

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ПЕРЕДНИЙ СПЕКТРОМЕТР УСТАНОВКИ СФЕРА

Ю.С.Анисимов, С.В.Афанасьев, В.К.Бондарев¹,
И.Г.Голутвина, О.В.Егоров, А.Ф.Елишев, Л.Я.Жильцова,
П.И.Зарубин, А.Д.Кириллов, В.Е.Ковтун², В.И.Колесников,
В.А.Кузнецов, А.Г.Литвиненко, А.И.Малахов,
Е.Н.Матвеева, И.И.Мигулина, В.Г.Перевозчиков,
Т.Д.Пилипенко, С.Г.Резников, О.Г.Рубина,
П.А.Рукояткин, С.А.Седых, А.Ю.Семенов,
А.Ю.Титов, А.Н.Хренов

Описана конструкция переднего спектрометра 4π установки СФЕРА, предназначенной для изучения множественного рождения частиц в ядро-ядерных взаимодействиях. Спектрометр расположен на пучке заряженных частиц синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ. Представлены измеренные параметры детекторов спектрометра.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Scintillation Forward Spectrometer of the SPHERE Setup

Yu.S.Anisimov et al.

The construction of the forward spectrometer for the 4π SPHERE setup to study multiple production of particles in nucleus-nucleus interactions is described. The spectrometer is placed at the charged particles beam of the LHE JINR synchrophasotron. The measured parameters of the spectrometer detectors are presented.

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

1. Введение

В настоящее время наблюдается все возрастающий интерес к изучению ядро-ядерных взаимодействий с образованием одной или нескольких частиц с большими поперечными импульсами. Однако большинство экспериментов в этой области выполнено в инклюзив-

¹НИИФ Санкт-Петербургского университета

²Харьковский университет

SPHERE

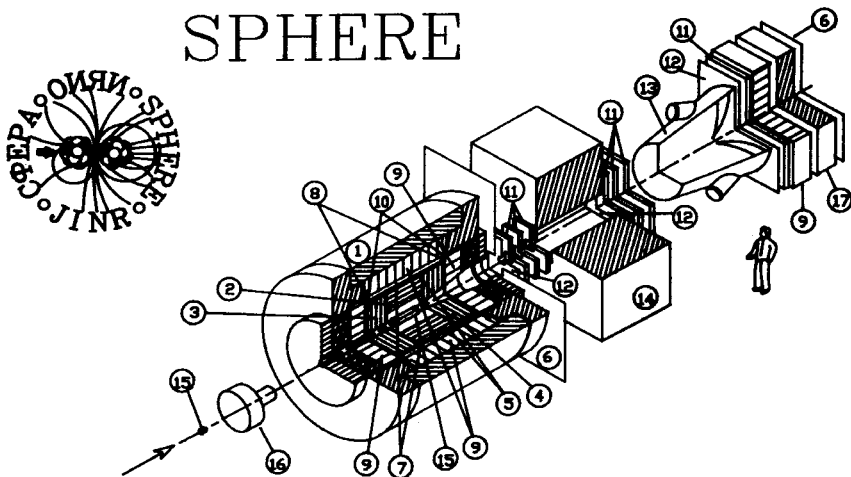


Рис. 1. Схема спектрометра СФЕРА: 1 - сверхпроводящий соленоид с железным замыкателем; 2 - центральная дрейфовая камера; 3 - задние дрейфовые камеры; 4 - передние пропорциональные камеры; 5 - цилиндрический сцинтилляционный годоскоп; 6 - мюонные сцинтилляционные годоскопы; 7 - цилиндрический черенковский годоскоп; 8 - передний и задний черенковские годоскопы; 9 - электромагнитный калориметр; 10 - передний и задний сцинтилляционные годоскопы; 11 - пропорциональные камеры; 12 - сцинтилляционный годоскоп; 13 - пороговый газовый черенковский счетчик; 14 - дипольный магнит; 15 - мишени; 16 - пучковый поглотитель; 17 - мюонные фильтры

ной или полуинклюзивной постановке, что не позволяет детально изучить механизм рассматриваемых реакций. В связи с этим в ЛВЭ ОИЯИ предложен и начал осуществляться проект создания универсального магнитного 4л-спектрометра СФЕРА^{/1/}. Схема спектрометра представлена на рис.1.

Условно будущий спектрометр можно разделить на три основные части:

- 1) центральный детектор, предназначенный для идентификации вторичных частиц в области фрагментации ядра-мишени;
- 2) передний детектор, выполняющий аналогичные функции в области фрагментации ядра-снаряда;
- 3) мишень и поглотитель адронного ливня для проведения мюонных экспериментов.

Настоящая работа посвящена описанию конструкции и характеристик детекторов переднего спектрометра установки СФЕРА.

