

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

Б 447

13-88-341

**И.М.Беляев*, О.П.Гаврищук, Л.С.Золин,
В.Ф.Переседов, П.А.Рукояткин, А.Н.Хренов**

**СПЕКТРОМЕТР КУМУЛЯТИВНЫХ АДРОНОВ
Компоновка, детекторы, электроника**

* Институт теоретической и экспериментальной физики,
Москва

1988

В 1983-1987 гг. на протонном синхротроне ИФВЭ на энергию 70 ГэВ (У-70, Серпухов) было проведено экспериментальное исследование образования кумулятивных адронов в протон-ядерных взаимодействиях при энергии первичных протонов от 15 до 65 ГэВ^{1/1}. Измерения были выполнены на установке СКА^{1/2} — магнитном спектрометре, ориентированном на исследование импульсных спектров частиц-фрагментов ядер мишени в инклюзивном процессе

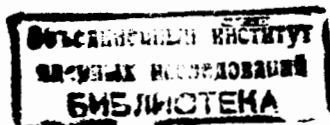
$$p + A \rightarrow b + X. \quad (1)$$

Спектрометр размещался в кольцевом зале ускорителя, работал непосредственно от внутренней мишени, расположенной в вакуумной камере ускорителя. Эта особенность спектрометра во многом определяет как основные его преимущества, так и ограничения при реализации экспериментальной программы.

В данной работе описаны конструкция спектрометра, система детекторов, логическая и регистрирующая электроника.

1. ОСОБЕННОСТИ КОМПОНОВКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СПЕКТРОМЕТРА

Схема расположения спектрометра в тоннеле ускорителя показана на рис.1. На рис.2. представлен вид спектрометра в профильной проекции. Спектрометр был установлен на прямолинейном промежутке длиной 4,5 м между блоками 45 и 46 кольцевого ускорителя под углом 159° к направлению внутреннего пучка протонов. Полная длина кабельной и газовой трассы от места расположения измерительной аппаратуры до спектрометра составляла 100 м. Соответственно время прохождения и искажение амплитуды и фронта сигналов детекторов были существенно больше, чем в типовых электронных установках, работающих на внешних пучках. Наличие сильноточного оборудования в кольцевом зале ускорителя и относительная удаленность контуров заземления детекторов и регистрирующей электроники обуславливали повышенный уровень электромагнитных помех. Для снижения влияния этих негативных факторов требовалось проведение специальных дополнительных мероприятий, иногда индивидуальных, для отдельных каналов регистрации (экранировка, снижение порога чувствительности и т.д.).



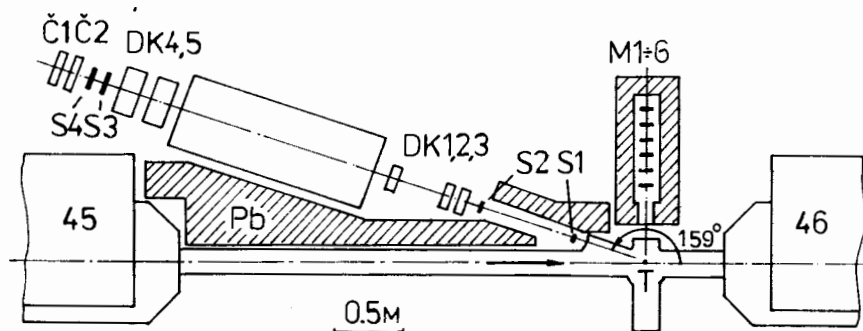


Рис.1. Схема расположения спектрометра в кольцевом зале ускорителя.

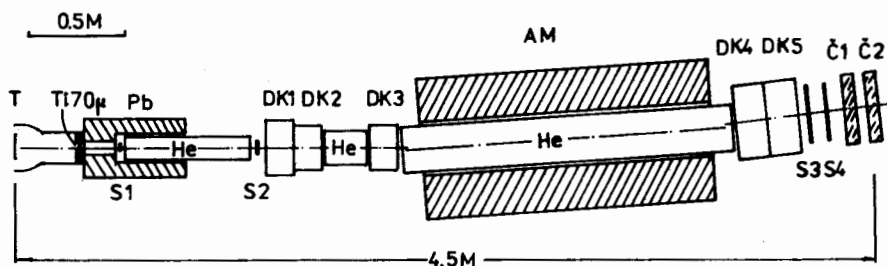


Рис.2. Спектрометр СКА (профильная проекция).

К положительным особенностям работы спектрометра непосредственно от внутренней мишени ускорителя следует отнести:

1) возможность непрерывного набора данных в широком диапазоне энергий по мере нарастания энергии внутреннего пучка в процессе ускорения;

2) малое потребление интенсивности внутреннего пучка, благодаря использованию принципа многократного прохождения ускоренных частиц через тонкую мишень. Последнее дает возможность управлять светимостью мишени практически в любом необходимом интервале значений и обеспечивает совместимость работы почти со всеми потребителями, работающими на столе магнитного поля.

