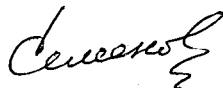


13-98-19

На правах рукописи
УДК 539.1.074



С-302

СЕМЕНОВ
Андрей Юрьевич

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ
900-КАНАЛЬНОГО ВРЕМЯПРОЛЕТНОГО ДЕТЕКТОРА
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Специальность: 01.04.01 — техника физического
эксперимента, физика приборов,
автоматизация физических исследований

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1998

Научные руководители:

доктор физико-математических наук, профессор Александр Иванович МАЛАХОВ

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Георгий Левонович МЕЛКУМОВ

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор Виктор Викторович ГЛАГОЛЕВ

кандидат физико-математических наук Гарри Арсентьевич СОКОЛ

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, г.Москва

Защита диссертации состоится "23" апреля 1998 года
в "10³⁰" часов на заседании специализированного совета Д-047.01.02
в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных
исследований, г.Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан "14" февраля 1998 года

Ученый секретарь
Специализированного совета
доктор физ.-мат. наук, профессор

Лихачев М.Ф.Лихачев

Актуальность темы. Исследования в области релятивистской ядерной физики при энергии порядка нескольких ГэВ на нуклон (Дубна, Беркли, Дармштадт) получили в последние годы дальнейшее развитие в связи с появлением ускорителей релятивистских тяжелых ионов с энергией 14,5 ГэВ/нуклон (AGS в БНЛ) и 200 ГэВ/нуклон (SPS в ЦЕРН). Изучение столкновений тяжелых ядер важно, прежде всего, для определения поведения сильно взаимодействующей материи в условиях большой плотности энергии и высокой температуры. Здесь особый интерес представляет поиск предсказываемого расчетами на решетке в КХД возможного фазового перехода ядерной материи от бесцветных адронов к состоянию свободных кварков и глюонов – так называемой "кварк-глюонной плазме" (КГП). Ионы свинца, ускоренные на ускорителе SPS в ЦЕРН до энергии 158 ГэВ/нуклон, испытывающие "центральное" столкновение с ядрами свинцовой мишени, позволяют достичь максимальной плотности энергии (несколько ГэВ/Фм³) в максимальном объеме взаимодействия (приблизительно равном объему ядра свинца), доступном для современных экспериментов. Предполагается, что кратковременное существование КГП на ранней стадии взаимодействия должно изменить соотношение выходов вторичных частиц и повлиять на пространственно-временную эволюцию конечного состояния в сравнении с адронной картиной, исключая цветной деконфайнмент.

Эксперимент NA49 в ЦЕРН был спроектирован для измерения с высокой точностью спектров заряженных адронов (π^\pm , K^\pm , p , \bar{p}) и нейтральных частиц (ϕ , K_S^0 , Λ , $\bar{\Lambda}$), а также для анализа изменения ряда средних характеристик от события к событию для поиска возможных проявлений флуктуаций в динамике переходного режима (event by event analysis). События, в которых несколько параметров (например, множественности адронов, поперечные импульс p_t и энергия E_t , отношение π/K) одновременно отклоняются от значений, усредненных по всем событиям, могут служить указанием на наличие фазового перехода. К особенностям спектрометра эксперимента NA49, которые выделяют его из ряда экспериментов, изучающих столкновения релятивистских тяжелых ионов, следует отнести широкий акцептанс, захватывающий практически всю переднюю полусферу, и развитую систему идентификации частиц, основанную на измерении параметров треков, импульса и ионизационных потерь в газе 4-х времяпроекционных камер, а также на получении информации о скорости частиц с помощью системы измерения времени

пролета.

Целью работы является разработка и создание 900-канального времяпролетного детектора с временным разрешением $\sigma_{TOF} \leq 80$ пс для идентификации вторичных заряженных частиц в адронном спектрометре эксперимента NA49, измерение и анализ спектров заряженных каонов, рожденных в Pb+Pb взаимодействиях при энергии 158 ГэВ/нуклон.

Научная новизна работы.

- Разработана методика высокоточных измерений времени пролета заряженных частиц с использованием модифицированных фотоумножителей ФЭУ-87 отечественного производства и органического сцинтиллятора, произведенного в ЛВЭ ОИЯИ. При этом временное разрешение созданных прототипов счетчиков составило 50–60 пс.
- Разработана и реализована методика создания многоканальной времяпролетной системы (900 каналов) со средним временным разрешением $\sigma_{TOF} = 70$ –80 пс.
- Измерены и проанализированы спектры заряженных каонов, рожденных в "центральных" Pb+Pb взаимодействиях при энергии 158 ГэВ/нуклон.

Научно-практическая значимость работы. Созданный 900-канальный времяпролетный детектор в составе аппаратуры адронного спектрометра эксперимента NA49 в ЦЕРН участвует в наборе экспериментальных данных на пучке ионов свинца с энергией 158 ГэВ/нуклон.

Опыт создания детектора, а также разработанные методы коррекции и анализа времяпролетной информации могут быть использованы при создании других многоканальных систем измерения времени пролета.

На базе результатов исследований временных свойств полистирольных сцинтилляторов с различными составами сцинтиллирующих компонент и малогабаритных отечественных фотоумножителей ФЭУ-87 и ФЭУ-85, а также разработанной методики контроля качества больших партий фотоумножителей могут быть созданы другие варианты сцинтилляционных счетчиков для прецизионных измерений времени пролета.

