

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

М - 181

1 - 12954

МАЛАХОВ

Александр Иванович

СОЗДАНИЕ ДЕВЯНОСТОКАНАЛЬНОГО
ЧЕРЕНКОВСКОГО МАСС-СПЕКТРОМЕТРА
И ЕГО ИССЛЕДОВАНИЕ
НА ПУЧКЕ ЭЛЕКТРОНОВ И ПИОНОВ
С ИМПУЛЬСОМ 3-5 ГэВ/с

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1979

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований

Научные руководители:

кандидат физико-математических наук

Олег Антонович
Займидорога,

кандидат физико-математических наук

Валентин Петрович
Зрелов.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
профессор

Борис Михайлович
Болотовский,

кандидат физико-математических наук

Александр Андреевич
Карлов.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Институт физики высоких энергий, Серпухов.

Автореферат разослан " _____ 19 ____ г.

Защита диссертации состоится " _____ 1980 г.
в " _____ часов на заседании Специализированного совета
Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, г.Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических
наук

Ю.А.Батусов

Исследование процессов рождения частиц электромагнитной природы, т.е. процессов с участием электронов и гамма-квантов, является одним из актуальных разделов физики высоких энергий.

Принцип измерения эффективной массы электрон-позитронных пар и гамма-квантов с помощью искровых камер и гамма-спектрометров из свинцового стекла был впервые предложен и реализован в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ в 1964-65 гг. (М.Н.Хачатурян и др. Авт.свид. СССР. №182249, Бюлл. ОИПОТЗ, 1966, II, с. 47; М.А.Азимов и др. ОИЯИ, Б7-2070, Дубна, 1964; М.Н. Khachatryan et al., Nucl. Instrum. and Meth., 51, 1967, 309). С помощью двухканального черенковского масс-спектрометра были обнаружены редкие электромагнитные распады ρ^0 и ω -мезонов на электрон-позитронную пару и измерены их парциальные ширины (R.G. Astvachurov et al., Phys. Lett., 27B, 1968, 45; М.Н. Khachatryan et al., Phys. Lett., 24B, 1967, 349; М.А.Азимов и др. Ядерная физика, 6, 1967, 515).

Однако для дальнейших исследований требовался более совершенный прибор. Для поиска тяжелых резонансов в системах e^+e^- , $\Upsilon\Upsilon$, $\rho^0\Upsilon$ и т.д. в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ был предложен и создан 90-канальный черенковский масс-спектрометр, качественно отличающийся от двухканального.

Диссертация написана на основе работ /I-10/, выполненных в 1971-79 гг в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Целью работы являлись разработка, создание 90-канального черенковского масс-спектрометра и исследование его параметров на пучке электронов и Π^- - мезонов с импульсом 3 - 5 ГэВ/с.

Актуальность работы состоит в создании установки, позволяющей проводить широкий круг исследований процессов, в которых генерируются частицы электромагнитной природы.

Автор защищает:

1. Разработку и создание 90-канального черенковского масс-спектрометра.

2. Комплексную наладку 90-канального черенковского масс-спектрометра и исследование его параметров на пучке электронов и пионов с импульсом 3 - 5 ГэВ/с.

Научная новизна и значимость работы состоит в том, что впервые в СССР и других странах-участницах ОИЯИ создана многоканальная установка - черенковский масс-спектрометр на 90 каналов, обладающая рекордными параметрами для установок подобного типа. В про-

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

пессе создания установки решен целый ряд новых вопросов в области методики черенковских детекторов; искровых и пропорциональных камер и сцинтилляционных счетчиков, так, например:

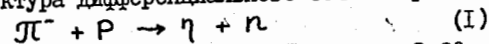
1. Разработана конструкция модуля многоканального черенковского спектрометра с рекордным энергетическим разрешением.
2. Разработаны и созданы системы контроля стабильности 90-канального черенковского спектрометра с помощью: а) 90 миниатюрных импульсных световых источников на основе кристаллов $\text{NaJ}(\text{Tl})$ и радиоизотопа ^{241}Am ; б) искрового разряда, освещающего через световоды одновременно 90 фотоумножителей черенковского спектрометра (система относительного контроля стабильности).
3. Предложен и реализован способ калибровки 90-канального черенковского спектрометра с помощью системы относительного контроля стабильности.

4. Разработано и создано высоковольтное питание 32 магнито-стрикционных искровых камер размером $920 \times 920 \text{ мм}^2$.

5. Предложен и применен на практике способ настройки системы искровых камер от радиоактивного источника электронов.

6. В процессе комплексной наладки и проведения физических измерений определены основные параметры масс-спектрометра: угловая точность, энергетическое разрешение и точность восстановления эффективной массы.

Практическая ценность полученных результатов состоит в том, что созданная установка позволяет проводить исследования редких процессов, в которых образуются частицы электромагнитной природы, с целью получения новых данных о строении материи. Так, например, с помощью 90-канального черенковского масс-спектрометра в 1976-77 гг. была изучена структура дифференциального сечения реакции



по распаду $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ при импульсах налетающих π^- -мезонов 3,26 и 4,75 ГэВ/с в области передаваемых импульсов от t_{min} до 0,3 (ГэВ/с)² (V.V. Arkhipov et al., JINR, E1-11596, Dubna, 1978). В дифференциальных сечениях реакции (I) обнаружен заметный минимум в переднем направлении, указывающий на существенную роль амплитуд с изменением спиральности. В 1978-79 гг. установка использовалась для изучения кумулятивного рождения π^0 , η и ω^0 -мезонов.

