

1 - 12426

К - 777

КРАМАРЕНКО  
Виктор Алексеевич

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ  
СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ  
МНОГОКАНАЛЬНЫХ ЧЕРЕНКОВСКИХ  
МАСС-СПЕКТРОМЕТРОВ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ  
В ФИЗИКЕ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий  
Объединенного института ядерных исследований

Научные руководители:

доктор физико-математических наук,  
профессор

ХАЧАТУРЯН  
Марлен Нарисоевич

кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник

БАСИЛАДЗЕ  
Сергей Геннадьевич

Официальные опоненты:

доктор физико-математических наук,  
старший научный сотрудник

БЕЛОУСОВ  
Анатолий Семенович

кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник

БАЛАЦ  
Михаил Яковлевич

Ведущая организация

Московский инженерно-  
физический институт.

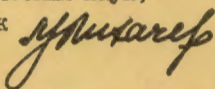
Автореферат разослан " " 1979 г.

Защита состоится "4" окт 1979 г. в "11" часов  
на заседании специализированного совета Д-047.01.02 при  
Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных  
исследований, г. Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Ученый секретарь специализированного совета  
кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник

ЛИХАЧЕВ  
Михаил Федорович



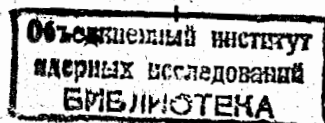
В последние годы отмечается повышенный интерес к ливневым черенковским спектрометрам полного поглощения, с помощью которых можно идентифицировать частицы электромагнитной природы. Первые работы в области методики черенковских спектрометров были сделаны в 1954-60 гг. независимо в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ (В.С.Пантуев, М.Н.Хачатурян, И.В.Чувило. ПТЭ, I, 1960, 19), в Беркли США (J.Brabant, et al. Rev. Scient. Instr. 28, 1957, 421) и в Физическом институте им. Лебедева АН СССР (В.Ф.Грушин и др. ПТЭ, 2, 1960, 27). В этих работах показано, что для спектрометрии фотонов и электронов высоких энергий достаточно иметь черенковский счетчик сравнительно малых размеров  $\sim 12$  рад. единиц. Созданные детекторы имели хорошую линейность амплитуды сигналов в диапазоне энергий 0,25-4,0 ГэВ и высокую разрешающую способность. Новый этап в развитии методики заключался в реализации совместной работы черенковского спектрометра с координатным детектором (искровой камерой). Такое сочетание детекторов позволило создать приборы, существенно расширяющие возможности эксперимента. С помощью прибора, созданного в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ в 1964 году, были получены результаты, позволившие впервые установить существование  $\rho \rightarrow e\bar{e}$  и  $\varphi \rightarrow e\bar{e}$  распадов и измерить их парциальные ширины. Дальнейшее развитие методики черенковских ливневых спектрометров происходило по пути превращения их в большие годоскопические системы с целью получения координатной информации одновременно с информацией об энергии поглощенной частицы.

Представляемая диссертация посвящена дальнейшему развитию методики черенковских ливневых спектрометров и основана на материалах исследований и разработок<sup>1-3/</sup>, выполненных в 1968-78 г.г. в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Целью настоящей работы явилось создание и исследование спектрометрической аппаратуры двухканального и 90-канального черенковских спектрометров, а также разработка вопросов, связанных с особенностями измерения энергии частиц в годоскопической системе детекторов.

Актуальность работ. Методика черенковских ливневых спектрометров получила большое развитие в физике высоких энергий. Ливневые детекторы успешно применяются в экспериментах, в которых необходимо регистрировать электроны и гамма-кванты.

Созданная аппаратура позволяет регистрировать большой диапазон эффективных масс резонансов и надежно идентифицировать



события. По наглядности представляемой информации установка приближается к пузырьковым камерам, однако значительно превосходит их по быстрдействию, способности работать с большими нагрузками и по высокой селективности запуска. Все это позволяет использовать созданный комплекс аппаратуры для широкого круга поисковых задач на актуальных направлениях физики высоких энергий.

Автор защищает настоящей работой:

1. Результаты исследований характеристик двух типов черенковских гамма-спектрометров, включая характеристики ФЭУ и регистрирующей электроники.

2. Предложенный метод восстановления энергии в годоскопическом черенковском гамма-спектрометре.

3. Создание и исследование спектрометрических комплексов аппаратуры двухканального и 90-канального гамма-спектрометров с системами контроля питания и стабилизации.