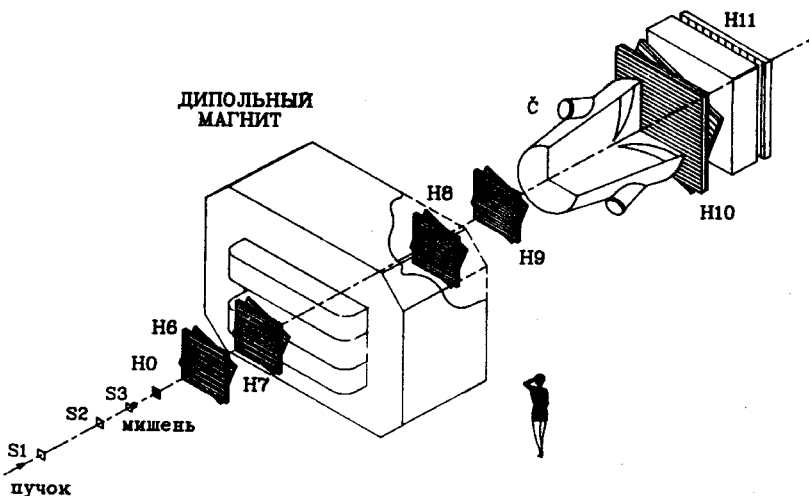


Рис. 2. Общий вид переднего спектрометра

2. Описание переднего спектрометра

Область фрагментации ядра-снаряда характеризуется значительной множественностью вторичных частиц, летящих в малом телесном угле, что предъявляет особо жесткие требования к быстродействию детекторов и триггера низкого уровня. С другой стороны, должна существовать возможность организовать достаточно сложный триггер, который позволит эффективно фильтровать события для поиска редких процессов. Исходя из этих соображений было решено остановиться на схеме магнитного спектрометра, координатные измерения в котором выполняются с помощью набора тонких плоских годоскопов сцинтилляционных счетчиков H0, H6-H10. Определенные комбинации сработавших в годоскопах счетчиков составляют быстрый триггер спектрометра, настроенный на изучаемую геометрию разлета вторичных заряженных частиц, что позволяет эффективно просеивать первичную информацию. Электроника сбора информации и триггер установки описаны в работе^{/2/}.

Идентификацию заряженных частиц предполагается вести путем измерения импульса по отклонению в постоянном магнитном поле и определения скорости частиц с помощью времяпролетной методики (до 2-3 ГэВ/с) и газового порогового черенковского счетчика (свыше 3 ГэВ/с).

Общий вид переднего спектрометра представлен на рис.2.

3. Годоскопы сцинтилляционных счетчиков

3.1. Описание годоскопов

Плоские тонкие годоскопы сцинтилляционных счетчиков Н0, Н6-Н10 предназначены для определения координат пролетающих сквозь них частиц и, ввиду своего высокого быстродействия, дают возможность включать эту информацию в триггер низкого уровня. Каждый из годоскопов Н6-Н10 содержит 3 координатные плоскости: *X*-плоскость (счетчики располагаются вдоль вертикальной оси), *Y*-плоскость (счетчики вдоль горизонтальной оси) и *U*-плоскость (счетчики повернуты на угол 20° к горизонтальной оси), предназначенную для определения соответствия отметок в *X*- и *Y*-плоскостях при регистрации нескольких частиц одновременно. В годоскопе Н0 *U*-плоскость повернута на угол 45° к горизонтальной оси. Кроме того, в этот годоскоп входит четвертая *V*-плоскость, счетчики которой повернуты на угол 90° по отношению к счетчикам *U*-плоскости.

Годоскоп Н11 предполагается использовать для выработки "Стоп"-сигнала при проведении времяпролетных измерений, а также в качестве триггерной плоскости при проведении мюонных экспериментов (в этом случае годоскоп будет располагаться за стальным поглотителем).

Геометрические характеристики годоскопов приведены в табл.1. Внешний вид годоскопа Н0 показан на рис.3, годоскопа Н8 – на рис.4, годоскопа Н10 – на рис.5.