Мишенная станция состояла из 4 мишеней — 2 рабочих и 2 калибровочных. Поскольку использовались мишени стандартного для У-70 типа, эксплуатация которых не предусматривает смены насадок в течение сеанса работы ускорителя, то нами была применена конструкция насадки, допускающая крепление нескольких мишеней-нитей, которые последовательно вводились в пучок после сгорания предыдущей. Использовались два режима работы мишеней. В пассивном режиме контакт пучка

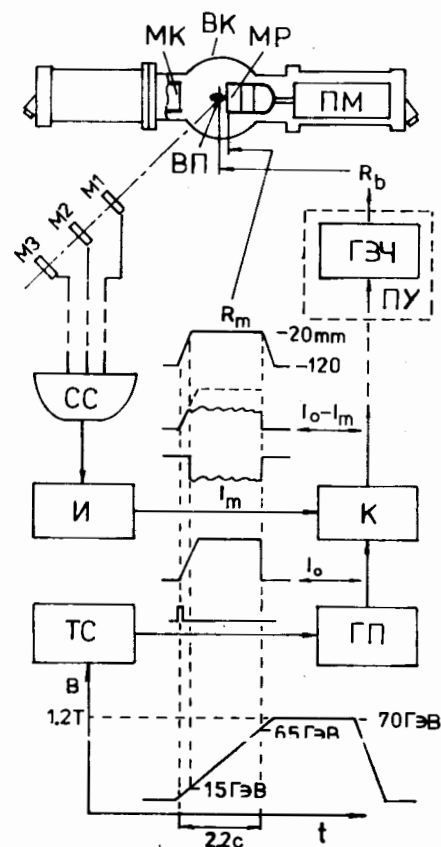


Рис.3. Мишенный узел спектрометра и схема обратной связи для стабилизации уровня сброса пучка на мишень. Временная диаграмма работы мишени. МР, МК — рабочая и калибровочная мишени; ВП — внутренний пучок протонов; R_{II} , R_M — радиальные координаты пучка и мишени; (И, К, ГП, ГЗИ, ТС — см. текст).

с мишенью осуществлялся путем вывода мишени на определенный радиус без воздействия на положение внутреннего пучка. В этом случае растяжка сброса имеет, как правило, неравномерный характер, поскольку размеры и радиальное положение пучка меняются в процессе ускорения. Подобный режим мог быть использован в стадии наладки регистрирующей аппаратуры. При наборе рабочей статистики использовался режим активного наведения пучка на мишень, равномерность сброса пучка на мишень в этом случае обеспечивалась управлением радиальным положением

пучка протонов через схему обратной связи, принцип работы которой поясняется рис.3. Импульсы совпадений мониторингового телескопа (M1,2,3) подаются на вход интенсиметра (И), амплитуда сигнала (I_M) на выходе которого пропорциональна скорости счета мониторингового телескопа. Выходной сигнал интенсиметра поступает на один из входов компаратора (К), на второй вход которого подавался сигнал от генератора опорного напряжения (ГП). Аналоговая разность этих двух сигналов определяла амплитуду сигнала, подаваемого на один из входов схемы управления (ТЗ4) частотой генератора ускоряющего напряжения (ГЗЧ). Величина и знак разностного сигнала на выходе компаратора определяют, таким образом, величину и направление изменения радиального положения пучка ускорителя R_b , обеспечивая заданную интенсивность сброса пучка на мишень. Форма растяжки сброса при двух описанных режимах показана на рис.4. Длительность растяжки составляла $2 \div 2,2$ с, что соответствует увеличению энергии внутреннего пучка на ~ 50 ГэВ,

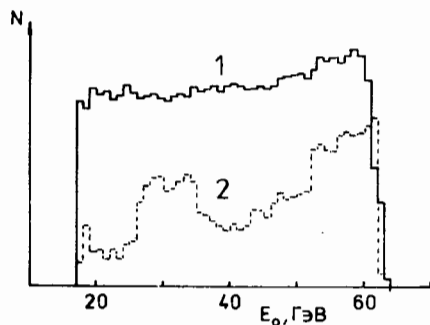


Рис.4. Форма сброса пучка на мишень. 1 — с обратной связью, 2 — без обратной связи.

начало ($12 \div 17$ ГэВ) и конец ($60 \div 67$ ГэВ) растяжки ограничивались особенностями режима ускорения и работы систем вывода пучков в данном сеансе. Интенсивность сброса пучка на мишень спектрометра

была на уровне $10^8 \div 10^9$ взаимодействий в мишени, т.е. потребление интенсивности внутреннего пучка ускорителя было пренебрежимо мало ($< 10^{-3}$) по сравнению с полной интенсивностью $(3 \div 6) \cdot 10^{12}$ протонов/цикл).

Анализирующий магнит спектрометра имел размер рабочей апертуры 140×280 мм и интеграл магнитного поля до $0,5$ Тл \cdot м. Вектор напряженности магнитного поля ориентирован горизонтально, т.е. отклонение заряженных частиц происходило в вертикальной плоскости. Карта магнитного поля была снята с шагом 20 мм по всему объему поля в пределах рабочей апертуры с помощью трехкомпонентного (H_x, H_y, H_z) измерителя с датчиками Холла. Точность измерения в каждой точке была не хуже $0,5\%$. Эффективная длина магнитной дорожки, полученная в результате обработки карты поля, составила 1640 мм. Расчетное отклонение заряженных частиц по данным этих магнитных измерений было проконтролировано измерением отклонения токонесящей нити¹³. Контроль с токонесящей нитью был выполнен дважды — перед началом и после завершения всего цикла измерений. В обоих случаях различие результатов двух методик не выходило за 1% .

2. ДЕТЕКТОРЫ СПЕКТРОМЕТРА

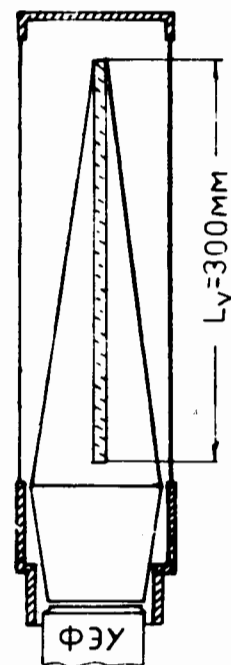
В спектрометре использовались следующие детекторы (рис.1,2):

- 1) мониторные счетчики M1 \div M6,
- 2) сцинтилляционные счетчики S1 \div S4,
- 3) пороговые черенковские счетчики С1, С2,
- 4) дрейфовые камеры ДК1 \div ДК5.