Научная новизна и значимость работы заключаются в том, что в результате проведенных исследований создан впервые в Советском Союзе многоканальный комплекс - 90-канальный черенковский гамма-спектрометр полного поглощения, который используется для решения различных задач физики высоких энергий. Впервые детально изучены факторы, влияющие на точность восстановления энергии в годоскопическом черенковском гамма-спектрометре. Получены зависимости амплитуды сигнала детектора от координат и углов входа частиц в спектрометр. Новым является применение для контроля усиления спектрометрических сигналов миниатюрных импульсных световых источников, состоящих из альфа-источников  $^{241}\text{Am}$  с кристаллом  $\text{NaJ(Tl)}$ . В аппаратуре регистрации успешно применена система динамического аналогового хранения информации. Осуществлено автоматическое управление режимами работы установки (5 различных режимов) по командам от ЭВМ. В одном из режимов производится измерение и контроль линейности спектрометрических каналов в паузах между циклами ускорения. Разработана не имеющая аналогов в Советском Союзе система высоковольтного стабилизированного питания, рассчитанная на двести фотоумножителей.

Практическая ценность работы состоит в том, что созданный комплекс аппаратуры и результаты его исследований позволяют правильно решать задачи в области физики сильных, слабых и электромагнитных взаимодействий. Опыт создания аппаратуры позволяет применять его

для дальнейших научных разработок в области методов регистрации и идентификации частиц электромагнитной природы.

Структура диссертации отвечает избранной теме. Диссертация состоит из введения и трех глав, посвященных созданию двухканального, затем 90-канального черенковского гамма-спектрометра, а также проблемам восстановления энергии в годоскопическом черенковском спектрометре. Работа содержит 100 страниц текста, 59 рисунков, 3 таблицы, библиографический список литературы, состоящий из 92 названий.

Во введении описаны основные этапы развития методики черенковских ливневых спектрометров, кратко изложено то новое, что, по мнению автора, вносится работой в избранную проблему, перечислены основные положения, вынесенные на защиту.

В первой главе диссертации описаны детекторы двухлучевого черенковского масс-спектрометра, созданные в 1964 году в ЛВЭ ОИЯИ. Основу масс-спектрометра составляют совместно работающие ливневые гамма-спектрометры полного поглощения (С) и оптические искровые камеры (SC) с конверторами (С), образующие два независимых канала регистрации направления и энергии электрон-фотонных ливней (рис. 1). Радиаторы гамма-спектрометра изготовлены из свинцового стекла ТФ-1 ( $50 \times 50 \times 50$ ) см<sup>3</sup>. Черенковское излучение из блока свинцового стекла собирается на девять фотоумножителей типа ФЭУ-49, сигналы с которых суммируются. В установке используются три сцинтилляционных счетчика для мониторинга пучка  $S_1 S_2 S_3$ . Между искровыми камерами и спектрометрами расположены два больших сцинтилляционных счетчика  $S_4 S_5$  ( $50 \times 50 \times 2$ ) см<sup>3</sup> для увеличения эффективности запуска установки. Они служат для исключения событий, в которых гамма-кванты не взаимодействовали с конверторами и, следовательно, не дали трека в искровых камерах. Регистрация событий в установке происходит при выполнении следующих условий:

1. Наличие совпадающих во времени сигналов с детекторов

$$S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot S_4 \cdot S_5 \cdot \check{C}_1 \cdot \check{C}_2.$$

2. Энерговделение в каждом плече спектрометра превышает заданный порог -  $E_{\gamma 1} \geq E_{\text{пор}1}$ ,  $E_{\gamma 2} \geq E_{\text{пор}2}$ .

3. Сумма энергий, выделенная в обоих спектрометрах, превышает порог -  $E_{\gamma 1} + E_{\gamma 2} \geq E_{\text{пор}3}$ .

На основе анализа характеристик детекторов, а также исходя из конкретных задач, решаемых на установке, рассматриваются требования к созданию регистрирующей аппаратуры.

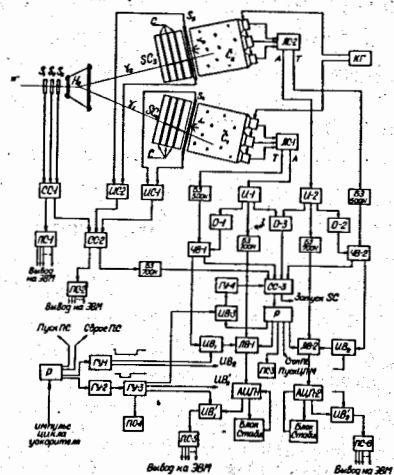


Рис.1. Блок-схема электронной аппаратуры двухканального черенковского гамма-спектрометра.