Результаты, полученные при анализе спектров заряженных каонов, рожденных в Pb+Pb взаимодействиях при энергии ядра-снаряда 158

ГэВ/нуклон, дополняют имеющиеся данные для ядро-ядерных столкновений и дают фактический материал для развития теоретических моделей.

Апробация работы и публикации. Результаты, лежащие в основе диссертации, были доложены на международных рабочих совещаниях коллаборации СФЕРА, совещаниях коллаборации NA49, семинарах по релятивистской ядерной физике ЛВЭ, XII Международной конференции по ультра-релятивистским ядро-ядерным столкновениям: Кварковая материя '96 (Гейдельберг, ФРГ, 1996), Международном симпозиуме по странности в кварковой материи (Терра, Санторини, Греция, 1997).

Основные результаты диссертации опубликованы в работах [1-6].

Объем и структура работы. Диссертационная работа изложена на 90 страницах, состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 55 рисунков, 4 таблицы и список цитируемой литературы из 84 наименований.

Автор защищает

1. Результаты работы по развитию методики высокоточных времяпролетных измерений и исследованию временных свойств отечественных фотоумножителей и сцинтилляторов, приведших к созданию прототипов счетчиков с рекордным временным разрешением 50–60 пс.
2. Результаты работы по созданию 900-канального времяпролетного детектора с рабочей площадью $2,2 \text{ м}^2$, работающего в настоящее время в составе времяпролетной системы адронного спектрометра установки NA49 в ЦЕРН.
3. Результаты измерения и анализа распределений по поперечному импульсу и "поперечной массе" для K^+ и K^- мезонов, рожденных во взаимодействиях Pb+Pb при энергии ядра-снаряда 158 ГэВ/нуклон.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ.

Во введении обоснована актуальность диссертации, сформулирована цель работы, приведено краткое содержание диссертации по главам.

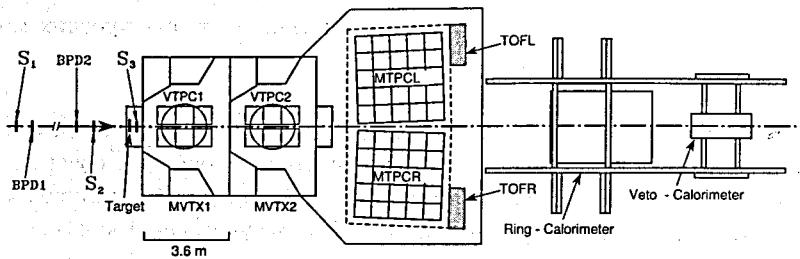


Рис. 1: Схема спектрометра NA49.

В первой главе дано краткое описание элементов спектрометра NA49 и приведены их основные параметры. Сформулированы требования, предъявляемые к времяпролетному детектору.

Адронный спектрометр, изображенный схематически на рис.1, предназначен для регистрации $\approx 60\%$ от примерно 2000 заряженных частиц, образующихся в "центральном" Pb+Pb взаимодействии. Пучок ионов свинца выделяется по совпадению сигналов с черенковских счетчиков S_1 и S_2 , его положение и направление определяется с помощью пропорциональных камер BPD1 и BPD2. Черенковский счетчик S_3 служит для выделения взаимодействий с определенной степенью "центральности". Две времяпроекционные камеры VTPC (размером $2,2 \times 1,4 \times 0,6 \text{ м}^3$), расположенные внутри широкоапертурных дипольных магнитов с анализирующей способностью 4,5 Т·м каждый, и две камеры MTPC ($3,8 \times 3,8 \times 1,3 \text{ м}^3$), расположенные позади магнитов, служат для определения траекторий и ионизационных потерь dE/dx заряженных частиц. Идентификация заряженных частиц основана на использовании комбинации dE/dx информации (из TPC) и скорости частиц, измеряемой двумя времяпролетными детекторами площадью $2,2 \text{ м}^2$ каждый. Выделение V^0 вершин в VTPC и MTPC используется для идентификации K_S^0 , Λ и $\bar{\Lambda}$ распадов. С помощью сегментированного калориметра RCAL измеряются потоки поперечной энергии и анизотропия событий. Вето-калориметр VCAL используется для определения энергии спектаторных нуклонов и фрагментов ядра-снаряда, информация о которой лежит в основе триггера для отбора событий по прицельному параметру.

При идентификации заряженных частиц интервал импульсов 3–7 ГэВ/с, соответствующий "центральной" области быстроты для Pb+Pb столкновений при энергии 158 ГэВ/нуклон ($y=2,9$), является наиболее сложным

с точки зрения разделения пионов, каонов и протонов (антипротонов) с помощью ионизационных измерений во времяпроекционных камерах. Поэтому основной задачей времяпролетных детекторов спектрометра NA49 является "усиление" идентификации заряженных частиц в этом импульсном интервале. Для этого необходимо измерение времени пролета π^- , K^- мезонов и протонов (антипротонов) на базе примерно 14 м с точностью не хуже 80 пс, что достаточно для их разделения с помощью комбинированной TOF-TPC идентификации на уровне $(3,5-4) \sigma$.

Высокая множественность вторичных заряженных частиц в "центральном" Pb+Pb столкновении при энергии ядра-снаряда 158 ГэВ/нуклон, а также учет продуктов распадов нейтральных вторичных частиц приводят к тому, что в районе расположения времяпролетных детекторов плотность потока заряженных частиц составляет $\approx 60 / \text{м}^2$ за одно взаимодействие. Для того, чтобы потери времяпролетной информации, связанные с одновременным попаданием двух и более заряженных частиц в один и тот же счетчик, составляли не более 10% необходимо, чтобы "рабочая площадь" сцинтиллятора счетчика не превышала $20-25 \text{ см}^2$.