Таблица 1

Годоскоп	Рабочая площадь, м ²	Ширина одного счетчика, см	Толщина одного счетчика, см	Количество плоскостей	Толщина годоскопа, см (% рад. длины)
Н0	0,15 × 0,15	0,9	0,3	4	1,2 (2,8)
Н6-Н9	1 × 1	4	0,5	3	1,5 (3,5)
Н10	2 × 2	4	0,5	3	1,5 (3,5)
Н11	2 × 2	10	1	1	1 (2,3)

Во всех годоскопах используется сцинтиллятор, изготовленный на базе полистирола с растворенными в нем сцинтиллирующими добав-

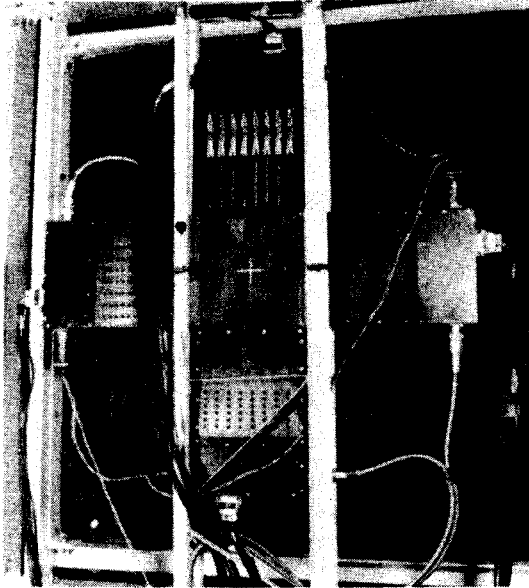


Рис. 3. Внешний вид годоскопа Н0

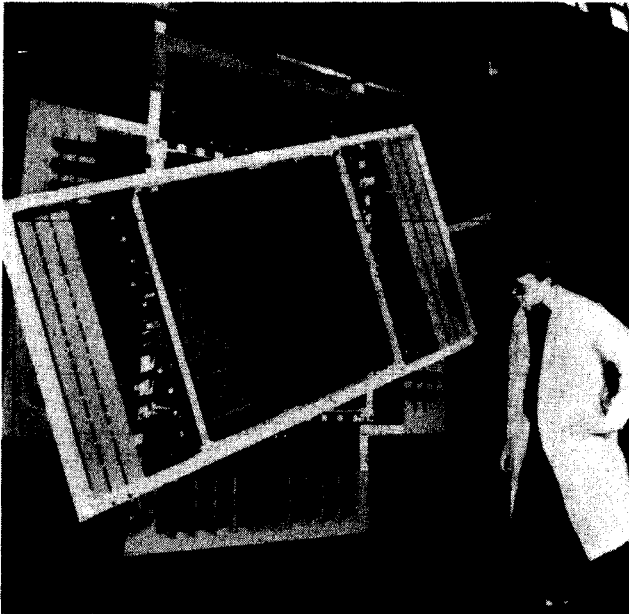


Рис. 4. Внешний вид годоскопа Н8



Рис. 5. Внешний вид годоскопа Н10

ками: 2% *p*-терфенил + 0,02% РОРОР (для счетчиков годоскопа Н0) или 1,5% *p*-терфенил + 0,01% РОРОР (для счетчиков остальных годоскопов). Сцинтилляторы для годоскопов Н0, Н6-Н9 изготовлены путем механической обработки с последующей полировкой граней. Сцинтилляторы счетчиков для годоскопов Н10 и Н11 изготовлены методом экструдирования^{/3/}, что позволяет получить более прозрачный сцинтиллятор. Каждый сцинтиллятор обернут в алюминизированный майлар (для улучшения светосбора) и в черную бумагу (для светоизоляции).

Свет из сцинтиллятора счетчика годоскопа Н0 попадает на фотокатод малогабаритного фотоумножителя ФЭУ-60, который пристыкован к торцу сцинтиллятора без световода на "сухом контакте" (без смазки — для обеспечения долговечности). Питание фотоумножителя осуществляется с помощью делителя напряжения, который подбирался из соображений максимума усиления. Схема делителя представлена на рис.ба. Для улучшения нагрузочных характеристик счетчика два последних диода ФЭУ подпитаны от сильноточных источников.

Два фотоумножителя ФЭУ-87 в каждом счетчике годоскопа Н10 пристыковываются к обоим торцам сцинтиллятора также без световодов и на "сухом контакте". Схема делителя напряжения, использованного в этом годоскопе, приведена на рис.бб.

Свет, выходящий из торца сцинтиллятора счетчика годоскопов Н6-Н9, с помощью световода из плексигласа собирается на фотока-