Опыт создания масс-спектрометра может быть использован в последующих разработках в области методики физического эксперимента.

Структура диссертации отвечает избранной теме. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 120 страниц текста, 98 рисунков, 8 таблиц и библиографический список литературы из 105 названий.

Во введении описывается развитие методики черенковских масс-спектрометров, изложено то новое, что, по мнению автора, вносится в работу по избранной теме, и перечислены основные положения, вынесенные на защиту. Приводится описание 90-канального черенковского масс-спектрометра (рис. I и 2)^{1/1}.

Основными элементами масс-спектрометра являются:

I. Черенковский 90-канальный годоскоп из свинцового стекла СI-90 , позволяющий с высокой точностью измерять энергию электронов и гамма-квантов.

2. 32 проволочные магнито-стрикционные искровые камеры ИКI-32 размерами рабочей области $920 \times 920 \text{ мм}^2$, с помощью которых измеряются направления электронов и конверсионных пар. В случае регистрации гамма-квантов между группами из четырех камер располагаются медные конверторы КI-6, толщиной по 0,4 рад.ед. каждый.

3. Годоскоп из 20 сцинтилляционных счетчиков СИ-20, используемый для увеличения эффективности триггера и получения дополнительной информации о направлении и числе вторичных заряженных частиц.

4. Телескоп сцинтилляционных счетчиков СИ-3 для мониторинга пучка и антисовпадетельные счетчики АI и А2.

5. Шесть однокоординатных пропорциональных камер ПКI-6 для измерения направления падающих на мишень частиц.

6. Жидководородная мишень H_2 длиной 80 см, диаметром 7 см и толщиной стенок 0,005 рад.ед.

7. Газовый пороговый черенковский счетчик C_0 , используемый при калибровке черенковского годоскопа для выделения электронов в пучке отрицательных π^- мезонов.

8. Электронная аппаратура, выполненная в стандарте "Вишня" (520 блоков) и в стандарте "Камак" (100 блоков).

9. ЭВМ типа ИР2116В с внешними устройствами.

10. Высоковольтное питание искровых камер и черенковского годоскопа.

II. Устройства, предназначенные для распределения, сбора и регенерации газовой смеси искровых и пропорциональных камер.

Основные параметры детекторов 90-канального черенковского масс-спектрометра приведены в табл. I.

Таблица I

Детекторы	Обоснование	Кол-во детекторов	Габариты, мм	Тип ФЭУ	№2-№ ФЭУ	Суммарное число сигнальных проводов	Пространственное разрешение, мм	Энергетическое разрешение, %	Время счета, мс	Эффективность, %
Сцинтилляционные счетчики	Мониторные	С1-3	50x50x5	ФЭДVP	3	—	± 25	—	5	99,99
	Дифференциальные	А1-Ас	50x50x5	ФЭУ-30	2	—	—	—	5	99,7
	Годоскопические	СГ1-20	1000x100x20 ФЭУ	ФЭУ-30	40	—	$\Delta L = \pm 50$ $\Delta \alpha = \pm 50$	амплитудное +10 разрешение -10	20	99,7
Главные черенковские счетчики	У	1	$l=1500$ $d=150$	ФЭУ-36	1	—	—	± 1	5	—
Черенковский спектрометр полного годоскопа на свинцовом стекле	У1-90	90	$l=300$ $d=175$	ФЭУ-49Б	90	—	$C_1 = C_2 = 35$	$\pm (0,35 + 4,6/\sqrt{E})$ E - в лев.	40	100
Исходные пропорциональные камеры	ПК1-6	6	150x150x8	—	—	208	$C_1 = C_2 = 1,0$	—	85	99,5
Магнетронные искровые камеры	МК1-32	32	920x920x9,6	—	—	59 тис.	$C_1 = 0,45$ $C_2 = 0,30$	—	1000	98

В первой главе диссертации описывается 90-канальный черенковский годоскоп из свинцового стекла. Годоскоп состоит из 90 идентичных гамма-спектрометров (модулей), разделенных на две группы по 45 модулей в каждой. Радиатор модуля изготовлен из свинцового стекла марки ТФ-I высокой прозрачности и имеет форму шестигранной призмы высотой 350 мм с диаметром вписанной окружности основания 175 мм. Приводится конструкция модуля черенковского годоскопа, обоснование выбора размеров радиатора, результаты исследования клеев для обеспечения оптического контакта между радиатором и фотомножителем^[2]. Изложен метод подбора фотомножителей типа ФЭУ-49Б и делителя для фотомножителей.

Подробно описываются устройства контроля стабильности черенковского годоскопа. В качестве генераторов стабильных световых импульсов используются 90 кристаллов $NaJ(Tl)$, экспонируемых радиоизотопом ^{241}Am , и 90 термостатированных светодиодов.