Вторая глава посвящена созданию прототипа сцинтилляционного счетчика для времяпролетного детектора.

В первом разделе главы изложена процедура подбора делителя высоковольтного питания ФЭУ-87, обеспечивающего оптимальные временные характеристики счетчика. Показано, что изменение напряжений на диодных промежутках в пределах $\pm 10\%$ не приводит к существенному ухудшению временного разрешения, что позволяет использовать для изготовления делителей резисторы с точностью параметров $\pm 10\%$. Определен рабочий диапазон амплитуд выходных сигналов.

Во втором разделе обсуждаются характеристики сцинтиллятора и фотоумножителя, влияющие на временное разрешение сцинтилляционного счетчика.

В третьем разделе главы подробно описаны процедура измерения временных разрешений исследуемых счетчиков, источники искажений и нестабильностей получаемых величин и методы устранения или учета этих искажений и нестабильностей. Последнее приобретает особое значение в свете того, что измеряемые величины очень малы (несколько десятков пикосекунд). Описаны схемы испытаний детекторов на пучке синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ и с использованием космических частиц. Подробно приведена процедура точной калибровки ВЦП. Показано, что собственное временное разрешение предложенной электронной схемы составляет 9 ± 2

пс, т.е. можно говорить о том, что установка не искажает измеряемые собственные разрешения детекторов.

Сцинтилляционная добавка	Импульс сцинтилляционного света			Измеренное временное разрешение детектора* пс
	τ_{rise} нс	τ_{decay} нс	Амплитуда относит.ед.	
1,5 % p-terphenyl + 0,01 % POPOP	0,79	2,32	1,0	79 ± 4
2 % p-terphenyl	0,075	1,75	0,63 0,42	103 ± 7
3 % p-terphenyl	—	—	0,44	108 ± 6
1,2 % POPOP	0,22	4,22	0,35 0,52	74 ± 4
3,2 % PBD	0,06	1,40	0,87 0,95	62 ± 3
3 % p-terphenyl + 0,04% POPOP	—	—	1,8	58 ± 3
NE111	0,35	1,65	—	—
Pilot U	0,5	1,5	—	—

* - Использован фотоумножитель ФЭУ-87 и образцы сцинтиллятора размером 70 мм×34 мм×23 мм (толщина по пучку).

Таблица 1. Параметры исследуемых сцинтилляторов.

В четвертом разделе изложены результаты исследования пластиковых сцинтилляторов, производимых в ЛВЭ ОИЯИ на основе полистирола с различными сцинтиллирующими добавками (см. табл.1, в которой, для сравнения, приведены также временные параметры сцинтилляторов NE111 и Pilot U). Показано, что для производства детекторов с высоким временным разрешением можно использовать два варианта сцинтиллятора:

1. Полистирол с добавкой 3% PBD.

2. Полистирол с добавкой (3% p-terphenyl + 0,04% POPOP).

Пятый раздел второй главы посвящен исследованию различных модификаций фотоумножителей ФЭУ-87 и ФЭУ-85 на предмет их использования для прецизионных временных измерений. Было показано, что для обеспечения при массовом производстве детекторов на основе ФЭУ-87 временного разрешения не хуже 65–70 пс необходимо использовать фотоумножители со световой катодной чувствительностью не менее 80–90 мкА/лм. Т.к. только 1–2% серийных фотоумножителей ФЭУ-87 обладают такой высокой чувствительностью, нами было предложено заменить в процессе производства "серийный" бищелочной фотокатод SbKCs на более чувствительный мошоелочной SbCs. Проведенные измерения показали, что 60–70% производимых ФЭУ-87(SbCs) могут быть использованы для производства детекторов с временным разрешением $\sigma_{det} \leq 70$ пс.

Тип фотоумножителя	Катод фотоумножителя			Временное разрешение детектора* пс
	Форма	S_L мкА/лм	S_S мА/Вт	
ФЭУ-85	плоский	120	85	101 ± 4
ФЭУ-85	плоский	137	82	141 ± 7
ФЭУ-85С	"сферический"	76	52	70 ± 5
ФЭУ-85С	"сферический"	91	58	63 ± 3
ФЭУ-87(SbCs)	"сферический"	107	58	56 ± 4

* - Использован сцинтиллятор на основе полистирола с добавкой 3% PBD размером 70 мм×34 мм×23 мм(толщина по пучку).

Таблица 2. Временные разрешения, полученные при использовании фотоумножителей ФЭУ-85, ФЭУ-85С и ФЭУ-87(SbCs).

Кроме того, было показано, что модификация умножителя ФЭУ-85С с фотокатодом "сферической" формы может быть использована для временных измерений (табл.2).

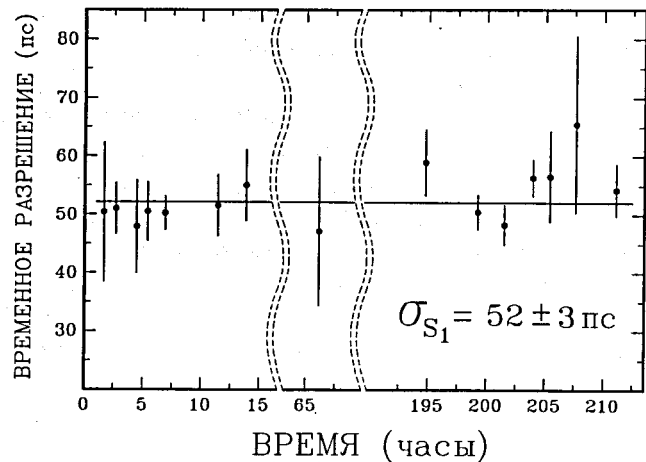


Рис. 2: Результаты измерения временного разрешения в течение длительного периода времени.