2.1. Телескопы мониторных сцинтилляционных счетчиков (M1 \div M6, рис.1) располагались под углом 90° к направлению пучка и были окружены слоем радиационной защиты из свинца с коллимирующим каналом в направлении мишени. Размеры коллиматора и сцинтилляторов

выбирались таким образом, чтобы во всем диапазоне перемещений мишени в рабочем положении "видеть" ее на плато эффективности в характеристике угловой направленности телескопов. Несмотря на значительный радиационный фон в кольцевом зале ускорителя, число фоновых отсчетов телескопов при выведенной мишени не превышало нескольких отсчетов за цикл ускорения.

2.2. Сцинтилляционные счетчики S1 \div S4 выполняют в спектрометре две функции: логическую — для регистрации прохождения заряженных частиц в пределах рабочей апертуры спектрометра и выработки сигнала триггера, измерительную — для определения времени пролета частиц и идентификации их массы по $\Delta E/\Delta x$ -потерям. В счетчиках использованы временные ФЭУ ХР2020 и быстрые сцинтилляторы с люминесцирующей добавкой РВД¹⁴ со временем высвечивания быстрой компоненты $0,8$ нс. Размеры сцинтилляторов и их расстояние до мишени (в мм) следующие: S1 — $20 \times 30 \times 0,08$ (515), S2 — $30 \times 60 \times 1,5$ (1270), S3 — $150 \times 300 \times 5$ (4320), S4 — $160 \times 320 \times 8$ (4420). В качестве делителей напряжения в счетчиках использованы резистивные делители с включением в 5 последних диодных промежутков стабилитронов (КС-650, КС-680) с целью уменьшения изменения междиодных напряжений при высоких нагрузках ($> 10^6$ 1/с). Для счетчика S1, наиболее близкого к мишени, такой меры для стабилизации режима оказалось недостаточно, поэтому для него был использован делитель с транзисторной



стабилизацией, описанной в работе¹⁵. Во всех счетчиках использован бесконтактный способ светосбора с использованием полого отражающего световода из металлизированного майлара. При использовании тонких сцинтилляторов такой способ обеспечивает более однородный светосбор с различных участков сцинтиллятора, и эффективность светосбора меньше зависит от деградации оптических свойств сцинтиллятора (потеря прозрачности, ухудшение качества поверхности, появление микротрещин). Одна из причин ухудшения качества сцинтилляторов в нашем случае — большие радиационные нагрузки при сбросе пучка на основные мишени ускорителя (они на несколько порядков выше, чем от собственной

Рис.5. Конструкция головной части широкоапертурных счетчиков S3, S4.

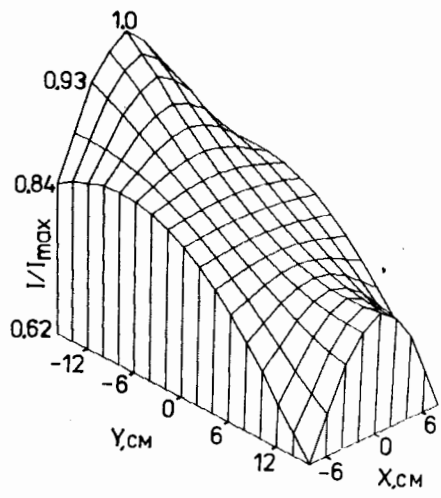


Рис.6. Эффективность светосбора на площади счетчика S3.

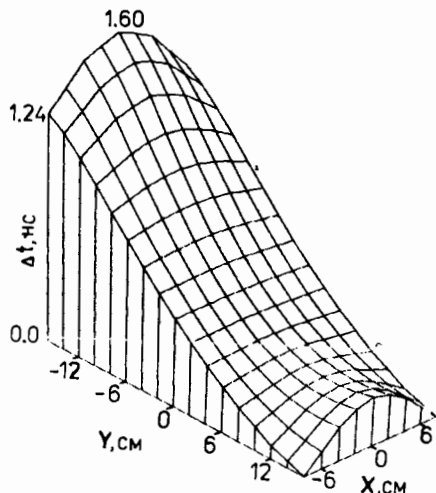


Рис.7. Разброс времени светосбора по площади счетчика S3.

мишени спектрометра). Конструкция малоапертурных счетчиков (S1, S2) воспроизводит описанную в работе¹⁶. Конструкция головной части счетчиков с большой апертурой (S3.4) показана на рис.5. Для учета разброса времени светосбора и амплитуды сигнала от места прохождения частиц через счетчик нами была изучена зависимость этих величин от координат (X,Y) трека частицы в пределах рабочей апертуры счетчиков (рис.6,7). Соответствующие зависимости были аппроксимированы степенными полиномами от X и Y и использованы для коррекции T- и E-спектров.

