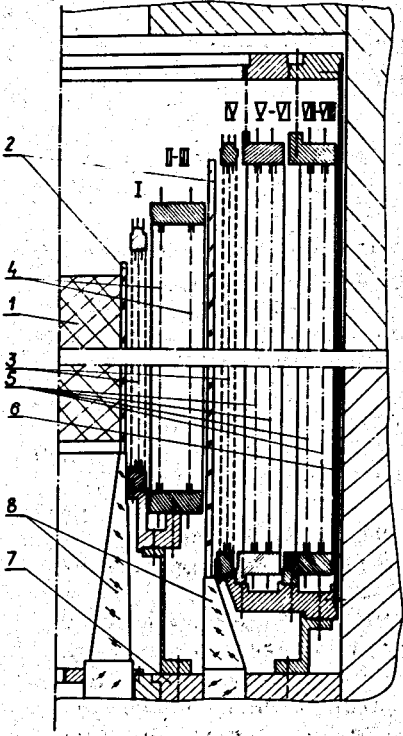


Рис.1. Продольный разрез С-детектора. 1 - мишень /пенополистирол = 0,2 г/см<sup>3</sup>/; 2 - годоскоп сцинтилляционных счетчиков; 3 - стриповые цилиндрические пропорциональные камеры I и IV; 4 - самоподдерживающиеся цилиндрические пропорциональные камеры II и III; 5 - цилиндрические пропорциональные камеры V-VI и VII-VIII с малой плотностью вещества; 6 - внешний кожух детектора; 7 - полюс магнита МС-2; 8 - световоды.

Как видно из конструкции С-детектора, основное количество вещества в детектируемом объеме составляют два слоя сцинтилляторов толщиной по 5 мм. Телесный угол для регистрации процессов, происходящих в центре установки, имеет величину ~9 ср.

При наладке С-детектора на пучке пионов мю-тракта в центре установки помещалась мишень цилиндрической формы, диаметром 10 см и высотой 32 см из пенополистирола с удельным весом 0,2 г/см<sup>3</sup>. Применение такой мише-

ни с одной стороны обеспечивало значительное количество вещества на пути пучка /~6,4 г/см<sup>2</sup>/, с другой - позволяло снизить среднее количество вещества на пути частиц, вылетающих из мишени, до величины ~1 г/см<sup>2/3</sup>.

3. ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЕ КАМЕРЫ

Конструкция цилиндрических камер показана на рис.3. Катодная и анодная поверхности закреплялись на цилиндрических фланцах, выточенных из стеклотекстолита. В С-детекторе были использованы 3 различных типа камер, отличающихся своей конструкцией.

С целью определения координаты по оси камеры у камер I и IV катодные поверхности были выполнены в виде лавсановых цилиндров с нанесенными на них под углом к образующей цилиндра про-