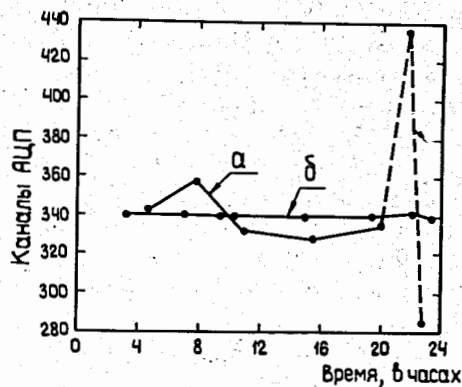


Рис.2. Стабильность положения пика электронов без стабилизации (а) и со стабилизацией (б).

Второй раздел главы посвящен созданию регистрирующей аппаратуры двухканального черенковского гамма-спектрометра (рис.1). Аппаратура была создана в 1970 году. Амплитудный анализ проводится по сумме зарядов девяти ФЭУ. Сигналы тока с фотоумножителей преобразуются в заряд схемой интегратора, на выходе которого сигналы пропорциональны поглощенной энергии в спектрометре.

Дискриминаторы  $D_1$  и  $D_2$  срабатывают в случае превышения порога сигналами в каждом плече спектрометра. Дискриминатор  $D_3$  обеспечивает срабатывание установки от частиц с суммарной энергией больше установленного порога. Включение дискриминаторов  $D_1, D_2$  в схему совпадений СС-3 через схему ворот ЧВ образует систему с компенсацией временного разброса спектрометрических сигналов и позволяет использовать схему совпадений с разрешающим временем, уменьшенным до 50 наносекунд. Преобразование информации в цифровой код ведется двумя аналого-цифровыми преобразователями АЦЦ-1,2.

Предусмотрено три режима работы установки: режим измерения, режим стабилизации коэффициентов усиления спектрометрических каналов, режим контроля линейности каналов и порогов дискриминаторов. Переключение режимов осуществляется автоматически и синхронизируется с циклом работы ускорителя.

Далее, в работе рассматривается система стабилизации спектрометрических каналов черенковского гамма-спектрометра<sup>[2]</sup>. В качестве репера в системе используется световая вспышка альфа-частиц  $^{241}\text{Am}$  в кристалле  $\text{CaJ}(\text{Tl})$ . Проанализирована температурная зависимость световыхода кристалла  $\text{CaJ}(\text{Tl})$  и других факторов, влияющих на интенсивность световой вспышки. Показано, что выбранный датчик света дает практически постоянную световую вспышку, эквивалентную черенковскому свету, возникшему в радиаторе спектрометра в результате поглощения электрона с энергией 1,2 ГэВ. Для стабилизации коэффициента усиления спектрометрического канала выбрана и реализована система цифро-аналогового типа, которая уравнивает интенсивности частиц в двух цифровых "окнах" на склонах реперного альфа-пика. Исследование работы системы стабилизации проводилось на пучке электронов (4 ГэВ), присутствующих в качестве примеси в пучке пионов синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ. Результаты представлены на рис.2. Изменение коэффициента усиления канала от +28% до -17% стабилизировалось системой в пределах  $\pm 0,5\%$ .

В третьем разделе главы детально проанализированы погрешности, возникающие при восстановлении энергии поглощенной частицы в спект-



рометре. Рассматривались погрешности, связанные с электроникой регистрации (дрейф "пьедестала", нестабильности коэффициента передачи каналов), а также ошибки, связанные с неравномерностью амплитуды сигнала по поверхности и с наличием конверторов перед спектрометрами. Показано, что суммарная погрешность восстановления энергии, в основном, определяется величиной амплитудного разрешения спектрометров в условиях рабочих измерений с учетом неравномерности амплитуды сигнала по поверхности и энергетических потерь в конверторах

$$\frac{\Delta E}{E} = \pm \left( \sqrt{9 + \frac{196}{E \Gamma_{ЭВ}}} \right) \% \quad (I)$$

В последнем разделе главы описывается использование двухканального черенковского спектрометра в эксперименте по исследованию процесса фоторождения  $\Pi^0$ -мезонов на ядрах  ${}^4\text{He}$  в Ереванском физическом институте<sup>3/</sup>. На пучке электронов исследовались характеристики черенковского спектрометра. Получена зависимость амплитудного разрешения спектрометра от энергии электронов в диапазоне 0,45–4,0 ГэВ. (рис.3). В работе показана возможность применения аппаратуры черенковского спектрометра в экспериментах с высокоинтенсивными пучками фотонов  $10^9$  фотонов/с.

Вторая глава диссертации посвящена 90-канальному черенковскому гамма-спектрометру, создание которого явилось новым этапом в развитии метода измерения энергии электрон-фотонных ливней. Секционирование гамма-спектрометра расширяет возможности методики благодаря способности раздельной идентификации нескольких частиц.