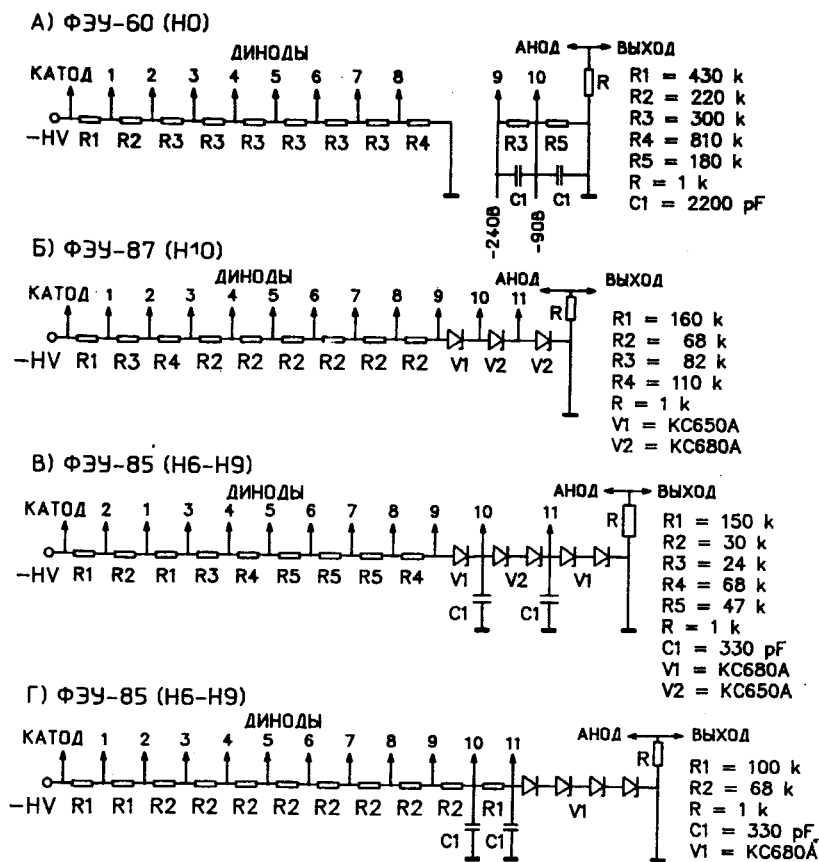


Рис. 6. Схемы делителей высокого напряжения для питания фотоумножителей: а) ФЭУ-60 (годоскоп Н0); б) ФЭУ-87 (годоскоп Н10); в) ФЭУ-85 (годоскопы Н6-Н9); г) ФЭУ-85 (годоскопы Н6-Н9)

тод фотоумножителя ФЭУ-85. Световод приклеен к сцинтиллятору оптическим клеем МБК-1, ФЭУ присоединен к световоду на "сухом контакте". Схема высоковольтных делителей для ФЭУ-85^{4/1} представлена на рис.бв.

Для улучшения светосбора оба конца экструдированной полосы сцинтиллятора счетчика годоскопа Н11 разогреваются до пластичного состояния и сжимаются для получения круглого сечения. Затем торцы полосы полируются, и к ним присоединяются на "сухом контакте" два ФЭУ-30.

Сигналы с анодов фотоумножителей по 35-метровым кабелям подаются в домик с электроникой.

3.2. Эффективность регистрации заряженных частиц

Важной характеристикой годоскопов подобного рода является эффективность регистрации релятивистских однозарядных частиц, которая обычно близка к 100%.

Измерения, проведенные со счетчиками годоскопа Н0, показали, что их эффективность в среднем равна 99%. Однако эффективность плоскости годоскопа в целом ниже примерно на 1-1,5%, что объясняется наличием щелей между расположенными встык сцинтилляторами счетчиков. От этой геометрической неэффективности можно избавиться, если расположить счетчики в плоскостях с перекрытием сцинтилляторов, однако такое расположение представляется нежелательным, т.к. существенно усложнит процедуру определения точки попадания частицы в годоскоп.

Измеренная на пучке релятивистских протонов эффективность отдельных сцинтилляционных счетчиков годоскопов Н6-Н9 при пороге формирователей 25-30 мВ оказалась близка к 97-98%. Однако эксплуатация годоскопов в составе установки в течение двух лет показала, что при реальной работе возникает ряд причин, которые могут лишь снижать эффективность годоскопов. Основной причиной неэффективности является недостаточная прозрачность некоторых сцинтилляторов. Нами были проведены измерения прозрачности партии сцинтилляторов, обработанных механическим способом. Результаты измерений приведены в ^{13/}. Основная часть сцинтилляторов имеет эффективную длину поглощения света λ в интервале 35+50 см, и при прохождении минимально ионизирующей частицы через дальний от световода конец сцинтиллятора образуется 5-15 фотоэлектронов.