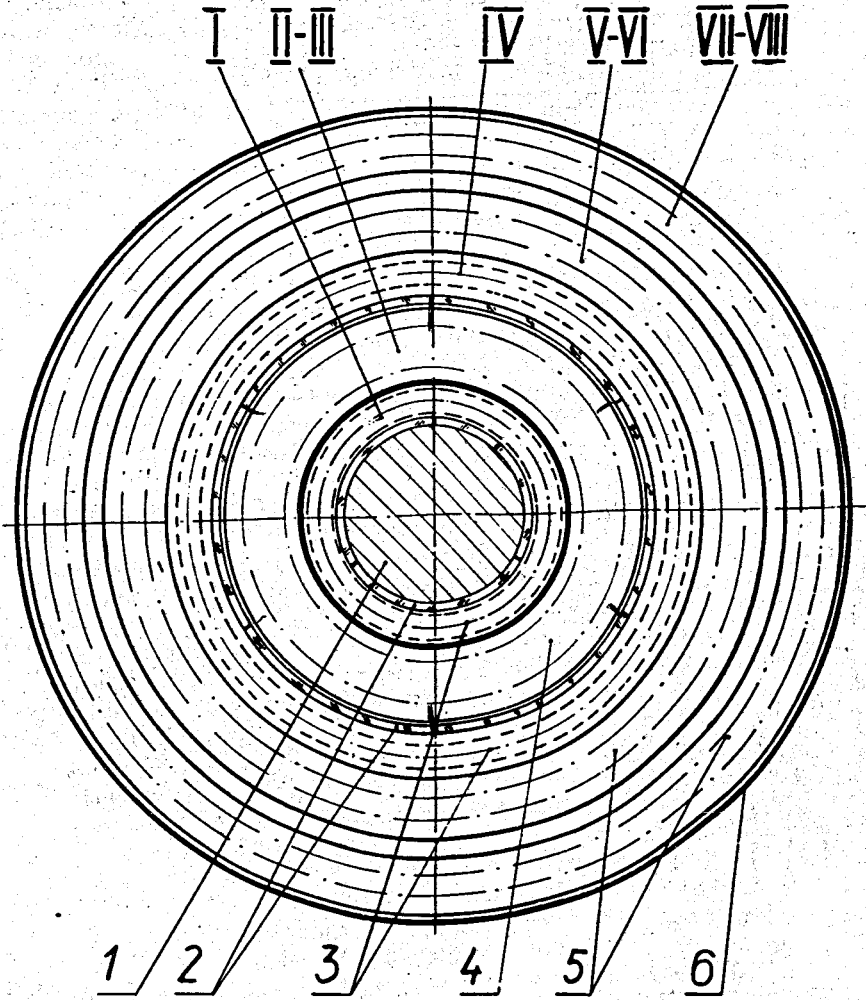


Рис.2. Поперечный разрез С-детектора. 1 - мишень; 2 - годоскоп сцинтилляционных счетчиков; 3 - стриповые цилиндрические пропорциональные камеры I и IV; 4 - самоподдерживающиеся цилиндрические пропорциональные камеры II и III; 5 - цилиндрические пропорциональные камеры V-VI и VII-VIII с малой плотностью вещества; 6 - внешний кожух детектора.

Таблица 1

№ пп	Номер камеры	Диаметр информ. слоя	Кол-во сигнальн. нитей	Кол-во стрипов	Длина
1.	I	128	192	3 x 32	360
2.	II	164	256	-	400
3.	III	212	320	-	400
4.	IV	274	384	2 x 64	500
5.	V	320	480	-	500
6.	VI	344	512	-	500
7.	VII	406	640	-	500
8.	VIII	430	672	-	500

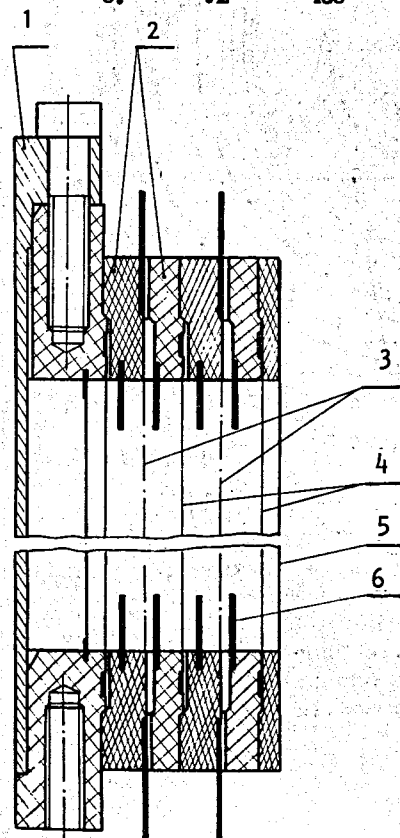


Рис. 3. Конструкция цилиндрических пропорциональных камер с малой плотностью вещества /камера показана на технологической оснастке/. 1 - опорный элемент; 2 - фланцы камеры; 3 - анодные поверхности /20 мкм - золоченый вольфрам, шаг 2 мм/; 4 - катодные поверхности /100 мкм - бериллиевая бронза, шаг 2 мм/; 5 - защитный цилиндр /лавсан 100 мкм/; 6 - охранные электроды. Расстояние анод-катод - 6 мм.