Созданный черенковский гамма-спектрометр состоит из отдельных 90 идентичных модулей, собранных в два блока по 45 штук, расположенных симметрично относительно пучка. Радиаторы модулей изготовлены из свинцового стекла ТФ-1 в форме шестигранной призмы с диаметром вписанного цилиндра 17,5 см и толщиной 35 см (14 рад. единиц). Конструкция черенковского модуля позволяет легко компоновать различные конфигурации спектрометра. В модулях спектрометра применены отечественные спектрометрические фотумножители типа ФЭУ-49Б с чувствительностью больше 100 мкА/лм. Автором проведено исследование работы ФЭУ с целью повышения стабильности коэффициента усиления, улучшения линейности и собственного разрешения<sup>4/</sup>.

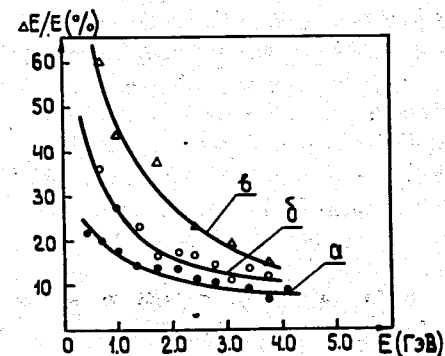


Рис.3. Зависимость амплитудного разрешения двухканального спектрометра (FWHM) от энергии электронов для случаев, когда: а) электроны попадают непосредственно в спектрометр, б) перед спектрометром установлен конвертор 18 мм меди и 60 мм оргстекла, в) перед спектрометром установлен конвертор 30 мм меди и 60 мм оргстекла.

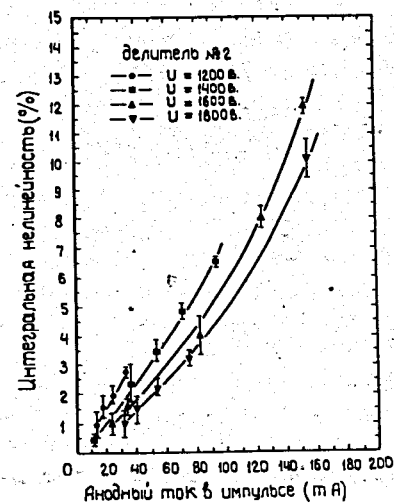


Рис.4. Зависимость интегральной нелинейности ФЭУ-49, примененного в гамма-спектрометре, от анодного тока.

Линейность световой характеристики изучалась с помощью фосфид-галлиевого электролюминесцентного диода в импульсном режиме. Калибровочное измерение характеристики светодиода производилось на фотоумножителе, работающем в заведомо линейной области выходных сигналов. Линейность калибровочной характеристики светодиода дополнительно проверялась с помощью относительных измерений с использованием светофильтров. В результате исследований фотоумножителей было установлено, что для анодных сигналов меньше 10 мА интегральная нелинейность не превышает 0,5% в широком диапазоне напряжений питания (рис. 4).

Исследование амплитудного разрешения ФЭУ от величины квантовой эффективности фото катода привело к выводу, что с увеличением квантовой эффективности  $\epsilon$  мкА/лм амплитудное разрешение улучшается как  $\sqrt{\epsilon}$ .

Далее, в работе описано решение проблемы питания большого количества (до двухсот) ФЭУ. Для решения этой проблемы был создан один сильноточный высоковольтный источник питания с высокой стабильностью величины напряжения, а также система пассивных регулируемых разветвителей<sup>5/</sup>. Диапазон регулируемых напряжений 800–2900 В, ток до 400 мА. Нестабильность величины напряжения меньше 0,05%.

Четвертый раздел главы посвящен исследованию одного из важных параметров черенковского детектора – энергетического разрешения. Исследовались все 90 модулей на электронах с импульсами 2, 3 и 4 ГэВ/с. Получено среднее амплитудное разрешение (FWM) для 90 модулей детектора –  $(9,2/\sqrt{E \text{ ГэВ}} + 0,7)\%$ .

Исходя из основных свойств детектора, а также из специфики метода измерения энергии в секционированном спектрометре, были сформулированы требования к регистрирующей электронике.

В шестом и седьмом разделах главы описывается электроника регистрации 90-канального черенковского спектрометра, работающего на линии с ЭВМ (HEWLETT-PACKARD 2116B). На рис. 5 представлена блок-схема разработанной спектрометрической аппаратуры. Система регистрации состоит из 90 амплитудных измерительных каналов, электроники отбора событий по энергии и электроники калибровочных систем<sup>6/</sup>. Амплитудный канал состоит из усилителя с регулировкой амплитуды сигнала – ЛУ и системы динамического хранения аналоговой информации – АП, которая разбита на 4 группы по 24 канала.