Источник света на основе кристалла $NaJ(Tl)$ и радиоизотопа ^{241}Am (энергия альфа-частиц 5,5 МэВ и интенсивность ~100 расп. в сек.) выполнен в виде герметичного цилиндрического контейнера из параллелина диаметром 10 мм и высотой 5 мм со стеклянным окошком^[3]. Среднее значение амплитудного разрешения (FWHM) 90 световых источников равно 5,2%. Световая вспышка от источника $NaJ+α$ в среднем эквивалентна вспышке черенковского излучения от электронов с энергией 1,2 ГэВ.

Метод контроля стабильности гамма-спектрометров с помощью

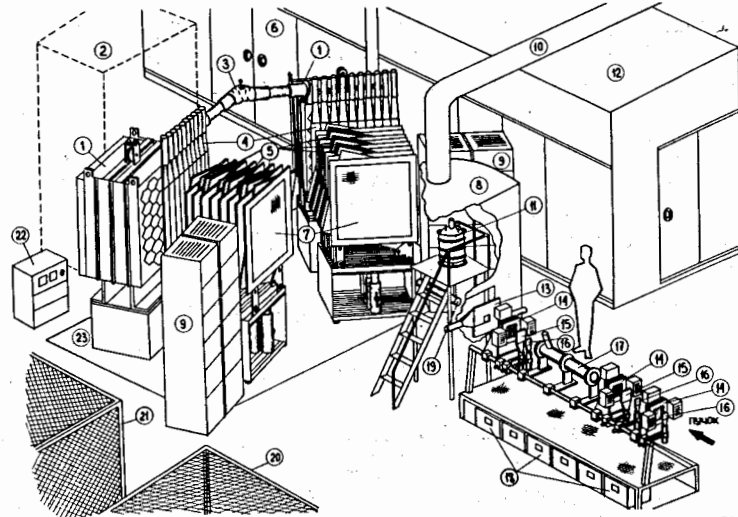


Рис.1. Общий вид 90-канального черенковского масс-спектрометра. 1-черенковский 90-канальный годоскоп; 2-устройство калибровки черенковского годоскопа на электронах; 3-система относительного контроля стабильности; 4-сцинтилляционный годоскоп; 5-конверторы; 6,12-домики с ЭВМ и электроникой; 7-искровые камеры; 8,10-ограждение и система вентиляции мишени; 9-высоковольтное питание искровых камер; 11-сосуд для жидкого водорода; 13-счетчики антисовпаденний; 14-пропорциональные камеры; 16-сцинтилляционный монитор; 17-газовый черенковский счетчик; 18-высоковольтные источники пропорциональных камер; 19-жидководородная мишень; 20-система регенерации газа камер; 21-высоковольтные источники и накопительные емкости искровых камер; 22-высоковольтный источник черенковских и сцинтилляционных детекторов; 23-бетонное основание.

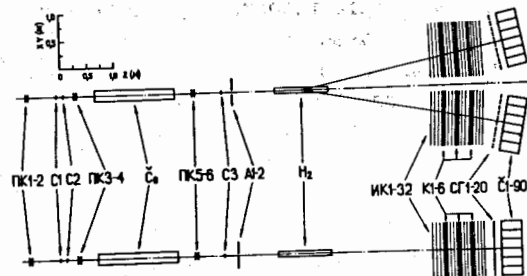


Рис.2. Схема 90-канального черенковского масс-спектрометра.

$NaJ+\alpha$ -источников не позволяет учитывать изменения, которые происходят со временем в самих кристаллах в результате влияния различных факторов. Указанный недостаток в значительной степени можно устранить применением светового генератора, позволяющего с помощью системы световодов одновременно экспонировать большое число детекторов от одного импульсного источника света^{4/4}. Источником света служит искра (рис.3), возникающая в воздушном промежутке разрядника с частотой ~ 100 Гц.

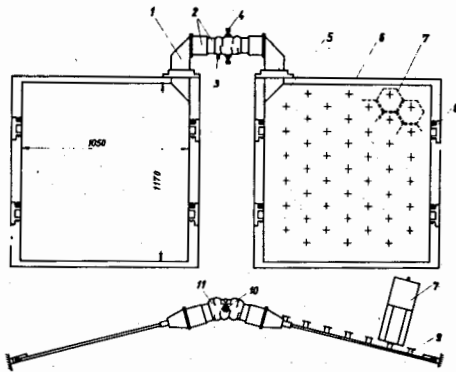


Рис.3. Система относительного контроля стабильности и калибровки черенковского годоскопа.

1-световод; 2-вдвигающиеся трубки; 3-высоковольтный разъем; 4-винты регулировки зазора разрядника; 5-пластина-световод из оргстекла; 6-кожух черенковского годоскопа; 7-модуль черенковского годоскопа; 8-кронштейн; 9-цилиндрический световод; 10-электрод.