4 - водящими полосами /стрипами/. Информационный слой у этих камер, так же, как и у всех остальных, выполнен из позолоченных вольфрамовых проволочек диаметром 20 мкм, натянутых с шагом 2 мм. Фланцы у этих камер опирались на тонкий цилиндр, склеенный из нескольких слоев лавсана.

Камеры II и III были выполнены в виде одного блока с общим газовым объемом и общим опорным цилиндром такого же типа, как и у остальных камер со стрипами.

Катодные поверхности у этих камер выполнены из проволочек из бериллиевой бронзы толщиной 0,1 мм, расположенных с шагом 2 мм.

Конструкция камер V, VI, VII, VIII была рассчитана на то, чтобы они растягивались между внешними крышками всей сборки, опирающимися на наружный кожух детектора. Такая конструкция обеспечивает минимальное количество вещества на пути детектируемых частиц. Эти камеры были выполнены в виде двух блоков / V, VI и VII, VIII /, в каждом из которых было по две камеры с одной общей катодной поверхностью и общим газовым объемом, ограниченным лавсановыми цилиндрами из пленки толщиной 0,1 мм. Каждый такой блок изготовлялся на отдельной промежуточной опоре, которая удалялась после установки камеры в общем кожухе.

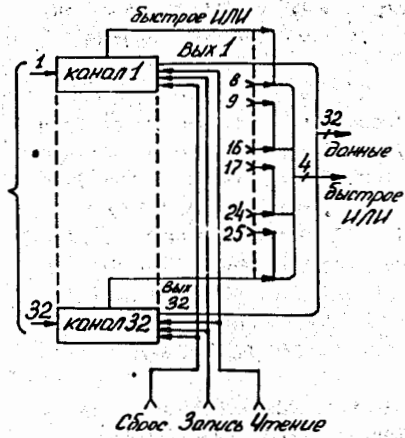
При монтаже этих камер натяжение нитей контролировалось с помощью специально разработанного прибора /4,5/, позволяющего измерять частоту колебаний нитей, помещенных в закрытый объем детектора.

#### 4. ЭЛЕКТРОНИКА ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ КАМЕР

Обычно электроника ПК располагается на самих камерах. В спектрометре АРЕС применение такой системы невозможно из-за высокой плотности проволочек на торце всей сборки и вследствие необходимости экономить объем магнитного поля. В связи с этим информация выводится от ПК к электронике с помощью специально изготовленных ленточных кабелей длиной 2,4 м. Каждый кабель содержит 32 информационных жилы. С целью уменьшения емкости кабеля толщина этих жил была выбрана равной 30 мкм, что позволило получить величину емкости отдельной жилы кабеля ~17 пФ/м. Кабель с одной стороны распаивается на ламелях ПК, а с другой оканчивается 64-контактным разъемом, присоединенным к плате электроники КАМАК. Друг от друга кабели экранировались лентами из алюминиевой фольги. Между кабелем и фольгой прокладывались деформированные специальным образом тефлоновые ленты.

Электроника ПК была выполнена на основе больших гибридных интегральных схем К405ХП1<sup>6/7</sup>, разработанных в ОИЯИ и выпускаемых промышленностью. В данной работе они впервые использовались при создании крупной системы. Каждая микросхема К405ХП1 включает в себя всю необходимую электронику для двух нитей ПК. Эти микросхемы распаивались на платах /ПСИ-32М/<sup>7/</sup> размером 200x270 мм<sup>2</sup> по 16 шт. /32 канала/. Блок-схема платы приведена на рис. 4. Платы ПСИ-32, в свою очередь, компоновались в блоки по 33 платы в отдельном каркасе электроники ПК. Таким образом, в каркасе размером 600x460x210 мм<sup>3</sup> может быть расположено до 1056 каналов электроники ПК.

Рис. 4. Блок-схема платы регистрации на 32 канала /ПСИ-32/.



Блок-схема каркаса и связи каркасов с системой вывода информации показаны на рис. 5 и 6.