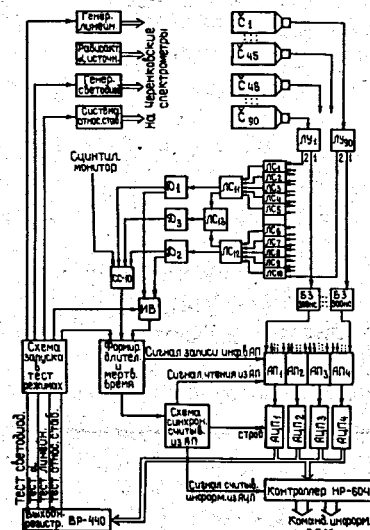


Рис. 5. Блок-схема спектрометрической аппаратуры 90-канального черенковского гамма-спектрометра.

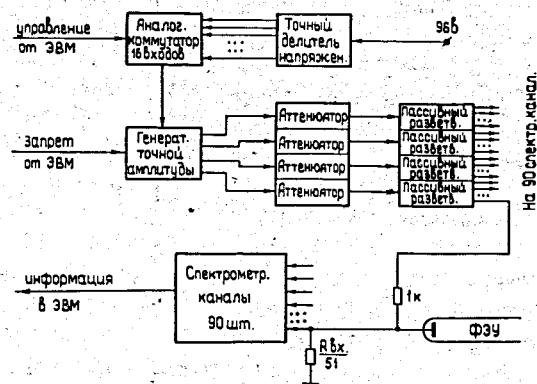


Рис. 6. Блок-схема аппаратуры для снятия характеристик электроники спектрометрических каналов.

Каждая группа каналов обслуживается аналогово-цифровым преобразователем – АЦП. Информация с каждой группы АЦП последовательно поступает на АЦП. Считывание в память ЭВМ ведется по каналу прямого доступа с четырех АЦП параллельно. Такое построение амплитудных каналов позволяет сократить объем аппаратуры при несущественном увеличении (в 1,5 раза) времени передачи информации в ЭВМ по сравнению с системой, состоящей из 90 зарядово-цифровых преобразователей.

90-канальный линейный сумматор  $ЛС_{I-LS_{I3}}$  вместе с дискриминаторами  $Д_I-Д_3$  образует логическую систему отбора событий по суммарному энерговыделению и энерговыделению отдельно в каждом плече спектрометра.

Системы контроля работы спектрометрической аппаратуры описаны в восьмом разделе главы. Для проверки характеристик электроники спектрометрических каналов создана автоматическая система<sup>77/</sup>, управление которой полностью осуществляет ЭВМ. Блок-схема системы представлена на рис. 6. Принцип работы генератора основан на разряде разомкнутой линии через ключевой транзистор КТ904. При проверке линейности характеристик электроники регулирование амплитуды сигнала генератора производится от ЭВМ с помощью блоков аналогового коммутатора и точного делителя напряжения, образующего линейно меняющуюся последовательность потенциалов на зарядной линии генератора. Собственная интегральная нелинейность системы контроля – 0,36%. На рис. 7 (фотография с дисплея ЭВМ) показан результат проверки линейности характеристики канала №80.

Здесь же на этой фотографии приводится спектр импульсов другой калибровочной системы, контролирующей дрейф коэффициента усиления канала, включая ФЭУ. Это 90 миниатюрных источников света, состоящих из альфа-источников  $^{241}Am$  с кристаллом  $NaJ(Tl)$ . Амплитуда светового сигнала соответствует энерговыделению 1,2 ГэВ от поглощенного в детекторе гамма-кванта. Средний разброс амплитуд световых сигналов (разрешение) – 5,2% (ФВНМ). Световой источник имеет размеры 10x5 мм и крепится в центре торца модуля черенковского радиатора против фотокатода вместе с другим контрольным источником света – помещенным в термостат светодиодом, который образует независимую систему контроля усиления спектрометрического канала. Запуск светодиодов АЛГО2А осуществляется в прямом направлении импульсами заряда. Кроме перечисленных калибровочных систем, в работе рассмотрена дополнительная система проверки относитель-

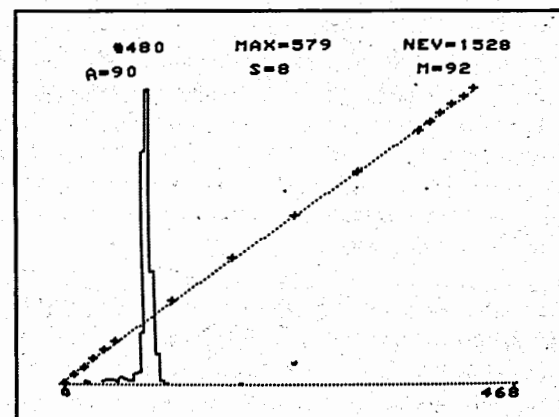


Рис. 7. Характеристика линейности спектрометрического канала №80, воспроизведенная на экране дисплея.