Система позволяет осуществлять относительный контроль стабильности параметров гамма-спектрометров и каналов спектрометрической электроники. В процессе контроля вычисляются отношения амплитуд всех спектрометров к амплитуде "базового" спектрометра. Ширины распределений этих отношений (FWHM) составляют $\sim 9\%$ и, в основном, обусловлены флуктуациями числа фотоэлектронов ФЭУ. Система позволяет осуществлять относительный контроль стабильности с точностью не хуже чем 1% . Эта система позволяет также проводить калибровку гамма-спектрометров. Для этой цели пучок электронов отклоняется поворотным магнитом в один из модулей годоскопа ("базовый"), и при помощи системы относительного контроля стабильности определяется цена каналов всех остальных 89 спектрометрических трактов. Точ-

ность калибровки с помощью описанной системы составляет $1,75\%$.

Далее дается описание спектрометрической аппаратуры масс-спектрометра, ее долговременной стабильности и других характеристик. Описывается устройство автоматического измерения характеристик спектрометрической аппаратуры и система высоковольтного питания гамма-спектрометра.

В конце главы приведены результаты исследования черенковского годоскопа на пучке электронов с энергией $2 - 4$ ГэВ^{1,5/}. Зависимость средней величины энергетического разрешения для 90 модулей годоскопа (FWHM) хорошо описывается выражением:

$$\Delta E/E (\%) = 0,7 + 9,2/\sqrt{E (\text{ГэВ})} \quad (2)$$

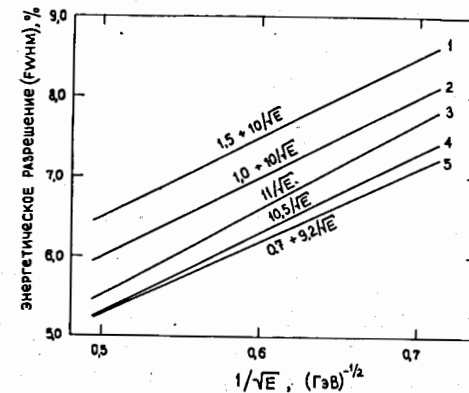


Рис.4. Энергетические разрешения черенковских спектрометров: 1-J.A.Appel et al., Nucl. Instr. and Meth., 127, 1975, 495; 2-J.S.Beal et al., Nucl. Instr. and Meth., 117, 1974, 501; 3-F.Dydak et al., Nucl. Instr. and Meth., 137, 1976, 427; 4-M.Holder et al., Nucl. Instr. and Meth., 108, 1973, 541; 5-настоящая работа.

Сравнение средней величины энергетического разрешения для 90-канального черенковского годоскопа в зависимости от энергии с результатами других авторов приводится на рис.4. Из рисунка видно, что наш спектрометр обладает лучшим энергетическим разрешением.

Амплитудные характеристики спектрометров линейны с точностью не хуже 1% . Вариация амплитуды по поверхности черенковского годоскопа не превышает 8% . Амплитуда достигает минимального значения в области между двумя соседними спектрометрами. Энергетическое разрешение в этой области ухудшается на 50% . Зависимость ампли-

туда сигнала от угла падения электронов или гамма-квантов φ для центральной области радиатора гамма-спектрометра в интервале углов $0^\circ-6^\circ$ описывается зависимостью вида $A(0)\cos\varphi$.

Для правильного восстановления амплитуды в спектрометрах в силу ее зависимости от координаты и угла падения частиц необходимо проводить коррекцию. Измерения показали, что средняя величина амплитудной коррекции равна 3,5%, а максимальное значение не превышает 8%.

Были проведены измерения подавления адронов в черенковском годоскопе в пучке Π^- -мезонов, содержащем $\sim 2,5\%$ электронов при импульсе 2 ГэВ/с^{6/}. Подавление адронов измерялось для модуля черенковского годоскопа, а также с использованием дополнительного "адронного" черенковского счетчика, расположенного перед модулем. Радиатор "адронного" счетчика из свинцового стекла марки ТФ-I имел размеры 800x180x80 мм³. К меньшим граням радиатора были приклеены два фотоумножителя ФЭУ-49, сигналы с которых суммировались. При измерении подавления с "адронным" счетчиком сигналы с него и с модуля спектрометра суммировались, а в канале "адронного" счетчика вводилась дискриминация амплитуды. При эффективности регистрации электронов 90% коэффициент подавления адронов равен $8,0 \times 10^{-4}$ и $3,8 \times 10^{-4}$, соответственно для черенковского модуля и для системы из черенковского модуля и "адронного" счетчика.

Вторая глава посвящена системе искровых и пропорциональных камер масс-спектрометра. Двухкоординатные проволочные магнито-стрикционные искровые камеры с размером рабочей области 920x920 мм² выполнены с шагом намотки электродов 1 мм^{7/}. Межелектродное расстояние 9,6 мм. Объем камер изолирован полиэтилен-лавансовой пленкой толщиной 0,06 мм. 32 искровые камеры собраны в 8 модулей по 4 камеры в каждом. Две камеры в модуле с четными номерами расположены горизонтально, а две другие развернуты на 17° . Искровые камеры продуваются газовой смесью из неона и 1,5% этилового спирта. Для экономии расхода газа применяется система, обеспечивающая замкнутую циркуляцию газовой смеси и ее регенерацию.