Для вывода в ЭВМ информации о сработавших проволочках использовались блоки считывания КИ 005 или КИ 018 /8/. В соответствии с принципом организации работы этого блока информация из триггеров памяти отдельных каналов считывается последовательно с отдельных плат, включенных в общую

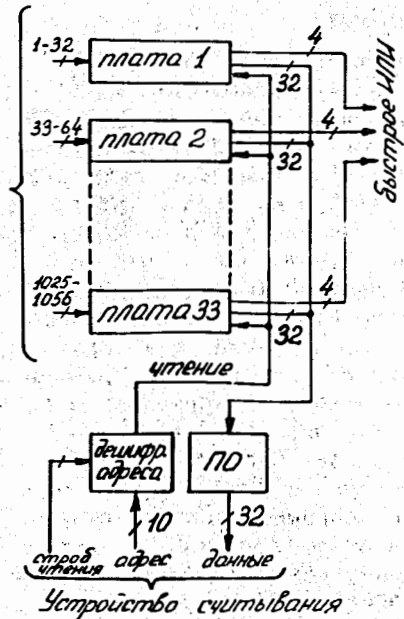
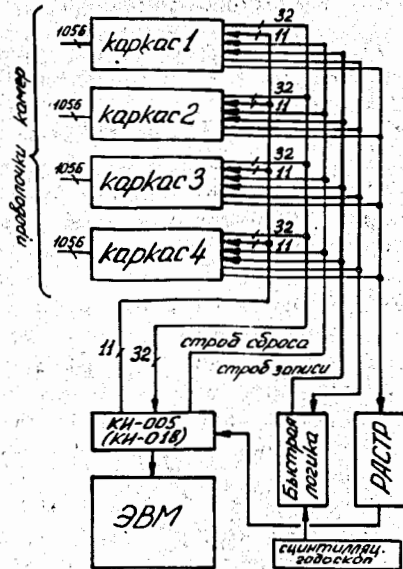


Рис. 5. Блок-схема каркаса электроники пропорциональных камер на 1056 каналов.

Рис. 6. Блок-схема связи каркасов с системой вывода информации.



32-канальную магистраль каркаса. Выбор платы осуществляется по команде с блока считывания с помощью платы дешифрации адреса /ДАП-32/. Кроме ДАП-32, в состав каждого каркаса входит плата объединения /ПО/, выполняющая функцию объединения магистралей отдельных каркасов в единую магистраль.

Всего было задействовано 132 платы с общим числом каналов 4224, расположенных в 4 каркасах.

Данные о сработавших проволочках в виде двоичного 16-разрядного кода передавались в ЭВМ. Информация с ПК использовалась также для уменьшения числа запусков и для предварительной фильтрации событий в системе РАСТР. С этой целью на платах ПСИ-32М предусмотрены соответствующие выводы для передачи информации в наносекундную логику и в систему РАСТР.

## 5. НАНОСЕКУНДНАЯ ЛОГИКА И СИСТЕМЫ ФИЛЬТРАЦИИ ИНФОРМАЦИИ

В схеме наносекундной логики помимо стандартных блоков, работавших с сигналами, поступавшими от сцинтилляционного годоскопа, использовались также блоки мажоритарной логики, которые получали информацию с ПК. Блок мажоритарной логики имеет 48 входов, а мажоритарность определяется одновременно для 4 кратностей совпадений: 1 или больше, 2 или больше, 3 или больше, 4 или больше. Соответственно этому схема имеет 4 двоянных вывода. Использование детальной информации с ПК в системе триггера позволяет уменьшить число запусков установки, не уменьшая эффективности регистрации событий.

При наладке С-детектора на пучке пионов использовалась информация с камер VI и VIII.

Применение схем мажоритарных совпадений позволило уменьшить число запусков в случае логики, предназначенной для использования при изучении распада  $\mu\text{-}3e$ , в  $\sim 300$  раз.

Для фильтрации информации, поступающей со спектрометра АРЕС, предусмотрено использование системы РАСТР. Это специализированный быстрый процессор, организованный на кольцевых регистрах, имитирующих цилиндрические камеры спектрометра. Был разработан вариант системы РАСТР, выделяющий наличие отрицательного трека в событии. Информация о сработавших проволочках поступает в РАСТР одновременно с запоминанием ее в триггерах памяти, входящих в электронику отдельных проволочек. Быстродействие этой системы составило  $\sim 2 \cdot 10^{-5}$  с на одно событие.