2.3. Пороговые черенковские счетчики $\check{C}1,2$ были использованы в спектрометре для организации "мезонного" триггера, т.е. запуска регистрирующей электроники при прохождении быстрой частицы с $\beta > \beta_{\Pi} \cong 0,7$. Кроме того, анализ амплитуд с $\check{C}1,2$ позволяет обеспечить надежную идентификацию частиц, т.е. разделение пионов, каонов и протонов, в жесткой части спектра, где их распределения по времени пролета перекрываются. В спектрометре использовались два идентичных по конструкции \check{C} -счетчика, включенных в триггер через схему ИЛИ, этим обеспечивалась близкая к 100% эффективность триггера к частицам с $\beta > \beta_{\Pi}$. Счетчики имели водяные радиаторы с кюветой 170 x 340 x 50 мм. Достаточно равномерная эффективность светосбора и его независимость от угла входа частиц в радиатор достигалась введением в воду спектросмещающей компоненты (амино-G-соль),

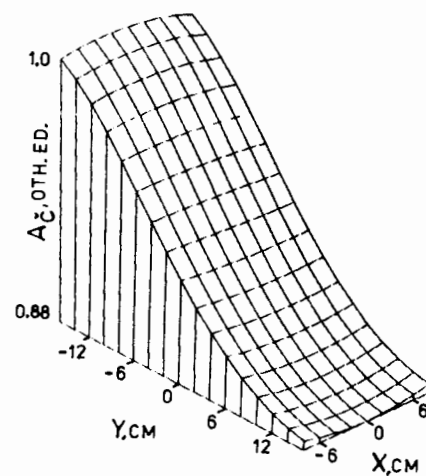
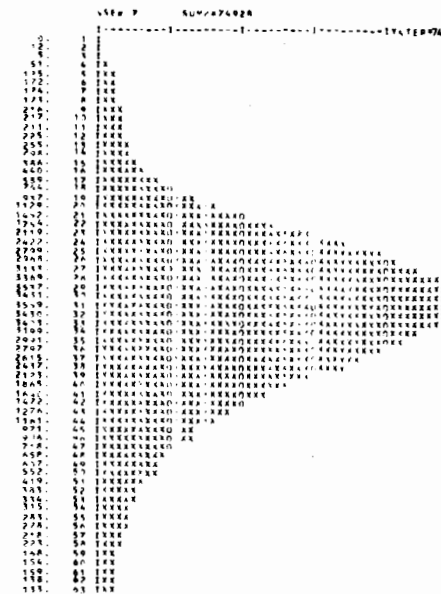


Рис.9. Амплитудный спектр счетчика $\check{C}1$ в пучке отрицательных частиц с импульсом от 300 до 800 МэВ/с.

Рис.8. Эффективность светосбора по площади радиатора черенковского счетчика $\check{C}1$.



которая трансформирует черенковское излучение в изотропно-рассеянное со спектром, хорошо согласующимся со спектральными характеристиками оптической системы. Подробно конструкция счетчика описана в¹⁷. На рис.8,9 показана эффективность светосбора по площади радиатора и амплитудный спектр \check{C} -счетчика.

2.4. В спектрометре использованы дрейфовые камеры двух размеров с рабочей площадью 126 x 126 мм (ДК1 ÷ 3) и 252 x 252 мм (ДК4,5). Технология изготовления и конструкция камеры близки к описанным в работе¹⁸. В конструкцию электродов камер были внесены изменения для снижения чувствительности к электромагнитным помехам и кросс-токам. Основные конструктивные характеристики камер следующие. Шаг расположения сигнальных нитей 42 мм, длина дрейфового промежутка 21 мм, расстояние между катодными плоскостями 6 мм. Катодные плоскости выполнены в виде сеток с шагом намотки 2 мм и равномерным распределением потенциала от 0 до -3 кВ. Сигнальные нити выполнены из вольфрамовой (с Au-покрытием) проволоки ϕ 20 мкм, катодные сетки из бериллиевой бронзы ϕ 50 (100) мкм. Для газового питания камер использована стандартная трехкомпонент-

ная смесь (Ar (70%) + изобутан (30%) + метилаль (2,5%)) со скоростью дрейфа 52 мм/мкс при градиенте потенциала в дрейфовом промежутке 1,5 кВ/см. При анодном напряжении на сигнальной нити $U_A = 1,6 \div 1,7$ кВ газовое усиление в данной смеси равно $\sim 10^5$ и выход на плато счетной характеристики достигается при пороговой чувствительности предусилителей 3 мА.

В качестве предусилителей дрейфовых камер в спектрометре были использованы усилители-формирователи типа УДК-914¹⁹ с порогом по входному току 2 мА с формирователями сигналов NIM-уровня на выходе. На одной печатной плате УДК с КАМАК-разъемом размещаются 4 усилителя с общей потребляемой мощностью 6 В x 0,25 А.

Особенностью эксплуатации камер спектрометра СКА была их удаленность (100 м) от места размещения кодирующей электроники, расположение в зоне сильных высокочастотных помех (~ 1 м от камеры ускорителя) и наличие мощных импульсных радиационных нагрузок при сбросе пучка ускорителя на мишени основных потребителей. Общая длина линии связи с кодирующей аппаратурой с учетом необходимости задержки сигнала на время выработки триггера (200 нс) была равной 150 м, при этом суммарная длина сигнальных кабелей ДК составила ~ 15 км. Это обусловило необходимость использования общедоступного кабеля РК-50-2. Значительный коэффициент затухания кабеля приводил

к падению амплитуды сигнала наносекундной длительности в 3 раза на входе ВЦП-преобразователей. Для восстановления соответствия требованиям на параметры "стоп" импульса ВЦП в каждом канале регистрации был включен усилитель-восстановитель амплитуды сигнала (ПОС, рис.10).