В системе высоковольтного питания искровых камер для достижения большей надежности в качестве коммутирующих элементов выбраны металлокерамические водородные тиратроны типа ТГИП-500/16. Было проведено исследование 90 тиратронов типа ТГИП-500/16 с целью выбора оптимального режима^{8/}. Особое внимание уделялось выбору режима, обеспечивающего минимальные задержку и фронт высоковольт-

ного импульса. Для улучшения временных параметров применено положительное токовое смещение.

На рис.5 приведена блок-схема высоковольтного питания искровых камер черенковского масс-спектрометра^{9/}. Эта система обеспечивает задержку в подаче высоковольтного импульса на камеру ≤ 200 нс при фронте 30-45 нс и независимую регулировку амплитуды высоковольтного импульса на каждой камере. Система питания камер эксплуатировалась в общей сложности около 5000 часов и показала высокую надежность.

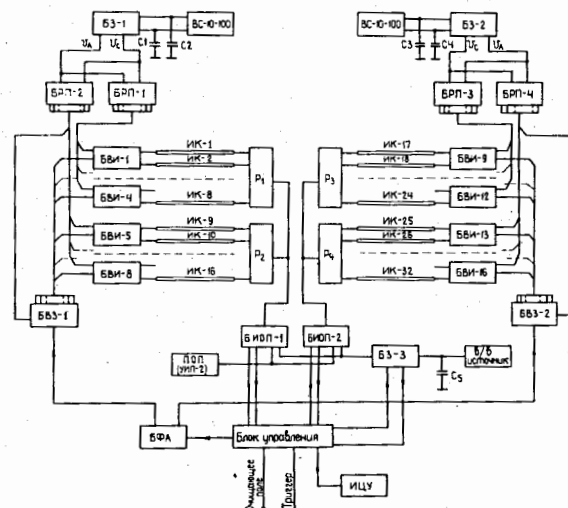


Рис.5. Блок-схема высоковольтного питания искровых камер. БУ-блок управления; БФА-быстрый формирователь амплитуды; ВЗ-блоки высоковольтного запуска; БВИ-блоки высоковольтных импульсов; БРП-блоки раздельного питания; БИОП-блоки импульсного очищающего поля; БЗ-блоки защиты; ИЦУ-имитатор циклов ускорителя; ВС-высоковольтные выпрямители; С-накопительные емкости; Р-размножители для очищающих полей; ПОП-блок постоянного очищающего поля.

Шесть пропорциональных камер масс-спектрометра имеют рабочую область 150x150 мм², расстояние между анодной и катодной плоскостями 8 мм. Сигнальные нити намотаны золоченой вольфрамовой проволокой диаметром 0,02 мм с шагом 3 мм. Камеры продуваются газовой смесью из аргона, 20% углекислого газа и 3% этилового спирта.

С пропорциональных камер информация поступает по 288 параллельным каналам. Регистрирующая электроника искровых камер представляет собой параллельно-последовательную систему с запоминанием информации на магнитострикционных линиях задержки. Система позволяет регистрировать 640 координат искр в одном запуске установки. Время передачи информации в ЭВМ ~ 7,2 мс.

Для настройки и проверки системы искровых камер перед работой на ускорителе предложен и реализован способ, значительно сокращающий потери ускорительного времени на наладочные работы. Настройка системы камер производится с помощью радиоизотопа $^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}$ с энергией электронов до $3 \text{ МэВ}/10$.

Система искровых и пропорциональных камер была исследована на пучке заряженных частиц. Основные характеристики искровых и пропорциональных камер масс-спектрометра приведены в табл. I.

Третья глава посвящена сцинтилляционным детекторам и системе запуска 90-канального черенковского масс-спектрометра I .

Пучковые сцинтилляционные счетчики СИ-3 предназначаются для мониторинга потока заряженных частиц, падающих на мишень. Антисовпадательные сцинтилляционные счетчики А1 и А2 служат для исключения запусков установки от частиц, проходящих вдали от оси пучка и попадающих в нерабочую область мишени и за ее пределы.

Годоскопические сцинтилляционные счетчики СИ-20, расположенные между черенковскими спектрометрами и искровыми камерами, выполняют четыре функции: а) улучшают эффективность запусков установки в случае регистрации гамма-квантов; б) улучшают временную и пространственную селекцию событий; в) дают информацию о числе и направлении вторичных заряженных частиц и конверсионных пар; г) позволяют идентифицировать конверсионные пары измерением ионизационных потерь в сцинтилляторе годоскопа.

Измерения на пучке релятивистских частиц показали, что эффективность всех сцинтилляционных счетчиков близка к 100% (табл. I).

В годоскопических счетчиках использован способ улучшения равномерности светосбора путем использования комбинации отражателей с различными коэффициентами отражения.

С помощью счетчиков сцинтилляционного годоскопа при регистрации одиночных заряженных частиц с эффективностью ~ 90% можно ослабить фон от двух и более заряженных частиц в 100 раз.

Система запуска масс-спектрометра вырабатывает "триггерный" сигнал, который осуществляет запуск регистрирующей аппаратуры при

выполнении следующих требований: I. Наличие совпадения сигналов во времени от детекторов СИ, С2, С3, СИ-10, СИ-20, СИ-45, СИ-46-90 и антисовпадения сигналов от счетчиков А1, А2. 2. Энерговыделение частиц в каждом плече черенковского годоскопа и суммарное энерговыделение превышает заданные энергетические пороги.