Была также разработана и испытана система фильтрации информации путем выделения отрицательного трека с помощью быстрого алгоритма<sup>9/</sup> в ЭВМ ЕС-1040, куда данные о треках поступают перед тем, как быть записанными на магнитную ленту. Быстродействие этой системы оказалось равным 5-10 мс на фильтрацию одного события, а эффективность отбора близкой к 100%.

## 6. ОРГАНИЗАЦИЯ СВЯЗИ С-ДЕТЕКТОРА С ЭВМ

Система связи С-детектора с ЭВМ представляет собой комплекс, включающий 3 машины<sup>10</sup>. На начальном уровне находится малая ЭВМ М-6000, связанная с регистрирующей аппаратурой в стандарте КАМАК и осуществляющая прием и предварительную обработку поступающей информации. Информация представлялась в виде отдельных "событий". Структура "события" приведена в табл. 2. Прием данных осуществлялся по каналу прямого доступа в память М-6000,

Таблица 2

Структура события в  $M \rightarrow 3e$  эксперименте

№ пп	Информация	Функциональный блок	Число 16-разр. слов	Число станций КАМАК
1.	Номер события (триггера)	Двоичный счёт	2	I
2.	Время экспозиции	"	2	I
3.	Календарное время	Часы КВ 004	2	I
4.	Постоянные признаки	Регистр констант	2	I
5.	Монитор - "Пучок"	Двоичный счёт	2	I
6.	Монитор - " $M \rightarrow eV$ "	"	2	I
7.	Монитор - " $M \rightarrow 3eV$ "	"	2	I
8.	Монитор - " $T \rightarrow eV$ "	"	2	I
9.	Число запусков " $M \rightarrow 3e$ "	"	2	I
10.	Число запусков " $T \rightarrow 3eV$ "	"	2	I
11.	Число запусков " $T \rightarrow eV$ "	"	2	I
12.	Резервный счётчик или регистр	"	2	I
13.	Информация о сработавших сцинтилл. или блоках	Входной регистр КР 003	I	I
14.	Временной анализ со сцинтилл. счётчиков	Преобразователь время - код	9	3
15.	Амплитуд. анализ со сцинтилл. счётчиков	Преобразователь заряд - код	6	2
16.	Амплитуд. анализ со стрипов	Преобразователь заряд - код	18	6
17.	Информация со сработавших проволочек и стрипов в пропорцион. камерах	КИ 005 или КИ 018	переменная	I

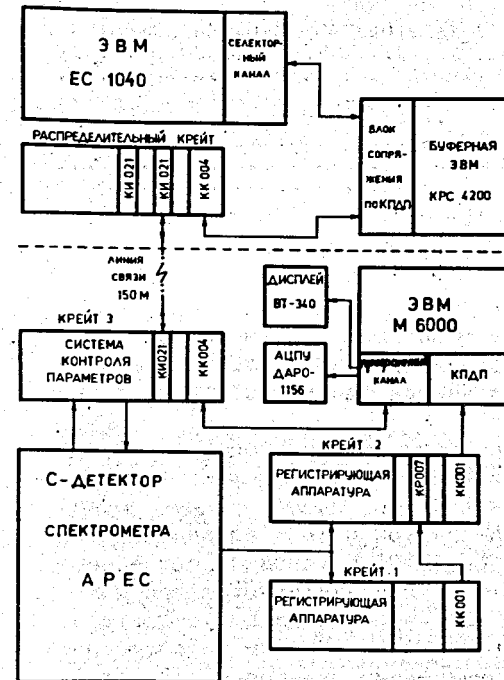


Рис. 7. Схема организации связи С-детектора с ЭВМ.

где было выделено два блока по 4К слов для этой цели. После заполнения одного из блоков поток данных переключался на свободный блок. Информация, записанная в заполненном блоке, предварительно обрабатывалась в ЭВМ М-6000. При этом определялось число слов в событии и формировалась запись специального формата для передачи ее в ЭВМ ЕС-1040. С целью контроля правильности передачи выдавалось число слов в событии и контрольная сумма. Специальный формат данных обеспечивал также более эффективную работу программы

фильтрации событий в ЕС-1040. Общая схема организации связи приведена на рис. 7. Вывод информации из ЭВМ М-6000 осуществлялся с помощью блоков последовательной связи КИ 021. Один из этих блоков находился в крейте КАМАК, расположенном рядом с М-6000, а другой в крейте, связанном с ЭВМ КРС-4200, в свою очередь, связана с ЕС-1040.