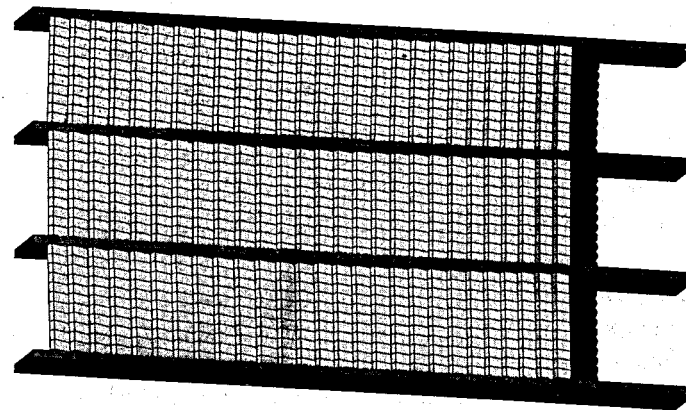
В шестом разделе второй главы показано, что у созданных сцинтилляционных счетчиков отсутствует деградация временных (рис.2) и амплитудных характеристик в течение длительного периода работы.

В седьмом разделе главы описана методика тестирования фотоумножителей на высокопроизводительном стенде. Приведены результаты тестирования и критерии отбора для примерно 1800 фотоумножителей, поступивших с Московского электролампового завода (МЭЛЗ).

В третьей главе дано описание времяпролетного детектора.

Первый раздел главы посвящен описанию механической конструкции времяпролетного детектора. Детектор составлен из 891 индивидуального сцинтилляционного счетчика со сцинтилляторами прямоугольной формы размером 23 мм (толщина по пучку) × 34 мм (высота) × 60/70/80 мм (длина ближних/средних/дальних от пучка счетчиков в соответствии с различной плотностью загрузки счетчиков). Каждый сцинтиллятор обернут светоотражающей алюминиевой фольгой и приклеен с помощью оптического клея Viscon BC-600 на фотокатод отечественного фотоумножителя ФЭУ-87. Для удобства использования сцинтилляционные счет-

а)



б)

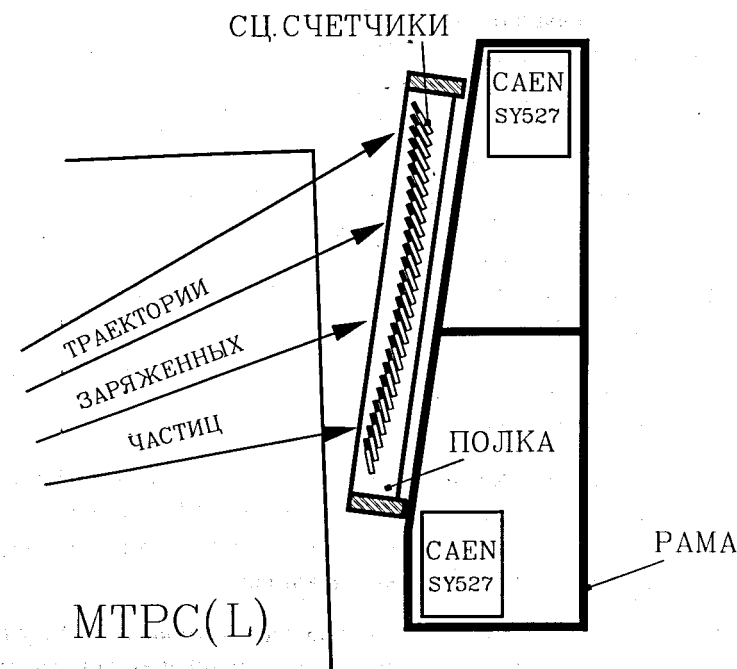


Рис. 3: Схема расположения сцинтилляционных счетчиков на ферме детектора : а) вид со стороны мишени; б) вид сверху.

чики объединены по 11 штук в светоизолирующих кассетах (всего 81 кассета), изготовленных из тонкого алюминиевого листа и текстолита. Расположение счетчиков на ферме времяпролетного детектора, позволяющей фиксировать кассеты со счетчиками в пространстве на 3-х уровнях, показано на рис.3.

Во втором разделе дано описание высоковольтного питания детектора на основе системы CAEN SY527.

В третьем разделе главы кратко изложены основные принципы, лежащие в основе триггера времяпролетной системы, а также описана электроника считывания времяпролетной информации.

Четвертая глава посвящена анализу данных, полученных при работе времяпролетного детектора в составе спектрометра NA49 на пучке ядер свинца с энергией 158 ГэВ/нуклон.

В первом разделе подробно описана калибровка детектора и коррекция времяпролетной информации.

Калибровка времяпролетного детектора была выполнена на основе информации, набранной при работе спектрометра NA49 на пучке ядер свинца с импульсом 158 ГэВ/с. Предварительно проведенная реконструкция треков заряженных частиц во времяпроекционных камерах позволяла не только определить с большой точностью координаты пересечения плоскости времяпролетного детектора каждой заряженной частицей, но также предоставляла информацию об импульсе частицы и о длине ее трека от мишени до времяпролетного детектора. Кроме того, используя результаты измерения ионизационных потерь заряженных частиц в МТРС, оказалось возможным идентифицировать пионы и использовать только этот сорт заряженных частиц для калибровки времяпролетного детектора.