Система запуска включает в себя сцинтилляционные, черенковские детекторы и схему электронной логики отбора событий. Разрешающее время системы запуска составляет 40 нс, а суммарная задержка - 490 нс (обусловлена прохождением сигнала по спектрометрическому тракту).

В четвертой главе приведены результаты исследования 90-канального черенковского масс-спектрометра на пучке отрицательных пионов с импульсом $3,26$ и $4,75 \text{ ГэВ}/c$.

Исследование основных параметров масс-спектрометра проводилось с помощью процесса (I). На рис. 2 в масштабе приведено расположение детекторов масс-спектрометра при изучении этого процесса на синхрофазотроне Лаборатории высоких энергий ОИЯИ при импульсе Π^- -мезонов $3,26 \text{ ГэВ}/c$. Угол между направлениями на центры каждого плеча черенковского годоскопа (23° при $3,26 \text{ ГэВ}/c$) выбран из условия максимальной эффективности регистрации изучаемого процесса путем моделирования на ЭВМ, и близок к минимальному углу разлета двух гамма-квантов, на которые распадается γ -мезон. Геометрическая эффективность регистрации процесса (I) в оптимальной геометрии ~ 4%.

Запуск масс-спектрометра производился, если энергии частиц в спектрометрах левого и правого направлений (E_{y1} и E_{y2}) и их сумма ($E_{y1} + E_{y2}$) превышали некоторый порог, определяемый кинематикой процесса. При импульсе Π^- -мезонов $3,26 \text{ ГэВ}/c$ были выбраны пороги $E_{y1} = E_{y2} \geq 300 \text{ МэВ}$ и $E_{y1} + E_{y2} \geq 2500 \text{ МэВ}$.

Обработка экспериментальных данных, записанных на магнитную ленту, проводилась по программе реконструкции событий на ЭВМ CDC-6500.

В этих условиях были проведены исследования работы детекторов масс-спектрометра от интенсивности пучка, которая менялась от $0,9 \times 10^5$ до $3,2 \times 10^5 \Pi^-/\text{сек}$. При этом основные характеристики детекторов масс-спектрометра практически оставались неизменными.

Была определена координатная точность черенковского годоскопа. На рис. 6 приведены распределения разностей величин одноименных координат точек входа частиц от проконвертировавших гамма-квантов,

определенных с помощью искровых камер и с помощью черенковского годоскопа путем вычисления "центра тяжести" электромагнитного ливня, развивающегося в свинцовом стекле. Ширины этих распределений характеризуются среднеквадратичными отклонениями $\sigma_x = \sigma_y \cong 38$ мм. Учет неточности, которую вносят в эти величины искровые камеры, дает для координатной точности черенковского годоскопа величину $\sigma_x = \sigma_y \cong 35$ мм.

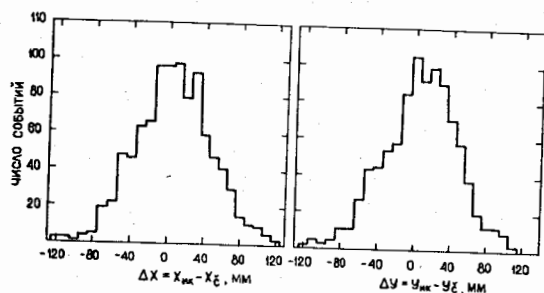


Рис.6. Распределения разностей координат точек входа в черенковский годоскоп ΔX и ΔY , определенных по искровым камерам ($X_{ик}$, $Y_{ик}$) и черенковскому годоскопу ($X_г$, $Y_г$).

Для тех гамма-квантов, которые испытали конверсии в конверторах обоих плеч масс-спектрометра, угол разлета определяется с помощью искровых камер. Направления вылета электрона и позитрона конверсионной пары отличаются от направления первичного гамма-кванта. Анализ показывает, что основной вклад в отклонение электронов (позитронов) от направления первичного гамма-кванта дает многократное кулоновское рассеяние в веществе конвертора. Для точности определения угла разлета гамма-квантов получено выражение (НВНМ):

$$\Delta\theta_{\gamma\gamma}(\text{рад}) = \pm \left[6,9 \cdot 10^{-5} + \frac{1,55 \cdot 10^{-2}}{E^2(\text{ГэВ})} t \right]^{1/2}, \quad (3)$$

где E - полная энергия распадающейся частицы, t - толщина конвертора в рад.ед.

Точность восстановления угла разлета заряженных частиц определяется многократным кулоновским рассеянием в веществе мишени.