Этого достаточно для надежной регистрации частицы. Однако некоторая часть сцинтилляторов обладает длиной поглощения света $\cong 20$ см; от "дальней" минимально ионизирующей частицы образуется примерно 1 ф.э., что в сочетании с невысоким усилением

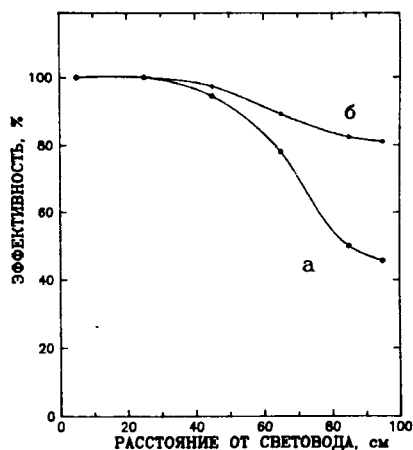


Рис. 7. Эффективности регистрации минимально ионизирующих частиц дефектным счетчиком годоскопов Н6-Н9: а) в случае питания ФЭУ-85 с помощью делителя, изображенного на рис.6в; б) питание ФЭУ-85 с помощью делителя, изображенного на рис.6б

ФЭУ-85 при примененном варианте питания дает эффективность $\approx 35-40\%$ (рис.7а). Снижение эффективности можно наблюдать и при порче склейки сцинтиллятора со световодом в процессе эксплуатации.

Для увеличения надежности работы счетчиков с высокой эффективностью был предпринят ряд мер:

1) Разработан новый высоковольтный делитель для ФЭУ-85 с более высоким (\approx в 10 раз) коэффициентом усиления. Схема делителя представлена на рис.6г. Применение такого делителя позволяет даже для сцинтиллятора с худшей прозрачностью ($\lambda \approx 20$ см) поднять эффективность регистрации "дальней" частицы примерно до 85% (см. рис.7б) и, следовательно, интегральную эффективность счетчика до 93-95%. В случае же счетчика с прозрачным сцинтиллятором ($\lambda > 35$ см) эффективность регистрации "дальней" частицы приближается к 100%.

2) Выполнены измерения, которые показали, что количество собираемого света в счетчике без применения склейки между сцинтиллятором и световодом на $\approx 10\%$ меньше, чем в клееном. Возросшая при использовании счетчиков без склейки надежность конструкции счетчика полностью компенсирует эту потерю.

Кроме того, планируется использовать формователи, которые будут располагаться около детекторов, что исключит затухание аналогового сигнала в длинном кабеле.

Геометрическая неэффективность собранных плоскостей годоскопов Н6-Н9 составляет примерно 3%.

Измерения с отдельными счетчиками годоскопов Н10 и Н11 показали, что "дальняя" от ФЭУ минимально ионизирующая частица приводит к образованию 10 ф.э. для счетчика Н10 и 20 ф.э. для счетчика Н11, что позволяет регистрировать заряженные частицы с эффективностью, близкой к 100%. Геометрическая неэффективность для годоскопа Н10 ожидается на уровне 4-5%. Счетчики годоскопа Н11 предполагается размещать с перекрытием сцинтилляторов, что исключает геометрическую неэффективность.

3.3. Загрузочные характеристики

Не менее важной характеристикой счетчиков детекторов является их способность работать в условиях больших нагрузок. Для измерения этой характеристики была собрана схема, в которой гребенка импульсов, идущих от генератора Г5-72, формируется на схеме совпадений таймером для имитации режима работы синхрофазотрона: 0,5 с – сброс, 10 с – пауза. Далее сформированная пачка импульсов усиливается и запускает в прямом направлении светодиод, свет от

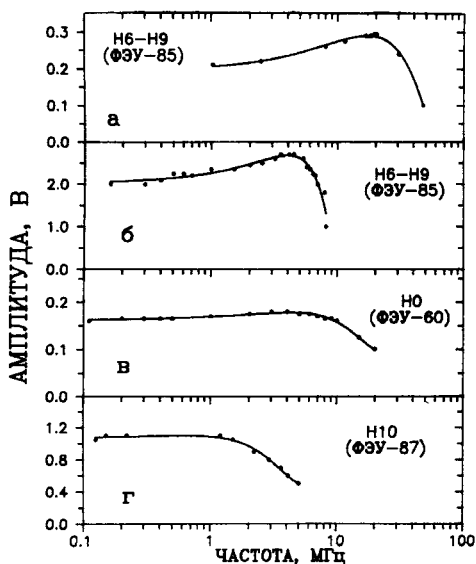


Рис. 8. Частотные характеристики сцинтилляционных счетчиков: а) годоскопов Н6-Н9 (ФЭУ-85, вариант питания - рис.6в); б) годоскопов Н6-Н9 (ФЭУ-85, вариант питания - рис.6г); в) годоскопа Н0 (ФЭУ-60); г) годоскопа Н10 (ФЭУ-87)

которого попадает на фотокатод ФЭУ. Параметры запуска светодиода подбирались таким образом, чтобы выходной импульс ФЭУ имитировал сигнал от однозарядной релятивистской частицы, проходящей в центре сцинтиллятора.