Ниже перечислены основные этапы калибровки детектора и коррекции времяпролетной информации:

- Предварительное положение времяпролетного детектора в пространстве измерялось геодезическими методами. Используя трековую информацию из времяпроекционной камеры проведено уточнение положения детектора по отношению к камере.
- Проведена коррекция момента прихода сигнала с ФЭУ, учитывающая, что каждый канал измерения времени пролета, включающий в себя сцинтилляционный счетчик, сигнальные кабели и считываю-

щую электронику, вносит во время пролета индивидуальную постоянную задержку.

- Скомпенсирована зависимость измеренного времени от координат области, через которую заряженная частица пересекает сцинтиллятор.
- Проведена компенсация зависимости измеренного времени прихода сигнала с фотоумножителя от амплитуды этого сигнала.
- Частично скомпенсированы искажения времени пролета частиц, вносимые стартовым счетчиком (из-за его конечного временного разрешения) и медленным "дрейфом" временных параметров времяпролетной системы как единого целого. Высокая множественность регистрируемых пионов N_π (несколько десятков за одно "центральное" событие) и точная информация о длине трека частицы L и ее импульсе p позволяют определить среднее значение (для каждого события) отклонения измеренного времени пролета пиона T_{corr} от теоретически предсказанного $L/v_\pi(p)$ и использовать полученную величину в качестве поправки для коррекции времен пролета частиц, зарегистрированных в данном событии. Точность этого метода, определяемая величиной $\sigma_{TOF} / \sqrt{N_\pi}$, менее 10 пс (где σ_{TOF} – среднее временное разрешение времяпролетной системы) и превосходит временное разрешение стартового счетчика $\sigma_{START} \approx 25$ пс.

Среднее временное разрешение созданной системы для измерения времени пролета характеризуется шириной пика для π^- -мезонов на рис.4 и составляет $\sigma_{TOF} = 76 \pm 2$ пс. Следует подчеркнуть, что указанное разрешение включает в себя не только собственное разрешение сцинтилляционных счетчиков, но и неопределенности, связанные с конечным разрешением стартового счетчика, с ошибками определения импульсов частиц и длины их треков, с искажениями, вносимыми в процессе работы электроники, и т.д.

Второй раздел четвертой главы посвящен описанию процедуры идентификации вторичных заряженных частиц.

После измерения времени пролета заряженной частицы T_{corr} и привлечения информации о длине трека частицы между стартовым счетчиком и времяпролетным детектором L и ее импульсе p , предоставляемую времяпроекционной камерой, нетрудно определить скорость частицы :

$$\beta = \frac{L}{c \cdot T_{corr}}$$

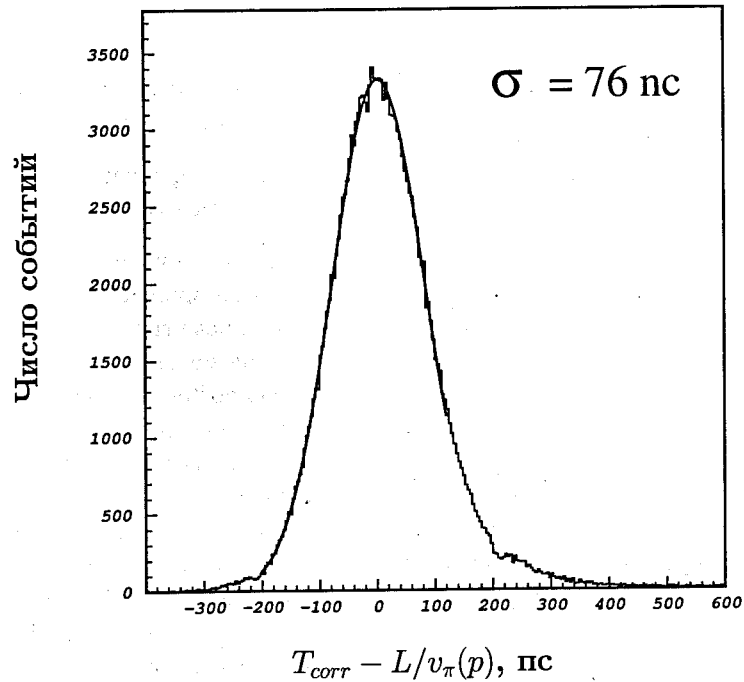


Рис. 4: Временной спектр $T_{corr} - L/v_{\pi}(p)$ для всех счетчиков детектора после проведения коррекций. Ширина спектра характеризует разрешение времяпролетной системы $\sigma_{TOF} = 76 \pm 2$ пс.

и ее массу :

$$(m_0 c^2)^2 = (pc)^2 \left(\frac{1 - \beta^2}{\beta^2} \right)$$

Как следует из рис.5, можно говорить о разделении π и K мезонов с помощью созданной времяпролетной системы вплоть до импульса 4,0–4,5 ГэВ/с, а также об идентификации протонов (антипротонов) вплоть до импульса 8 ГэВ/с и дейтронов вплоть до импульса 11–12 ГэВ/с.