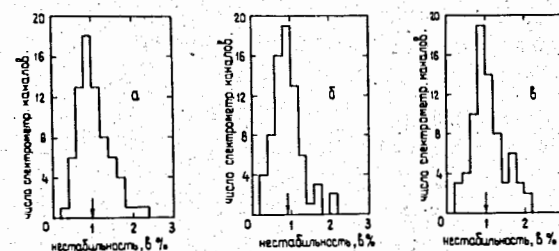


Рис. 8. Распределение нестабильности сигналов от реперных альфа-источников (а) и светодиодов (б), скорректированных по системе относительной стабильности. Распределение дрейфов сигналов от светодиодов (в) относительно альфа-источников.

ной стабильности характеристик спектрометрических каналов. Система контроля состоит из искрового разрядника и светодиодов, транспортирующих свет ко всем модулям спектрометра одновременно. В процессе контроля вычисляются отношения амплитуд всех модулей к амплитуде одного из них для каждой световой вспышки искрового разрядника.

С помощью систем контроля измерялась общая стабильность аппаратуры и проводились исследования собственных нестабильностей ре-



перных световспышек, которые представлены на рис.8. Анализ этих результатов показал, что величина собственного дрейфа амплитуды всех реперных световых источников не превышает 0,35%/6/.

Главным итогом работ, освещенных во второй главе диссертации, является создание спектрометрической электроники, позволившей полностью реализовать положительные особенности 90-канального черенковского гамма-спектрометра.

В третьей главе рассмотрены особенности восстановления величины поглощенной энергии в секционированном спектрометре<sup>18/</sup>. Идентификация резонансов осуществляется с помощью анализа эффективной массы продуктов распада, и поэтому правильная энергетическая реконструкция событий является задачей первостепенной важности.

В первом разделе главы исследуются экспериментальные зависимости амплитуды сигналов спектрометра от координаты и угла падения частиц на плоскость спектрометра. Экспериментальные данные (рис.9) получены на пучке электронов с импульсом 3,26 ГэВ/с. Область экспонирования определялась сцинтиляционным счетчиком 2x2 см<sup>2</sup>. Для упрощения задачи восстановления энергии предложен метод коррекции амплитуды с помощью параметра  $X = A_{\text{макс}}/A_{\text{сумм}}$  без привлечения координатной информации с искровых камер. Здесь  $A_{\text{макс}}$  - максимальная амплитуда сигнала в одном из группы сработавших модулей,  $A_{\text{сумм}}$  - сумма амплитуд сигналов группы сработавших модулей спектрометра. Экспериментальная зависимость амплитуды сигнала спектрометра от параметра  $X$  в пределах ошибок измерений не зависит от угла падения частиц и хорошо описывается эмпирической формулой:

$$E_{\gamma} = E' \left\{ 1 + 0,08 \left[ 1 - (2x - 1)^3 \right] \right\}, \quad (2)$$

где  $E_{\gamma}$  - энергия гамма-квантов, а  $E'$  - измеренное значение энергии. Среднее значение величины амплитудной коррекции равно 3,5%.

Исследовано влияние поглощения частиц на границе спектрометра на амплитуду сигнала. Найдено, что для расстояний до 3 см от края спектрометра изменение амплитуды сигнала не превышает 1,5%. События, в которых частицы попадают в граничную область спектрометра (3 см от края), исключаются из обработки.

Во втором разделе рассмотрены потери энергии в конверторах. Для описания энергетических потерь гамма-квантов использовалась следующая эмпирическая формула:

$$\Delta E_{\gamma} = 3,6 \left( \frac{t}{2} \right)^2 \sqrt{E_{\gamma} - 150}, \quad (3)$$

где  $\Delta E_{\gamma}$  - потери энергии (МэВ),  $E_{\gamma}$  - энергия гамма-кванта (МэВ),  $t$  - толщина конвертора (рад. единиц).

Автором оценивался систематический сдвиг измеряемой энергии фотонов, который составил 3,6% (в сторону уменьшения энергии). Этот сдвиг получен следующим образом: потери энергии в различных по толщине конверторах вычислялись по формуле (3), а затем суммировались с весом, равным вероятности конверсии фотона в соответствующем конверторе.