С помощью ЭВМ М-6000 осуществлялся также контроль параметров С-детектора /напряжения питания ФЭУ и электроники ПК, величина магнитного поля и т.п./. С этой целью была создана система "Вольт"/11/, включающая блоки КАМАК и необходимое математическое обеспечение. Система "Вольт" работала в свободное от приема и передачи информации время.

## 7. ИСПЫТАНИЯ С-ДЕТЕКТОРА НА ПУЧКЕ ПИОНОВ

С-детектор был собран в комплексе на пучке пионов мю-тракта синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем. Интенсивность пучка на выходе из мю-тракта доходила в отдельных сеансах до  $6 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$ . Количество остановок пионов в мишени составляло 10-15% от величины исходного пучка. Для удобства наладки наряду с записью массива информации на магнитную ленту имелась

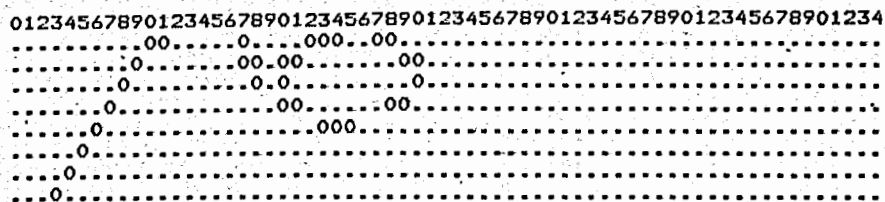


Рис. 8. Пример двухтрекового события.

возможность визуально наблюдать отдельные события на дисплее или печатать их на АЦПУ. Пример двухтрекового события показан на рис. 8. Каждая цилиндрическая камера здесь развернута в отдельную строку.

Основной целью работы была проверка работоспособности и надежности всего сложного комплекса аппаратуры, включающего более 4000 каналов пропорциональных камер, наносекундную логику, систему РАСТР, систему связи аппаратуры и ЭВМ, алгоритмы фильтрации и контроля информации на ЕС-1040, в условиях проведения эксперимента на ускорителе, которые характеризуются высоким уровнем электрических помех, в том числе помех от ускорителя. В то же время порог чувствительности электроники ПК составляет ~3 мВ, а чувствительность электроники стрипов ~1 мВ. Необходимо было также оценить влияние магнитного поля и большой интенсивности частиц на работу пропорциональных камер.

После того как были ликвидированы обрывы и генерация в отдельных каналах электроники ПК, установлена на нужном уровне чувствительность всех каналов и устранены источники помех, была достигнута устойчивая работа всей аппаратуры в течение многочасовых экспозиций. На магнитные ленты записано около 500 тыс. событий, полученных при различных вариациях внешних условий /интенсивность, магнитное поле и т.п./, параметров узлов установки /напряжения на камерах, задержки и т.п./ и логики запуска.

Обработка полученных данных показала, что свойства пропорциональных камер практически не изменились по сравнению с теми, которые наблюдались ранее при испытании камер на стенде<sup>12/</sup>. Не было наблюденно также заметное влияние магнитного поля. Для примера на рис. 9 показано плато камеры VI с полем ~0,5 Т и без него. Только в начале плато наблюдается смещение кривой примерно на 25 В. Эффективность работы камер составила величину 99,2%. Пространственное разрешение, даваемое анодными цилиндрами, определенное на основе обработки треков записанных событий, оказалось равным  $\pm 1$  мм, а точность определения координат по высоте камер с помощью катодных стрипов составила  $\pm 2$  мм.