Привлечение информации об ионизационных потерях частиц в газе времяпроекционных камер существенно расширяет импульсный интервал, в котором возможно идентифицировать заряженные частицы. На рис.6 показаны зависимости ионизационных потерь частиц dE/dx в газе камеры МТРС от квадрата инвариантной массы m_0^2 , полученной путем измерения времени пролета и импульса заряженной частицы, для слу-

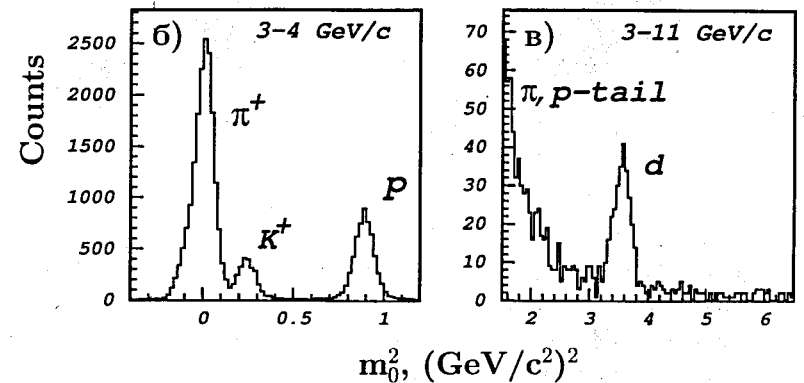
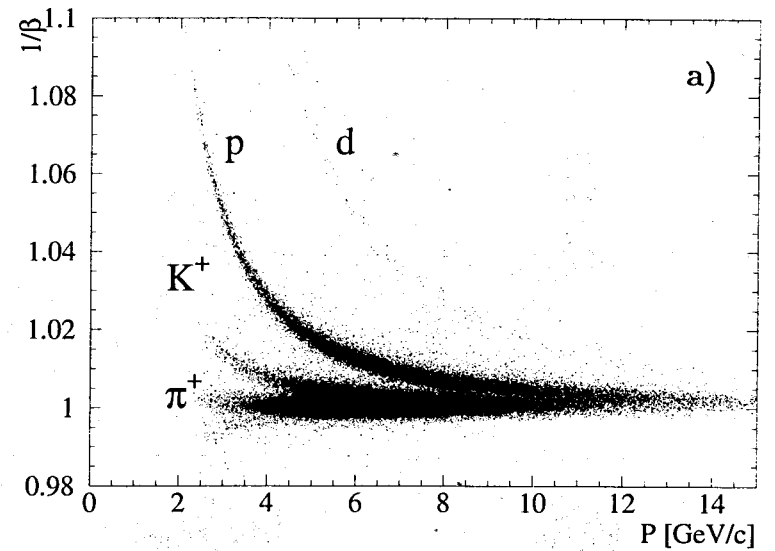


Рис. 5: (а) Зависимость восстановленной с помощью измерения времени пролета величины $1/\beta$ от импульса, измеренного в МТРС, для вторичных частиц с положительным зарядом. Распределения по квадрату массы для: (б) положительно заряженных частиц в импульсном диапазоне 3–5 ГэВ/с; (в) дейтронов в импульсном диапазоне 3–11 ГэВ/с.

чая, когда времяпролетный детектор регистрирует положительно заряженные частицы. Двумерные гистограммы, представленные на рисунке,

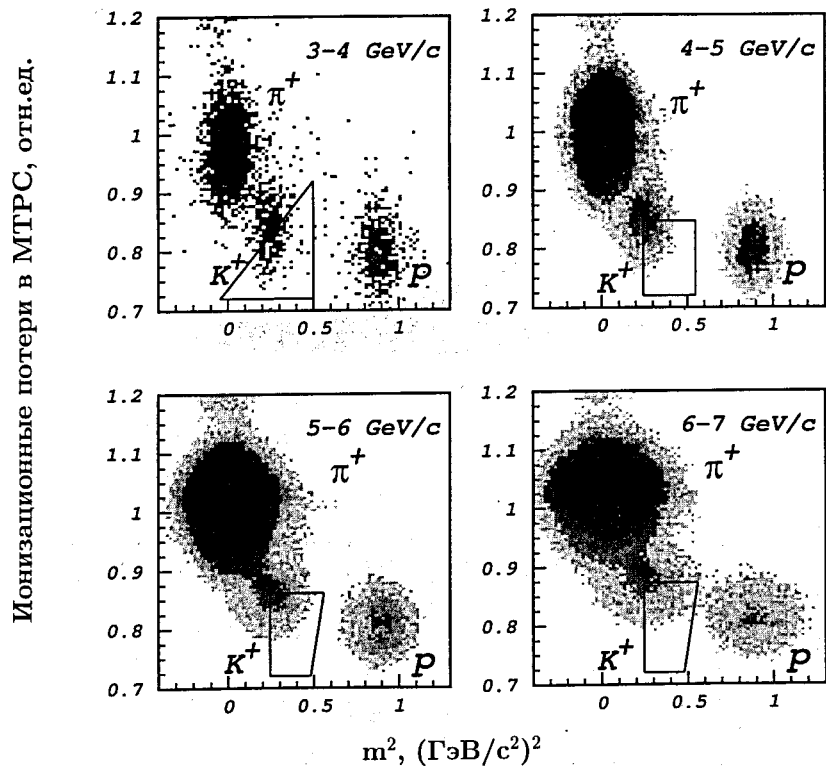


Рис. 6: Зависимость ионизационных потерь в МТРС от квадрата массы, определенной с помощью времяпролетного детектора, для вторичных частиц с положительным зарядом. Линиями выделены области, используемые для подсчета числа K^+ мезонов.