В третьем разделе главы представлены результаты энергетической реконструкции событий при изучении процесса  $\bar{p}p \rightarrow \eta(\gamma)\eta$  в области малых переданных нуклоном импульсов, от  $t_{\text{min}}$

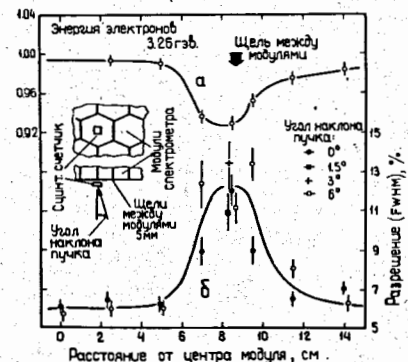


Рис.9. а) зависимость суммарной амплитуды сигналов двух смежных модулей от места входа электронов в спектрометр, б) зависимость амплитудного разрешения для тех же условий.

до  $0,3(\text{ГэВ}/\text{с})^2$ . При анализе экспериментальной информации при 3,26 ГэВ/с производился отбор  $\gamma\gamma$ -событий по следующим критериям: угол разлета  $17^\circ \leq \theta \leq 26^\circ$ ; недостающая масса  $0,6 \text{ ГэВ} \leq M_{\text{н}} \leq 1,1 \text{ ГэВ}$ ; эффективная масса  $\gamma\gamma$ -системы  $440 \text{ МэВ} \leq M_{\gamma\gamma} \leq 640 \text{ МэВ}$  (рис.10); суммарная энергия  $\gamma\gamma$ -системы  $3 \text{ ГэВ} \leq E_{\gamma 1} + E_{\gamma 2} \leq 3,5 \text{ ГэВ}$  (рис.11); энергия каждого гамма-кванта  $0,4 \text{ ГэВ} \leq E_{\gamma} \leq 2,8 \text{ ГэВ}$ ; величина отношения меньшей к большей энергии двух гамма-квантов  $E_{\text{м}}/E_{\text{б}} \geq 0,2$ . При восстановлении энергии гамма-квантов вводились поправки на по-

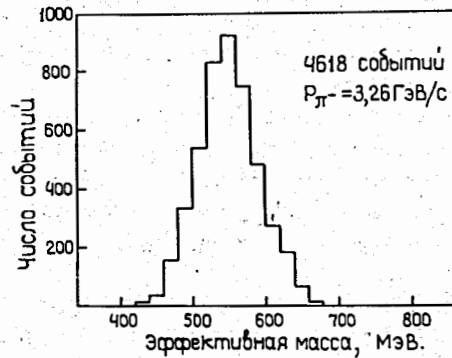


Рис. I0. Распределение по эффективной массе  $\gamma\gamma$ -событий при импульсе  $\pi^-$ -мезонов 3,26 ГэВ/с.

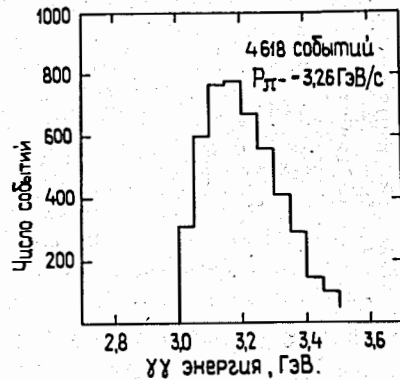


Рис. II. Распределение энергии суммы двух гамма-квантов при импульсе 3,26 ГэВ/с.

тери энергии в конверторах и неравномерность амплитуды сигнала спектрометра по поверхности.

Экспериментальную величину аппаратного энергетического разрешения можно получить из распределения суммарной энергии  $\gamma\gamma$ -системы. Этот анализ проводился для реакции  $\pi p \rightarrow \eta n$  при двух значениях импульса  $\pi^-$ -мезонов 3,36 ГэВ/с и 4,75 ГэВ/с. В области малых переданных нуклону импульсов в установке, в основном, регистрируются резонансы с энергией, близкой к энергии  $\pi^-$ -мезонов.