В камерах, использующих газовые смеси с органическими компонентами, длительная работа в условиях высокой радиации приводит к деградации поверхности сигнальных нитей, которая проявляется в резком падении коэффициента газового усиления. Поскольку при работе в кольцевом зале ускорителя

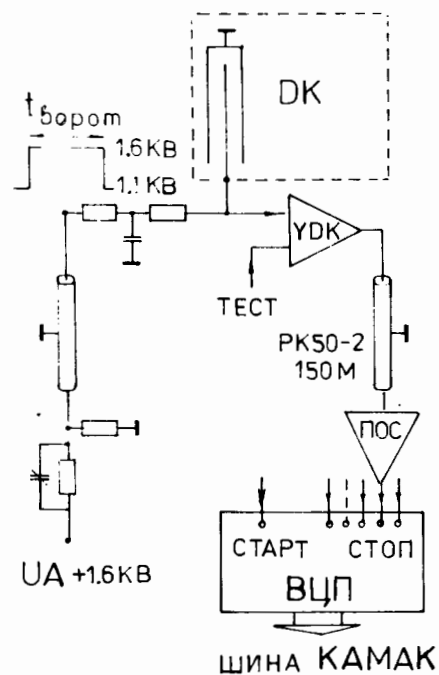


Рис.10. Схема канала регистрации дрейфовой камеры.

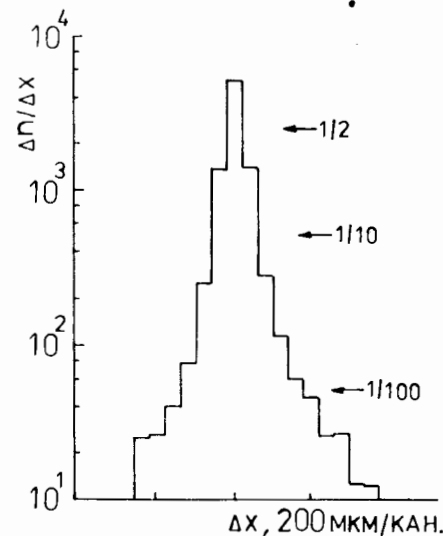


Рис.11. Разброс координатных отсчетов с сигнальной нити ДК.

основной вклад в радиационную нагрузку связан со сбросом пучка на мишени потребителей, работающих на столе магнитного поля, то для защиты камер нами был применен режим стробирования анодного напряжения ДК. С помощью релейного блока анодное напряжение подавалось на анодные нити только на время рабочих ворот спектрометра. Эта мера позволила обеспечить удовлетворительную работу камер в течение полного времени экспозиции в одном сеансе (~ 30 суток). Про-

мывка электродов камер производилась в среднем с интервалами в полгода. Камеры подобной конструкции в благоприятных условиях при оптимизации всех режимов работы показывают пространственное разрешение 70 мкм¹⁹. В наших условиях, когда определяющую роль в импульсном разрешении играло многократное рассеяние, удовлетворительным был уровень разрешения 150-200 мкм. Такую точность удавалось сохранить даже при значительном отклонении от оптимальных условий работы ДК, что было связано как с повышением радиационного фона, так и с возникновением необходимости снижения чувствительности предусилителей для поддержания уровня шумов ниже порога регистрации. На рис.11 показано распределение отклонений координатных отсчетов на одной сигнальной нити относительно положения трека, фиксированного по 8 координатным плоскостям.

Для защиты от высокочастотных помех корпуса дрейфовых камер вместе с предусилителями заключались в металлический экран с окнами в пределах рабочей апертуры, закрытыми тонкой (20 мкм) алюминиевой фольгой. Одним из основных видов помех были наводки, связанные с банчирующей структурой (~ 160 нс) протонного пучка. При возрастании уровня помех этого частотного диапазона для их подавления приходилось сокращать рабочую полосу частот предусилителей.

3. ЛОГИЧЕСКАЯ И РЕГИСТРИРУЮЩАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

На рис.12 представлена упрощенная блок-схема электроники спектрометра. Функционально в ней можно выделить следующие группы блоков:

- 1) триггерная логика (схема формирования импульса запуска),
- 2) блоки кодирования сигналов детекторов,
- 3) система контроля и управления,
- 4) система сбора данных на ЭВМ.

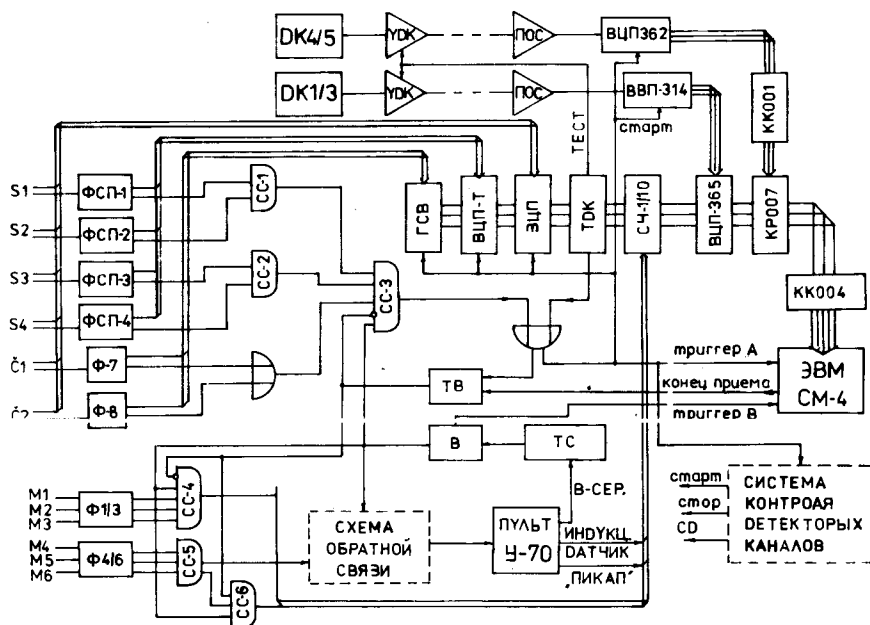


Рис.12. Схема электроники спектрометра СКА.