отвечают различным импульсным интервалам частиц (ширина каждого интервала – 1 ГэВ/с). Каждая гистограмма фитировалась суммой трех однотипных двумерных распределений, соответствующих пионам, каонам и протонам (антипротонам). Двумерные функции для каждого из трех типов частиц, были выбраны в виде суммы двух компонент: дву-

мерного распределения Гаусса и экспоненциальной части, учитывающей "хвосты" распределений. Результаты фитирования позволяют использовать для дальнейшего анализа частицы из тех областей двумерных гистограмм, где разделение происходит наиболее надежно; при этом несложно определить, какой процент частиц искомого сорта попадает в выделенные области, и каковы примеси частиц других типов при такой процедуре идентификации. Так, например, можно оценить примеси пионов в идентифицированных K -мезонах для различных импульсных интервалов при использовании показанных на рис.6 областей двумерных гистограмм. Из расчетов следует, что вплоть до импульса 8 ГэВ/с возможно выделить каоны с примесью пионов менее 1%.

В третьем разделе главы описана процедура определения эффективности регистрации заряженных частиц времяпролетным детектором.

Эффективность регистрации заряженных частиц, связанная с конкретной геометрией времяпролетного детектора и его расположением по отношению к другим элементам установки, была определена с помощью программы моделирования спектрометра NA49, созданной сотрудниками коллаборации NA49 на основе пакета GEANT 3.

Из-за высокой множественности вторичных заряженных частиц в набранной информации присутствуют события, в которых несколько заряженных частиц попадают в один и тот же сцинтилляционный счетчик, что ведет к искажению времяпролетной информации. Для устранения такого рода искажений были исключены из обработки срабатывания тех счетчиков, в сцинтиллятор которых "попадало" более, чем один, треков из МТРС. Количество исключенных из обработки частиц составило 10–15%; в дальнейшем число идентифицированных частиц каждого сорта корректировалось на соответствующую поправку.

Кроме того, используя отбор по заряду сигналов со сцинтилляционных счетчиков, удалось исключить из обработки частицы, попавшие в края сцинтилляторов счетчиков, и частицы, попадание которых в сцинтиллятор сопровождается конверсией гамма-кванта. Поправки числа частиц, связанные с отбором событий по заряду сигналов с времяпролетного детектора, оцениваются на уровне $\approx 7\%$ для конверсии гамма-квантов и 3–7% для частиц, попавших в края сцинтиллятора.

В четвертом разделе главы приведены полученные спектры по поперечному импульсу и "поперечной массе" для заряженных каонов, рождающихся в "центральной" области быстроты реакции $2,6 < y < 3,2$ (рис.7, 8). Измерены значения параметров наклонов спектров $T = (224 \pm 12)$ МэВ для K^+ -мезонов и $T = (213 \pm 6)$ МэВ для K^- -мезонов.

NA49 TOFL Preliminary

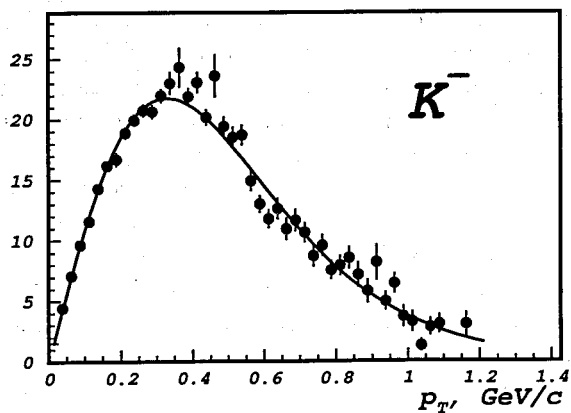
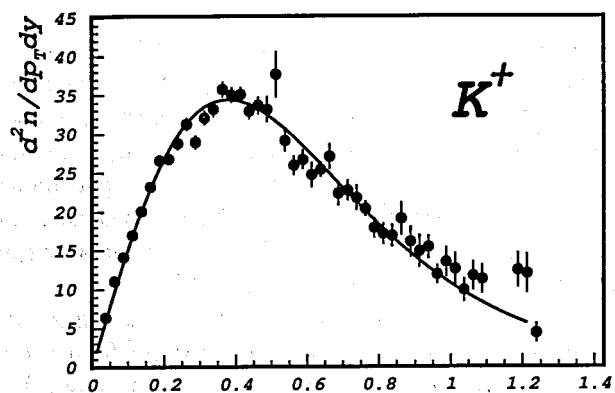


Рис. 7: Спектры K^\pm -мезонов по поперечному импульсу p_T . Приведенные ошибки измерений - статистические.

NA49 TOFL Preliminary

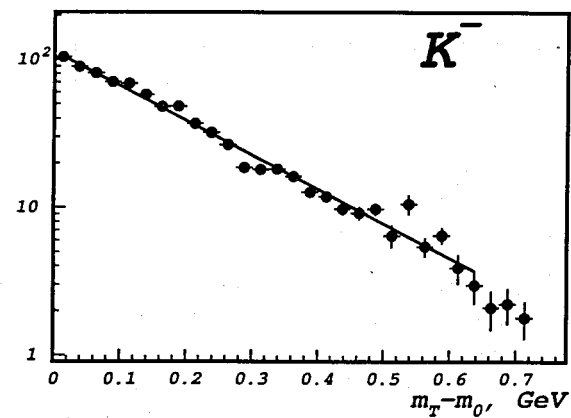
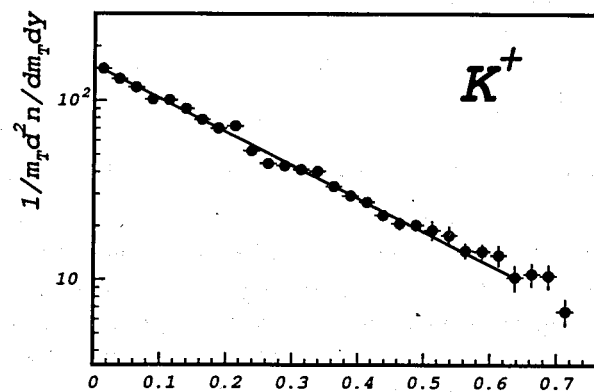


Рис. 8: Спектры K^\pm -мезонов по "поперечной массе" $m_T - m_0$ (m_0 - масса покоя K -мезона). Приведенные ошибки измерений - статистические.