Результаты измерений для ФЭУ-85 (годоскопы Н6-Н9) с

делителем, схема которого показана на рис.6в, представлены на рис.8а. Видно, что делитель обеспечивает работу фотоумножителя вплоть до частоты ≈ 25 МГц. При более высокой частоте загрузки средний ток, текущий через последние диоды ФЭУ, сравнивается с током, поступающим в делитель из высоковольтного источника питания, что приводит к падению напряжения и, следовательно, усилению на последних диодах фотоумножителя. Кроме того, при нагрузках выше 25 МГц средний ток, текущий через последние диоды ФЭУ, превышает предельно допустимые значения для данного типа ФЭУ, и работа на таких нагрузках приводит к временному выходу фотоумножителя из строя. Поэтому не имеет смысла пытаться обеспечить работу умножителя при более высоких нагрузках.

Аналогичные измерения были проведены и для остальных используемых ФЭУ. Результаты измерений представлены на рис.8б-г. Необходимо отметить, что меньшая предельно допустимая частота (5 МГц) для ФЭУ-85 с делителем, показанным на рис.6г, по сравнению с вариантом использования делителя, схема которого дана на рис.6в, вызвана большей амплитудой выходных сигналов.

Измерения, выполненные со специальным подпитанным ФЭУ, позволяющим работать при больших нагрузках, показали стабильность работы светодиода во всем интервале частот, использованных для определения нагрузочных характеристик наших сцинтилляционных счетчиков.

Проведенные измерения показывают, что все используемые варианты питания фотоумножителей обеспечивают работу сцинтилляци-

онных счетчиков вплоть до загрузок несколько МГц, что отвечает требованиям к детекторам переднего спектрометра установки СФЕРА.

3.4. Времяпролетное разрешение

Измерение времяпролетного разрешения отдельного счетчика S годоскопа Н11 производилось на космических мюонах по следующей схеме: сигнал "Старт" для ВЦП вырабатывался мониторным счетчиком М, высокий порог формирователя (ФСП-163) которого обеспечивал практически полное отсутствие шумовых срабатываний. Сигналы "Стоп-1" и "Стоп-2" вырабатывались формирователями с фиксированными порогами. После коррекции зависимости времени

срабатывания этих формирователей от амплитуды сигналов со счетчика S полученные времена пролета с обоих концов усреднялись для обеспечения их независимости от точки прохождения мюона сквозь

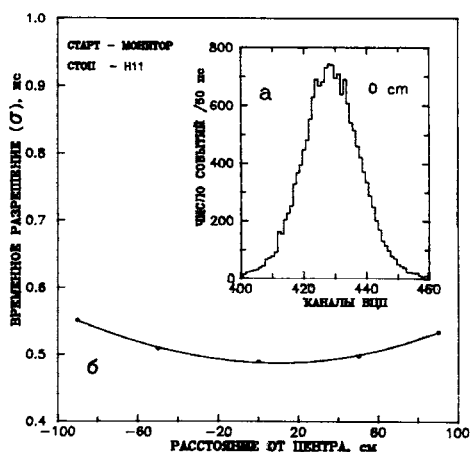


Рис. 9. Времяпролетный спектр для случая прохождения космических мюонов через центр счетчика годоскопа Н11 (а). Зависимость временного разрешения счетчика годоскопа Н11 от места прохождения частиц (б)

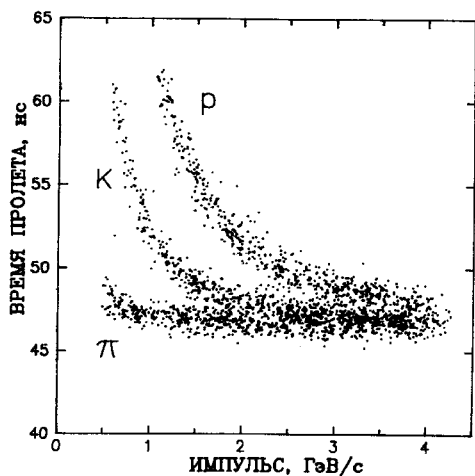


Рис. 10. Зависимость времени пролета π -, К-мезонов и протонов через передний спектрометр от импульса (результат розыгрыша Монте-Карло)

длинный сцинтиллятор счетчика *S*. На рис.9а приведен времяпролетный спектр для случая прохождения мюона в середине длинного счетчика. Зависимость времяпролетного разрешения от места попадания частицы в счетчик показана на рис.9б. Среднее по счетчику *S* разрешение (σ) системы "Старт" – "Стоп" составляет 500 пс.