3.1. Триггерная логика

Схема триггера вырабатывает импульс запуска кодирующей электроники и инициирования цикла передачи данных в ЭВМ. Формирование импульса запуска осуществляется на основе отбора совпадений импульсов от триггерных счетчиков $S1 \div 4$ и черенковских счетчиков $\check{C}1,2$. Схема триггера выполнена на быстродействующих логических блоках, выполненных в стандарте КАМАК^{'11'}, и содержит стандартный логический набор: формирователи, сумматоры, разветвители, схемы совпа-

Таблица

Счетчик или совпадения	N_{ϕ}, c^{-1}	N_M, c^{-1}
S1	$60 \cdot 10^3 *$	$100 \cdot 10^3$
S2	$5 \cdot 10^3$	$10 \cdot 10^3$
S3	$20 \cdot 10^3$	$25 \cdot 10^3$
S4	$45 \cdot 10^3$	$53 \cdot 10^3$
S1·S2	200	8500
S3·S4	1200	5100
S1·S2·S3·S4	1	950
$(S1 \cdot S2 \cdot S3 \cdot S4)_{сл}$		$5 \cdot 10$

* Большая величина N_{ϕ} для S1 обусловлена наведенной активностью камеры ускорителя.

дений, блоки задержки, таймеры. Большой разброс времени пролета на базе 3,2 м для частиц разной массы делал необходимым формирование импульсов длительностью 100 нс для обеспечения их перекрытия на входе схемы совпадения. В данном случае прямая организация 4-кратных совпадений при большой индивидуальной загрузке счетчиков приводит к высокому уровню случайных совпадений. Поэтому было использовано попарное включение близко расположенных счетчиков S1,2 и S3,4 в предварительные схемы совпадений СС1 и СС2 с длительностью формирования 10-20 нс. Это позволило при загрузке счетчиков $10^5 \div 10^6 c^{-1}$ и баншированной структуре сброса снизить уровень случайных совпадений на выходе схемы СС3 до нескольких процентов. Индивидуальные загрузки счетчиков, скорости счета совпадений и уровни случайных совпадений приведены в таблице, данные нормированы на 10^3 отсчетов монитора (M2), что соответствует числу взаимодействий в мишени $\sim 10^8$. Воспроизводимость данных таблицы контролировалась в каждом сеансе измерений и служила одним из критериев отсутствия отклонений в режиме работы элементов схемы триггера.

При наборе статистики были использованы два типа триггеров:

- а) $TR_p = S1 \cdot S2 \cdot S3 \cdot S4$ — "протонный" триггер,
- б) $TR_{\pi} = S1 \cdot S2 \cdot S3 \cdot S4 \cdot (\check{C}_1 \wedge \check{C}_2)$ — "мезонный" триггер.

При триггере типа (а) регистрируются все частицы с $\beta \geq 0,1$, в моде (б) — частицы со скоростью выше $\beta \cong 0,7$, соответствующей порогу регистрации черенковских счетчиков $\check{C}_{1,2}$. Триггер (б) использовался при наборе данных по выходу пионов и каонов, число которых в пучке

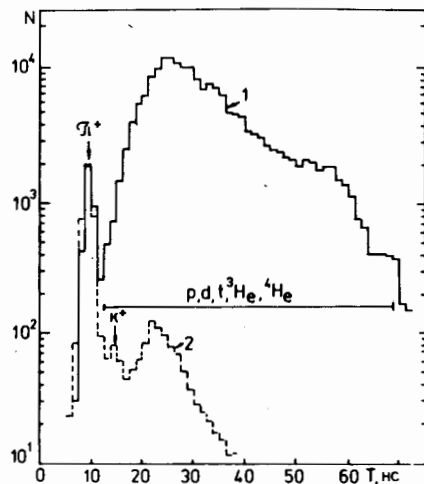


Рис.13. Времяпролетный спектр положительных частиц без совпадений (1) и в совпадении с сигналами от С-счетчика (2).

положительных частиц на два порядка меньше, чем барионных фрагментов (p, d, t). Условие (б) позволяет подавлять тяжелые частицы на уровне триггера и обеспечивает тем самым самый быстрый набор данных по мезонам. На рис.13 показана трансформация времяпролетных спектров положительных частиц при включении в триггер С-счетчиков.

3.2. Кодирование детекторных сигналов

При регистрации каждого события кодировалась следующая информация с детекторов:

- время пролета частиц t_1, t_2, t_3 , между счетчиками S1 и S4, S2 и S4, S3 и S4.
- амплитуда сигналов $A_1 \div A_4$, пропорциональная $\Delta E/\Delta x$ -потерям энергии заряженных частиц в сцинтилляторах счетчиков S1 \div 4,
- амплитуда сигналов черенковских счетчиков \check{C}_1, \check{C}_2 ,
- время задержки сигналов в каналах регистрации дрейфовых камер ДК1 \div ДК5 (время дрейфа зарядов).

Времена пролета t_i кодировались времяцифровыми преобразователями с ценой деления 150 пс/канал (ВЦП-Т, рис.12). Время генерации старт-импульса определялось сигналом счетчика S4, из фронта которого формировался фронт триггерного сигнала на схеме ССЗ. Для выполнения этого условия относительные задержки сигналов, поступающих на ССЗ, подбирались таким образом, чтобы сигнал от S4 был последним по времени поступления (рис.14). Стоп-импульсы формировались из анодных сигналов счетчиков S1 \div S3 с помощью формирователей со следящим порогом (ФСП) с уровнем срабатывания 50 мВ¹²⁷. Диапазон кодирования ВЦП-Т составлял 75-80 нс, стабильность коэффициента преобразования в каждом канале контролировалась в каждом наборе измерений по реперной серии сигналов с кварцевой стабилизацией (см. ниже). Для амплитудного анализа использовались сигналы с последнего динода счетчиков S1 \div S4 и $\check{C}_1, 2$, инвертированные на отрезке кабеля РК-50-1 длиной 20 см. Отрицательные сигналы через аттенюаторы посту-