Интегрированием спектров, представленных на рис.8 (с учетом аппроксимации спектров в область "больших m_t "), были получены значения плотности заряженных каонов dN/dy в "центральной" области быстроты:

$$\frac{dn}{dy}(K^+) = 26,4 \pm 2,0$$

$$\frac{dn}{dy}(K^-) = 15,0 \pm 2,0$$

Определено отношение выходов заряженных каонов в интервале быстроты $2,6 < y < 3,2$: $\langle K^+ \rangle / \langle K^- \rangle = 1,76 \pm 0,15$.

Изложены результаты анализа полученных данных в рамках термодинамического подхода.

В заключении сформулированы основные выводы диссертации:

1. Проведено исследование пластических сцинтилляторов, производимых в ЛВЭ ОИЯИ, и отечественных малогабаритных фотоумножителей ФЭУ-87 и ФЭУ-85 на предмет их использования для создания счетчика для прецизионных временных измерений. Показано, что ФЭУ-87 и ФЭУ-85 (после некоторой модификации) пригодны для производства сцинтилляционных счетчиков с временным разрешением не хуже 70 пс.
2. На базе модификации фотоумножителя ФЭУ-87 разработан и создан сцинтилляционный счетчик с временным разрешением порядка 50 - 60 пс.
3. Разработана методика измерения параметров ФЭУ и создан высокопроизводительный стенд, позволивший протестировать примерно 1800 фотоумножителей ФЭУ-87 (SbCs).
4. На основе разработанного сцинтилляционного счетчика создан 900-канальный времяпролетный детектор с рабочей площадью 2 м^2 , в настоящее время успешно функционирующий в составе адронного спектрометра установки NA49 в ЦЕРН. Временное разрешение времяпролетной системы составило 75 пс, что позволяет разделять пионы и каоны вплоть до импульса 8 ГэВ/с и выделять протоны (антипротоны) вплоть до импульса 10-12 ГэВ/с.

5. Получены распределения по поперечному импульсу и "поперечной массе" для K^+ и K^- мезонов, рожденных в "центральных" взаимодействиях Pb+Pb при энергии ядра-снаряда 158 ГэВ/нуклон. Определенные в "центральной" области быстроты взаимодействия значения обратного параметра наклона спектров $T(K^+) = 224 \pm 12 \text{ МэВ}$, $T(K^-) = 213 \pm 6 \text{ МэВ}$ и плотности на единицу быстроты вторичных каонов $dn/dy(K^+) = 26,4 \pm 2,0$, $dn/dy(K^-) = 15,0 \pm 2,0$ хорошо согласуются с результатами измерений других экспериментов, а также близки к данным, полученным для "центральных" S+S взаимодействий при энергии ядра-снаряда 200 ГэВ/нуклон. Отношение выходов заряженных каонов в "центральной" области быстроты составило $\langle K^+ \rangle / \langle K^- \rangle = 1,76 \pm 0,15$.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. S.V.Afanasiev, Yu.S.Anisimov, A.I.Malakhov, S.G.Reznikov, A.Yu.Semenov, P.I.Zarubin. "80 ps Timing Resolution Scintillation Counter with a Photomultiplier FEU-87". JINR Rapid Communications, N4-92, Dubna, 1992, p.277.
2. S.V.Afanasiev, Yu.S.Anisimov, A.I.Malakhov, G.L.Melkumov, S.G.Reznikov, A.Yu.Semenov, P.I.Zarubin. "Scintillation Counters for Multichannel Time-of-Flight System". Acta Physica Slovaca, vol.44 (1994) No.6, p.451.
3. S.V.Afanasiev, T.Alber, H.Appelshauser, ..., A.Yu.Semenov et al. "Stopping and Collective Effects at SPS Energies". Nucl.Phys. A610 (1996) 76c.
4. S.V.Afanasiev, T.Alber, H.Appelshauser, ..., A.Yu.Semenov et al. "Hadron Yields and Hadron Spectra from the NA49 Experiment". Nucl.Phys. A610 (1996) 188c.
5. С.В.Афанасьев, Л.Я.Жильцова, В.И.Колесников, А.И.Малахов, Г.Л.Мелкумов, А.Ю.Семенов. "Сцинтилляционные детекторы для прецизионных временных измерений". Краткие сообщения ОИЯИ, N1(81)-97, 1997, с.45.
6. С.В.Афанасьев, А.Ю.Исупов, В.И.Колесников, А.И.Малахов, Г.Л.Мелкумов, А.Ю.Семенов. "Многоканальный времяпролетный детектор в составе адронного спектрометра эксперимента NA49 в ЦЕРН". Краткие сообщения ОИЯИ, N5(85)-97, 1997, с.69.

Рукопись поступила в издательский отдел
6 февраля 1998 года.