Тогда суммарное энергетическое разрешение гамма-квантов должно иметь пик с разрешением, обусловленным аппаратурой. Однако в экспериментальном распределении, представленном на рис. II, присутствуют фоновые события, в основном, от рождения  $\eta$ -мезона с изобарой  $\Delta(1236)$ . Моделирование фоновых процессов  $\eta + \Delta(1236)$ ;  $\omega + n$ ;  $\pi^0 + \pi^0 + n$  показало, что фоновые события дают вклад в области малых значений суммарной энергии и не меняют форму распределения в правой части. Симметризуя суммарное энергетическое распределение по правой части, получим аппаратное энергетическое разрешение спектрометра

$$\frac{\Delta E}{E} = \pm \left( \sqrt{1,69 + \frac{93}{E \text{ ГэВ}}} \right) \% \quad (4)$$

В этой формуле добавочный член 1,69 возникает из-за погрешностей в определении величин "пьедесталов" электроники ( $\pm 0,5\%$ ); погрешностей, связанных с нелинейностью электроники ( $\pm 0,6\%$ ); статистических ошибок, возникающих при определении максимумов амплитудных распределений с помощью калибровочных систем ( $\pm 1,0\%$ ).

В заключении сформулированы основные итоги диссертационной работы:

1. Создан спектрометрический комплекс аппаратуры двухканального черенковского гамма-спектрометра, позволяющий измерять энергии электронов и гамма-квантов. Достигнута долговременная нестабильность измерительной шкалы спектрометра  $\pm 0,5\%$  с помощью разработанной автором системы стабилизации коэффициента усиления спектрометрического тракта. Проанализированы погрешности при восстановлении энергии в спектрометре для реальных условий проведения экспериментов. Показано, что достигнутая точность восстановления энергии  $\leq \pm \left( \sqrt{9 + \frac{196}{E \text{ ГэВ}}} \right) \%$  в основном определяется величиной разрешения черенковского спектрометра в условиях совместной работы с искровыми камерами с конверторами (1,2 рад.длин).

2. Созданная двухканальная аппаратура успешно применялась в экспериментах по исследованию сечения образования  $\eta$ -мезона в реакции  $\pi p \rightarrow \eta(n)p$  на пучках синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ в диапазоне импульсов 3,36 - 7,2 ГэВ/с, а также в экспериментах в Ереванском физическом институте по изучению сечения фоторождения  $\pi^0$ -мезонов на ядрах гелия  $\delta^4\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} \pi^0(\gamma\gamma)$ .

3. Исследованы характеристики ФЭУ-49, применённых в 90-канальном черенковском спектрометре, и выбраны условия режима работы. Установлено, что для анодных сигналов, не превышающих 10 мА,

интегральная нелинейность световой характеристики  $< 0,5\%$ . Создана система высоковольтного питания всех 140 фотоумножителей установки, обеспечивающая среднюю нестабильность коэффициентов усиления ФЭУ-49 на уровне  $\pm 1,3\%$ .

4. Создана спектрометрическая электроника, предназначенная для выделения, регистрации и передачи в ЭВМ информации с 90-канального черенковского гамма-спектрометра, включающая системы автоматического измерения и контроля характеристик.

5. Экспериментально исследованы факторы, влияющие на точность восстановления энергии в годоскопическом черенковском детекторе, а именно: неравномерность амплитуды по поверхности, возникающая в результате секционирования, и энергетические потери в веществе конверторов, расположенных перед спектрометром. Получена точность измерения энергии в реальных условиях эксперимента

$$\frac{\Delta E}{E} \leq \pm \left( \sqrt{1,69 + \frac{93}{E \text{ ГэВ}}} \right) \%.$$

Экспериментально обоснован метод восстановления энергии в секционированном черенковском гамма-спектрометре. Показано, что существующий систематический сдвиг при измерении энергии в значительной степени устраняется коррекцией, в которой учитывается неравномерность амплитуды по площади и наличие конверторов перед спектрометром.

6. С помощью созданной аппаратуры получены физические результаты по исследованию дифференциального сечения рождения  $\eta$ -мезонов при 3,3 и 4,75 ГэВ/с.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Р.Г.Аствацатуров, В.А.Крамаренко и др. ПТЭ № 5 (1972) 21.
2. В.А.Крамаренко, М.Н.Хачатурян. ПТЭ № 3 (1972) 39.
3. A.S.Alexanian, V.A.Kramarenko, et.al. Nucl. Instr. and Meth. 148 (1978) 251.
4. Р.Г.Аствацатуров, В.А.Крамаренко и др. Нуклеоника, т.20. № 5 (1975) 483.
5. С.Г.Басиладзе, В.А.Крамаренко и др. Препринт ОИЯИ, I3-10283, Дубна, 1976.
6. Р.Г.Аствацатуров, В.А.Крамаренко и др. ПТЭ № 2 (1978) 73.
7. С.Г.Басиладзе, В.А.Крамаренко и др. ПТЭ № 2 (1978) 70.
8. Р.Г.Аствацатуров, В.А.Крамаренко и др. Препринт ОИЯИ, I-11945, Дубна, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел  
26 апреля 1979 года.