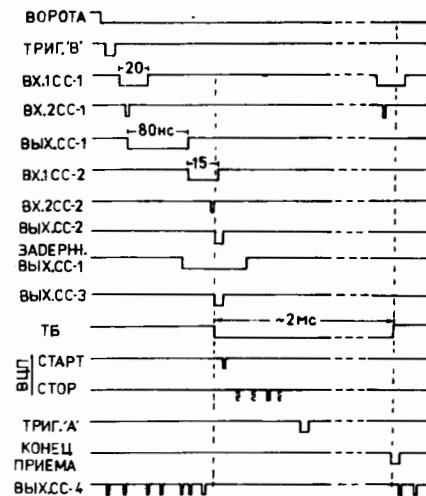


Рис.14. Временная диаграмма цикла регистрации события.

пали на входы зарядово-цифровых преобразователей (ЗЦП) чувствительностью 0,5 пКл/канал¹³⁷. На управляющий вход ЗЦП подавался стробирующий импульс длительностью 100 нс, формируемый от сигнала триггера. Задержка триггерного сигнала компенсировалась введением соответствующих задержек (~200 нс) в каналы амплитудного анализа.

Кодирование сигналов дрейфовых камер выполнялось преобразователями двух типов. Для дрейфовых камер ДК4,5, работающих при сравнительно невысоких фотонных нагрузках ($1 \div 3 \cdot 10^4$), были использованы времяцифровые преобразователи 6ВЦП-362 с 6 индивидуальными каналами регистрации в одной КАМАК-станции¹⁴⁷. Для головных дрейфовых камер ДК1 \div 3 с нагрузками на отдельную нить до $2 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$ применялись кодировщики¹⁵⁷ с разделенными блоками временного экспандирования (ВВП-314) и времяцифрового преобразования (ВЦП-365). Была использована мода работы экспандеров ВВП-314, обеспечивающая кодирование двух сигналов по одному каналу регистрации, что давало возможность избежать неоднозначности при расшифровке сигналов в случае повторного срабатывания сигнальных нитей.

Помимо информации с детекторов при записи каждого события регистрировались следующие данные:

- 1) отсчеты мониторинговых телескопов M1 и M2,
- 2) полное число совпадений S1-2-3-4 (без блокировки),
- 3) число случайных совпадений,
- 4) число отсчетов генераторной серии 5 кГц с блокировкой и без блокировки от ЭВМ (контроль "живого" времени),
- 5) число отсчетов схемы охранения,
- 6) В-серия (метки значений магнитного поля ускорителя),
- 7) интенсивность ускоренного пучка протонов по данным индукционного датчика.

Информация 1 \div 7 регистрировалась с помощью двоичных счетчиков 2ДС-415 в накопительном режиме в течение одного цикла ускорения с общим сбросом в начале цикла.

Схема охранения регистрировала появление двух сигналов прохождения частицы с интервалом времени меньше полного времени собирания заряда в дрейфовых камерах (< 450 нс). Соответствующие события исключались из анализа из-за неоднозначности при расшифровке временных кодов.

В-серия импульсов, единичный отсчет которой соответствует увеличению индукции в основном магните ускорителя на 1 Гс, использовалась нами для запуска схемы управления перемещением мишени, запуска генератора ворот и как код энергии ускоренного пучка протонов.

4. СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Цикл набора и передачи данных в ЭВМ при сбросе на мишень инициировался появлением импульса ворот. Стартовый импульс для запуска генератора ворот¹¹⁶ формировался таймерным блоком (ТС, рис.12), вырабатывающим на основе пересчета В-серии управляющий сигнал при заданном значении В, т.е. при достижении заданной энергии ускоряемых протонов. Импульс начала ворот переводит ЭВМ в режим приема данных. Цикл обработки отдельного события инициируется импульсом триггера, с появлением которого формируются следующие управляющие сигналы (рис.14):

- сигнал "Старт" на входы времяцифровых преобразователей,
- сигнал стробирования зарядово-цифровых преобразователей,
- сигнал блокировки схем совпадений триггерных и мониторных счетчиков,
- сигнал запуска цикла считывания информации на ЭВМ.

Сигнал блокировки снимается с триггера ТБ (рис.12), который переводится в состояние "блокировка" импульсом запуска и возвращается в исходное состояние импульсом окончания передачи данных в ЭВМ.

Для контроля работы детекторных каналов и системы сбора данных управление циклом набора контрольных сигналов переключалось на блок контрольных ворот, запуск которых может осуществляться в автономном режиме с имитацией временных соотношений, таких же, как в рабочем цикле ускорителя. Импульс ворот инициирует блок ТДК (рис.15) — тестер дрейфовых камер, который с частотой 100 Гц генерирует импульс "Старт", запускающий схемы контроля всех детекторных каналов.

Схема контроля каналов регистрации дрейфовых камер использует старт-стопную серию ТДК и в основном аналогична описанной в работе¹⁷. Импульс "Старт" через кабельную задержку, равную удвоенной длине кабельной трассы до дрейфовых камер (1,5 мкс), поступает через

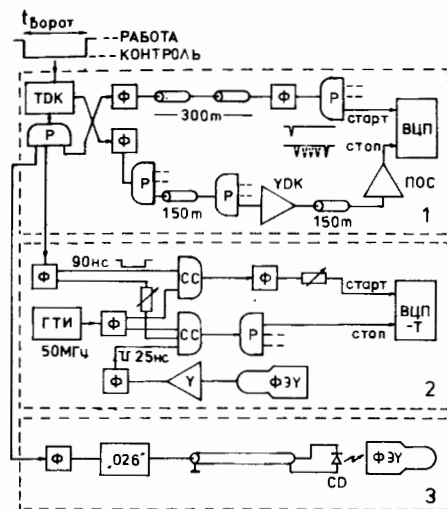


Рис.15. Система контроля детекторных каналов.