Энергетическое разрешение масс-спектрометра определяется выражением:

для гамма-квантов

$$(\Delta E/E)_{\gamma\gamma}(\%) \leq \pm [1,7 + 84/E(\text{ГэВ})]^{1/2}, \quad (4)$$

для электрон-позитронных пар

$$(\Delta E/E)_{e^+e^-}(\%) \leq \pm [1,7 + 64/E(\text{ГэВ})]^{1/2}. \quad (5)$$

Точность восстановления эффективной массы равна:

$$\text{для гамма-квантов} \quad (\Delta M/M)_{\gamma\gamma}(\%) \leq \pm \left[84/E(\text{ГэВ}) + \frac{39}{m^2(\text{ГэВ})} t \right]^{1/2}, \quad (6)$$

для заряженных частиц

$$(\Delta M/M)_{e^+e^-}(\%) \leq \pm 8/\sqrt{E(\text{ГэВ})}. \quad (7)$$

На рис.7 приведены экспериментальные и моделированные распределения по сумме энергий двух гамма-квантов от распада η -мезонов для энергий Π^- -мезонов 3,26 (а) и 4,75 ГэВ (б). Полуширины этих распределений на полувисоте составляют соответственно $\pm 5\%$ и $\pm 4\%$.

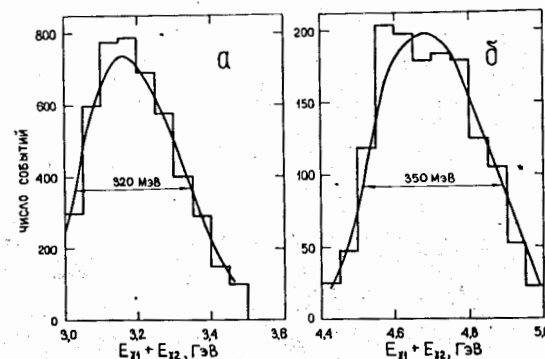


Рис.7. Экспериментальные и моделированные (гладкая кривая) распределения по сумме энергий двух гамма-квантов от распада η -мезона для энергий Π^- -мезонов 3,26 (а) и 4,75 ГэВ (б).

Экспериментальные спектры эффективных масс η -мезонов при энергии 3,26 и 4,75 ГэВ представлены на рис.8. Полуширины распределений на полувисоте составляют соответственно $\pm 9,5\%$ и $\pm 11\%$.

При проведении физических измерений проводится непрерывный контроль аппаратуры масс-спектрометра. На печатающее устройство или экран дисплея можно вывести свыше 500 различных гистограмм, характеризующих работу аппаратуры и качество набираемой информации. На экран дисплея выводятся также изображения искровых и пропорциональных камер, черенковских спектрометров или всей установки (рис.9).

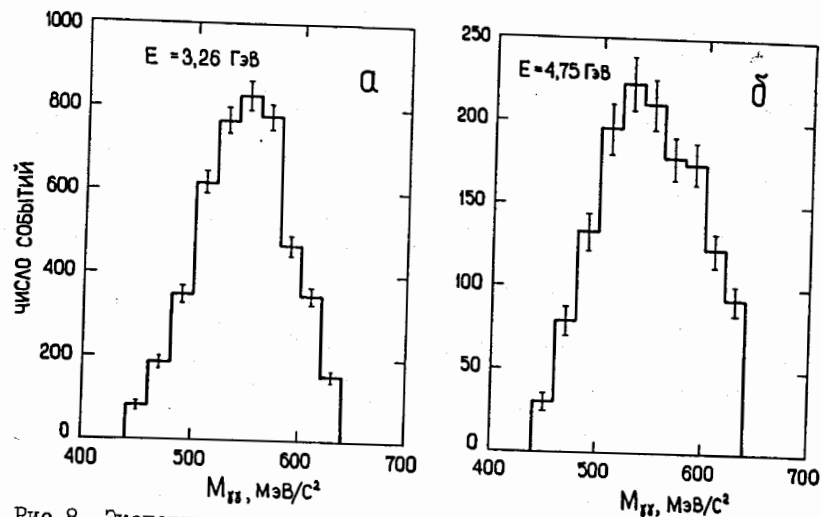


Рис.8. Экспериментальные спектры эффективных масс $\gamma\gamma$ -событий при энергии π^- -мезонов 3,26 (а) и 4,75 ГэВ (б).

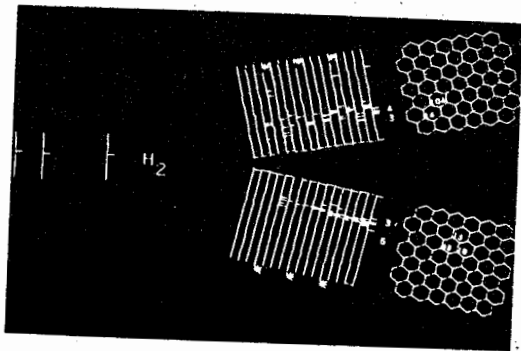


Рис.9. Снимок с экрана дисплея $\gamma\gamma$ -события, зарегистрированного масс-спектрометром (горизонтальная проекция).

В заключении приведены основные выводы диссертации.

1. Главный результат работы заключается в создании впервые в СССР и других странах-участницах ОИЯИ многоканальной установки черенковского масс-спектрометра на 90 каналов, обладающего рекордными параметрами для установок подобного типа.