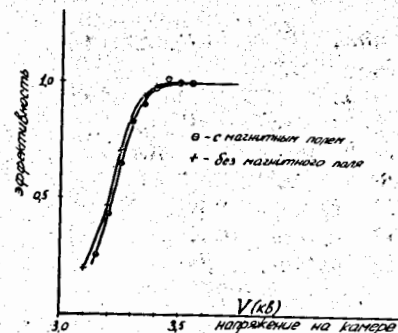


Рис. 9. Плато камеры №6 без магнитного поля и в поле 0,5 Т.

Создание и комплексная наладка С-детектора являются первым в ОИЯИ опытом создания широкоапертурного спектрометра с цилиндрическими пропорциональными камерами. Успешный запуск С-детектора подтвердил правильность принятых технических решений и продемонстрировал возможность надежной работы такого сложного комплекса различной аппаратуры, каковым является спектрометр АРЕС.

Авторы выражают благодарность В.П.Джелепову и Б.М.Понтекорво за постоянное внимание и помощь в работе, Н.И.Журавлеву, В.И.Корневу, С.В.Медведю, А.Н.Синаеву, И.Н.Чурину, Ф.Шварценбергу за помощь и сотрудничество в освоении блоков КАМАК и организации многомашинного комплекса связи экспериментальной аппаратуры с ЭВМ, В.Г.Зинову, Ю.Г.Будяшову, В.Ф.Борейко, Б.С.Краснобородову за создание и наладку специальной быстрой электроники, Д.Нетцбанду и Н.В.Сергеевой - за проведенные расчеты, К.Вальтеру, А.Ван-дер-Шаафу, Х.Маттеи, Л.Фелавке, Э.Хермесу за помощь и участие при наладке аппаратуры, Н.Н.Антоновой, А.Б.Аполлонову, В.А.Волкову, В.А.Енчевич, Г.К.Кочешкову, И.Н.Красильникову, А.И.Ланенкину, Е.М.Мельничук, А.Г.Ольшевскому, В.Пильцу, В.В.Рокалю, Е.Н.Русакову, Ц.Санжагийн, М.А.Сергееву, Т.С.Тихоновой, Е.Н.Ульянову, В.А.Целякову, А.Н.Шевенину, И.М.Широкову, А.С.Шкоде, Г.Эберт - за участие в создании аппаратуры, а также всем сотрудникам ЛЯП, обеспечившим подготовку аппаратуры и проведение работ на пучке синхроциклотрона.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коренченко С.М. и др. ОИЯИ, Р13-9542, Дубна, 1976.
2. Кравчук Н.П. и др. ОИЯИ, Д13-9164, Дубна, 1975, с.71; Кравчук Н.П. и др. ОИЯИ, Р13-11862, Дубна, 1978.
3. Коренченко С.М. и др. ОИЯИ, 13-80-784, Дубна, 1980.
4. Зязюля Ф.Е. Авт.свид. СССР №690342 от 5.10.79. Бюлл. ОИПОТЗ, 1979, №37, с.170.
5. Зязюля Ф.Е. и др. ПТЗ, 1980, №5, с.45; ОИЯИ, 13-12244, Дубна, 1979.
6. Афанасьев Ю.А. и др. ПТЗ, 1978, №5, с.112; ОИЯИ, 13-10554, Дубна, 1977.

7. Коренченко С.М., Кучинский Н.А. ОИЯИ, Д13-11807, Дубна, 1978, с.278; ОИЯИ, Р13-11561, Дубна, 1978.
8. Журавлев Н.И., Синаев А.Н. ПТЭ, 1976, №3, с.58-61; ОИЯИ, Д13-8950, Дубна, 1975; ОИЯИ, Д13-9287, Дубна, 1975; Журавлев Н.И. и др. ОИЯИ, 10-9479, Дубна, 1976; Антохов В.А. и др. ОИЯИ, 10-12912, Дубна, 1979.
9. Баранов В.А. и др. ОИЯИ, 11-81-300, Дубна, 1981.
10. Баранов В.А. и др. ОИЯИ, 13-81-162, Дубна, 1981.
11. Баранов В.А. и др. ОИЯИ, 13-80-226, Дубна, 1980.
12. Баранов В.А. и др. ОИЯИ, 13-12631, Дубна, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел  
8 июня 1981 года.