разветвитель на входы "Старт" всех ВЦП-преобразователей. Импульс "Стоп" генерируется относительно импульса "Старт" с задержкой, периодически меняющейся с шагом 40 нс, и через набор разветвителей подается на контрольные входы всех каналов УДК. Зарегистрированные временные спектры ("гребенка" с шагом 40 нс) позволяют помимо коэффициента преобразования в каждом канале достаточно точно

определить относительные временные сдвиги в каналах одного блока камер. Это существенно упрощает поиск констант в соотношении координата-время при программной обработке данных с ДК, в нашем случае он сводился к определению временных задержек для отдельных блоков ДК относительно сигнала общего триггера.

Для калибровки каналов времяпролетных счетчиков использовался генератор старт-стопных пар с интервалом, кратным 20 нс, собранный из стандартных логических модулей ("2", рис.14). Источником эталонной частоты (50 МГц) служил генератор наносекундных импульсов ГТИ, стабилизированный кварцем. В качестве источника "белого" шума использовался фотомножитель.

Работа сцинтилляционных и черенковских счетчиков и стабильность каналов $\Delta E/\Delta x$ -анализа контролировались с помощью светодиодов, установленных вблизи фотокатодов ФЭУ. Синхронизированные импульсы необходимой амплитуды (60 В) подавались на светодиоды от блока питания светодиодов типа "026"¹⁸, работающего в режиме внешнего запуска от ТДК ("3", рис.14).

Контроль и управление мишенями спектрометра производились с автономного пульта управления, расположенного рядом с регистрирующей аппаратурой спектрометра. Запуск мишеней синхронизировался, как и работа электроники СКА, В-серией. Местное управление мишенями позволяло оперативно корректировать их работу, не отвлекая персонал центрального пульта управления ускорителя У-70.

Авторы благодарят сотрудников Серпуховского научно-экспериментального отдела ОИЯИ за всестороннюю помощь в монтаже, наладке и эксплуатации спектрометра.

Авторы благодарны С.Г.Басиладзе и Нгуен Тхи Ша за систематическую помощь в изготовлении и освоении блоков логической и цифровой электроники, а также В.П.Пугачевичу за изготовление дрейфовых камер.

Авторы выражают признательность сотрудникам технических служб ИФВЭ за создание условий для проведения длительных экспозиций на внутренней мишени ускорителя У-70 и особенно — А.П.Курову и О.П.Лебедеву за обеспечение безотказной работы мишенного комплекса и системы обратной связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев И.М. и др. — Краткие сообщения ОИЯИ, №8-85, 1985, с.29; Препринт ОИЯИ, P1-88-33, P1-88-34, Дубна, 1988.
2. Беляев И.М. и др. — В сб.: Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. ОИЯИ, Д2-82-568, Дубна, 1982, с.114.
3. Козодаев М.С., Тяпкин А.А. — ПТЭ, 1956, 1, с.21.
4. Рихвицкий С.В. и др. — Препринт ОИЯИ, 13-80-21, Дубна, 1980.
5. Басиладзе С.Г., Иванов В.И. — ПТЭ, 1976, 3, с.175.
6. Аверичева Т.В. и др. — Препринт ОИЯИ, 1-11317, Дубна, 1978.
7. Беляев И.М. и др. Сообщение ОИЯИ, 13-88-342, Дубна, 1988.
8. Водопьянов А.С. и др. — ПТЭ, 1976, 5, с.41.
9. Басиладзе С.Г. и др. — ПТЭ, 1979, 3, с.122.
10. Водопьянов А.С. и др. — ПТЭ, 1984, 4, с.37; Filatova N.A. et al. — Nucl. Instr. Meth., 1977, 143, p.17.
11. Басиладзе С.Г. — Быстродействующая ядерная электроника. М.: Энергоиздат, 1982.
12. Басиладзе С.Г., Юдин В.К. — ПТЭ, 1977, 5, с.113.
13. Басиладзе С.Г. и др. — Препринт ОИЯИ, 13-80-87, Дубна, 1980.
14. Басиладзе С.Г., Тлачала В. — ПТЭ, 1975, 5, с.78.
15. Басиладзе С.Г., Лохоня Л. — ПТЭ, 1981, 5, с.62.
16. Дунин В.Б. — Сообщение ОИЯИ, 13-83-526, Дубна, 1983.
17. Гузик З. и др. — Препринт ОИЯИ, 13-12951, Дубна, 1980.
18. Борейко В.А. и др. — Препринт ОИЯИ, 13-6396, Дубна, 1972.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 мая 1988 года.

Беляев И.М. и др.

13-88-341

Спектрометр кумулятивных адронов.
Компоновка, детекторы, электроника

Описаны конструкция, система детекторов и электроника установки СКА-спектрометра кумулятивных адронов. Спектрометр размещался в кольцевом зале ускорителя У-70 ИФВЭ (Серпухов) и был использован для изучения процессов кумулятивного образования частиц при энергиях от 15 до 65 ГэВ.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод О.С.Виноградовой

Belyaev I.M. et al.

13-88-341

Cumulative Hadron Spectrometer.
Arrangement. Detectors. Electronics

Construction, detectors and electronics of CHS-cumulative-hadron-spectrometer are described. The spectrometer was placed in the ring hall of the IPHE's U-70 (Serpukhov) accelerator and was used for research of cumulative particle production at energies from 15 to 65 GeV.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988