На рис.10 представлены результаты розыгрыша Монте-Карло "измеренных" с указанным выше разрешением времен пролета на базе 14 м (длина переднего спектрометра) для π -, *K*-мезонов и протонов различных импульсов. Видно, что разработанные для годоскопа Н11 счетчики обеспечивают π -*K* разделение вплоть до импульса 1,8 ГэВ/с и *K*-*p* разделение до импульса 3 ГэВ/с.

4. Широкоапертурный пороговый газовый черенковский счетчик

Для разделения π - и *K*-мезонов в интервале импульсов 3-10 ГэВ/с в системе идентификации частиц переднего спектрометра предполагается использовать газовый черенковский счетчик. В качестве радиатора в этом счетчике выбран элегаз при атмосферном давлении, коэффициент преломления света которого обеспечивает необходимое разделение частиц.

Так как черенковский счетчик должен регистрировать многочастичные события, его было решено построить по принципу годоскопа из 16 отдельных секций, конструктивно аналогичных друг другу (разрез счетчика приведен на рис.11). Корпус секции изготовлен из алюминиевого каркаса, оклеенного алюминиевой фольгой толщиной 50 мкм. Сбор черенковского света на фотокатод фотоумножителя ХР-2041Q (с делителем, близким к паспортному) обеспечивается стеклянным алюминизированным сферическим зеркалом, закрепленным на шаровой опоре, что позволяет производить его юстировку.

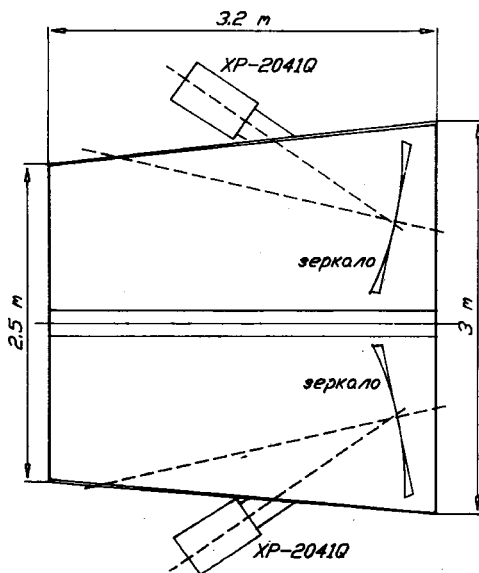


Рис. 11. Пороговый газовый черенковский счетчик в разрезе

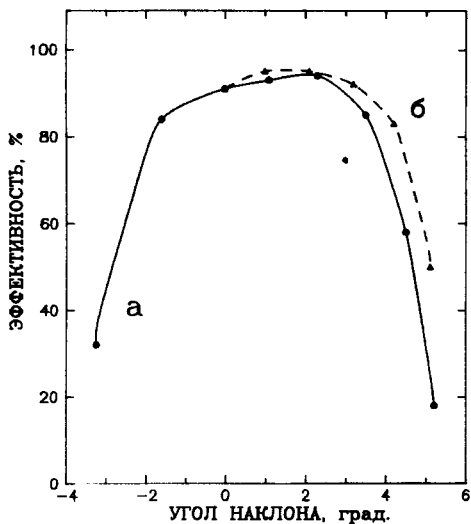


Рис. 12. Зависимость эффективности регистрации π -мезонов (4,5 ГэВ/с) пороговым газовым черенковским счетчиком: а) от угла наклона в вертикальной плоскости; б) от угла поворота в горизонтальной плоскости

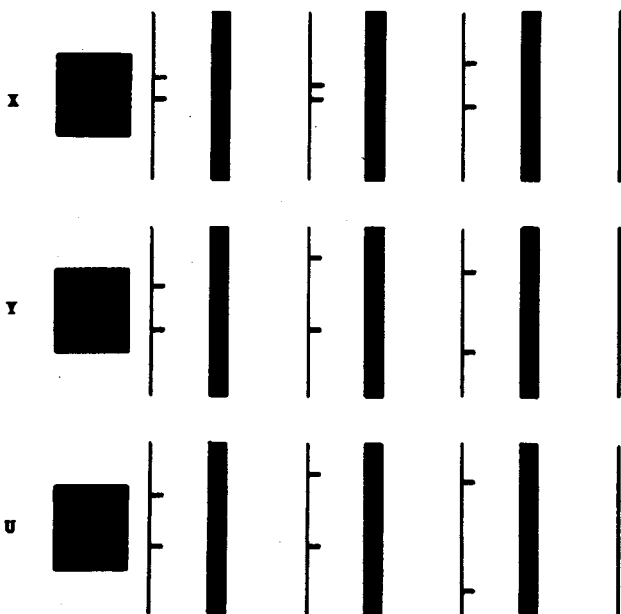
На узле ФЭУ предусмотрена установка дополнительного светосборника "уинстоновского" типа для увеличения коэффициента светосбора. В период испытания и наладки счетчика светосборник не применялся.