2. Разработана конструкция черенковского гамма-спектрометра из свинцового стекла. На основе гамма-спектрометров этой конструк-

ции создан 90-канальный черенковский годоскоп. Средняя величина энергетического разрешения модулей этого прибора является одной из лучших для приборов подобного типа:

$$(\Delta E/E)_{\text{FWHM}} (\%) = 0,7 + 9,2/\sqrt{E(\text{ГэВ})}.$$

3. Разработаны и созданы 90 миниатюрных импульсных источника света на основе кристаллов NaJ(Tl) и радиоактивных источников альфа-частиц ^{241}Am для контроля работы черенковского годоскопа.

4. Разработана и создана система относительного контроля стабильности 90 модулей черенковского годоскопа от одного источника света, в качестве которого используется искровой разряд.

Предложен и реализован способ калибровки 90-канального черенковского годоскопа с помощью системы относительного контроля стабильности с точностью 1,75%. Способ существенно сокращает затраты ускорительного времени на калибровку.

5. Проведено исследование 90-канального черенковского годоскопа на пучке электронов и пионов в интервале импульсов 2-4 ГэВ/с.

Экспериментально определена величина подавления адронного фона при энергии 2 ГэВ модулем черенковского годоскопа и системой из модуля черенковского годоскопа и дополнительного "адронного" счетчика.

Определена координатная точность черенковского годоскопа

$$\sigma_x = \sigma_y = 35 \text{ мм}.$$

6. Разработана и создана система высоковольтного питания 32 магнитострикционных искровых камер размерами $920 \times 920 \text{ мм}^2$, обладающая высокой надежностью.

7. Предложен и реализован способ настройки системы искровых камер масс-спектрометра от радиоактивного β -источника, который позволяет свести к минимуму использование ускорительного времени для наладочных работ системы искровых камер и повысить эффективность работы ускорителя на физический эксперимент.

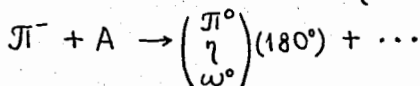
8. Проведено исследование характеристик 32 магнитострикционных искровых камер размерами $920 \times 920 \text{ мм}^2$ и 6 пропорциональных камер размерами $150 \times 150 \text{ мм}^2$ от радиоактивного β -источника и на пучке заряженных частиц ускорителя. На пучке заряженных частиц получены следующие результаты. Эффективность искровых камер в среднем 96%. Координатная точность $\sigma_x = 0,45 \text{ мм}$ для высоковольтных плоскостей и $\sigma_y = 0,30 \text{ мм}$ для заземленных плоскостей. Эффективность искровых камер при количестве искр в камере 8 и многотрековая эффективность при количестве треков, равном 5, выше 90%.

Эффективность всех пропорциональных камер $\sim 99\%$. Временное разрешение ~ 85 нс. Координатная точность $\sigma_x = \sigma_y = 1$ мм.

9. Проведена комплексная наладка 90-канального черенковского масс-спектрометра и исследована его работа на пучке отрицательных пионов с импульсом 3,26 и 4,75 ГэВ/с с помощью процесса $\pi^- p \rightarrow \eta(\pi\pi)n$ при малых передаваемых импульсах.

10. Проведены оценки точностей измерения угла разлета, суммарной энергии и эффективной массы для двухчастичных распадов с помощью 90-канального черенковского масс-спектрометра. Эти же величины определены из эксперимента. Для процесса $\pi^- p \rightarrow \eta(\pi\pi)n$ при энергии 3,26 ГэВ соответствующие точности равны: $\Delta\theta_{\pi\pi} = \pm 0,026$ рад; $(\Delta E/E)_{\pi\pi} = \pm 5\%$ и $(\Delta M/M)_{\pi\pi} = \pm 9\%$.

11. С помощью созданного 90-канального черенковского масс-спектрометра исследована структура дифференциального сечения реакции $\pi^- p \rightarrow \eta n$ в области передаваемых импульсов от t_{\min} до $0,3$ (ГэВ/с)² при импульсах налетающих пионов 3,26 и 4,75 ГэВ/с, а также изучалось кумулятивное рождение Π^0 , η и ω^0 - мезонов в реакциях



Л И Т Е Р А Т У Р А

1. С.А.Аверичев, А.И.Малахов и др. ОИЯИ, I-II482, Дубна, 1978.
2. Р.Г.Аствацатуров, А.И.Малахов и др. ОИЯИ, I-I2365, Дубна, 1979.
3. Нго Куок Бьун, А.И.Малахов и др. ПТЭ, №6, 1974, 163.
4. А.И.Малахов, М.Н.Хачатурян. ПТЭ, №5, 1975, 35.
5. Р.Г.Аствацатуров, А.И.Малахов и др. Нуклеоника, 19, 1974, 575.
6. Е.Кнапик, А.И.Малахов и др. ОИЯИ, I-I2428, Дубна, 1979.
7. Ю.В.Заневский, А.И.Малахов и др. ОИЯИ, PI3-8668, Дубна, 1975.
8. Ю.С.Анисимов, А.И.Малахов и др. ОИЯИ, I3-I0569, Дубна, 1977.
9. Ю.С.Анисимов, А.И.Малахов и др. ОИЯИ, I3-I0570, Дубна, 1977.
10. Ю.С.Анисимов, А.И.Малахов и др. ОИЯИ, I3-I032I, Дубна, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 ноября 1979 года.