Опытный образец секции черенковского счетчика был испытан на пучке вторичных π -мезонов с импульсом 4,5 ГэВ/с. На рис.12 приведена зависимость эффективности регистрации π -мезонов от углов в горизонтальной и вертикальной плоскостях, под которыми частицы попадают в счетчик. Невысокая эффективность в области отрицательных углов в вертикальной плоскости (передняя часть корпуса секции опущена) объясняется отсутствием "уинстоновского" светосборника. В области эффективной работы секции на фотокатоде ФЭУ рождалось примерно 4,6 ф.э.

5. Трековая система

Часть аппаратуры переднего спектрометра принимала участие в экспериментах по оценке сечения рождения кумулятивных мюонных пар с малой инвариантной массой^{15/} и по изучению A -зависимости сечения рождения кумулятивных π^- -мезонов^{16,7/}. Рис.13 иллюстрирует способность использования годоскопов Н6-Н9 в качестве трековой системы в эксперименте по обнаружению мюонных пар.

На рис.14 приведены профили регистрации X - и Y -плоскостями годоскопа Н7 π^- -мезонов при изучении A -зависимости сечений образования кумулятивных π^- -мезонов. Отсутствие "провалов" в гистограммах характеризует достаточно эффективную работу координатных детекторов. При проведении этого эксперимента была произведена оценка импульсного разрешения спектрометра путем фитирования импульсных спектров от монохроматических пучков π^- -



TIME:14.33.49 CYC= 150 EVENT= 1 V_EVENT= 0 SCAN START

Рис. 13. Схематическое изображение срабатываний счетчиков годоскопов Н6-Н9 в эксперименте /5/ (фотография с экрана дисплея)

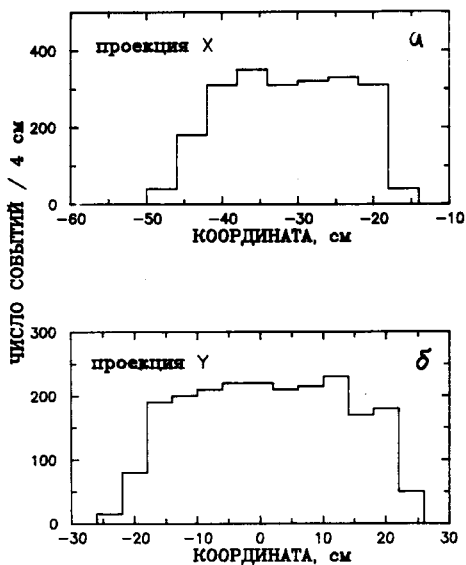


Рис. 14. Профили регистрации π^- -мезонов счетчиками годоскопа Н7 в эксперименте /6,7/: а) плоскость X; б) плоскость Y

мезонов с импульсами 3 и 4 ГэВ/с^{7/}. В этом интервале импульсов верхняя оценка разрешения составила $\sigma_p/P \cong 5,0 \pm 0,1\%$.

В заключение авторы выражают благодарность сотрудникам ИФВЭ (Протвино) В.В.Аммосову, В.А.Гапиенко и А.Г.Денисову за помощь при экструировании пластических сцинтилляторов большой длины, Б.К.Курятникову, Ю.И.Тятюшкину и В.И.Шарапову за содействие в изготовлении детекторов и монтаже установки, А.И.Голохвастову и С.А.Хорозову за полезные обсуждения. Особую признательность авторы выражают директору ЛВЭ академику А.М.Балдину за постоянное внимание, проявляемое к нашей работе.

Литература

1. Averichev G.S. et al. – In: Proceedings of the Third International Symposium "Pion-Nucleon and Nucleon-Nucleon Interactions". Gatchina, 1989, vol.2, p.357.
2. Afanasiev S.V. et al. – In: Proceedings of the International Symposium "Electronic Instrumentation in Physics", JINR E13-91-321, Dubna, 1991, p.85.
3. Аммосов В.В. и др. – ПТЭ, 1990, № 1, с.94.
4. Голохвастов А.И. – ОИЯИ 1-89-698, Дубна, 1989.
5. Afanasiev S.V. et al. – In: JINR Rapid Communications, № 7[46]-90, Dubna, 1990, p.3.
6. Litvinenko A.G. – In: Proceedings of the Fourth International Conference on Nucleus-Nucleus Collisions, Kanazawa, Japan, 1991.
7. Afanasiev S.V. et al. – In: JINR Rapid Communications, № 5[51]-91, 1991, p.5.

Рукопись поступила 6 декабря 1991 года.