

НУРГОЖИН
Ногербек Нурмуқанович

**БОЛЬШИЕ ТРЕКОВЫЕ ИСКРОВЫЕ
И СТРИМЕРНЫЕ КАМЕРЫ
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
ЧАСТИЦ СВЕРХВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
И РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР**

Специальность: 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в Институте физики высоких энергий АН КазССР, Лаборатории высоких энергий и Лаборатории вычислительной техники и автоматизации Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:

кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

ЛУКИН
Юрий Терентьевич

кандидат технических наук
старший научный сотрудник

МАТЮШИН
Александр Тарасович

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
профессор

СОЛОВЬЕВ
Михаил Иосифович

доктор физико-математических наук

ПИСАРЕВ
Алексей Федорович

Ведущее учреждение:

Московский ордена Трудового Красного Знамени
инженерно-физический институт, Москва

Защита диссертации состоится "28" мая 1987 г. в
10³⁰ час. на заседании специализированного совета Д-047.01.02 при
Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследо-
ваний, Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан "28" апреля 1987 г.

Ученый секретарь

специализированного совета *М.Ф. Лихачев* М.Ф. ЛИХАЧЕВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В последнее время возрос интерес к изучению адрон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействий при высоких и сверхвысоких энергиях. Это обусловлено возможностью получения уникальной информации о ядре как о многонуклонной системе, о пространственно-временном развитии множественных процессов рождения частиц, о структуре адронов, о кварк-глюонной плазме.

Одним из направлений реализации этой возможности является создание высокоинформативных установок для изучения взаимодействий пионов и нуклонов космических лучей в области энергий 0,1-100 ТэВ, релятивистских ядер с ядрами и проведение с их помощью исследований.

Цель работы состояла в разработке и создании основных, принципиально новых узлов и систем комплексных установок на основе трековых искровых и стримерных камер для изучения взаимодействий пионов и нуклонов космических лучей в диапазоне энергий 0,1-100 ТэВ и релятивистских ядер с ядрами, исследовании их характеристик и проведении экспериментов в пучках ядер, ускоренных до энергии 3,6 ГэВ/нуклон.

Научная новизна. Разработаны комплексные установки "Искровой спектрометр полного поглощения" с площадью 1 м^2 (ИСПП-1) и "Адрон-44" с площадью 44 м^2 , обладающие большей светосилой и информативностью по сравнению с существующими на высокогорных станциях. Создана установка с двухметровой стримерной камерой в магнитном поле (СКМ-200) - один из двух крупнейших в мире спектрометров для изучения взаимодействий релятивистских ядер с ядрами. Получены экспериментальные данные по сечениям неупругих взаимодействий ядер гелия и углерода и по характеристикам \mathcal{N}^- -мезонов, Λ - и K_S^0 -частиц, рожденных в неупругих и центральных взаимодействиях ядер гелия, углерода, кислорода и неона с ядрами ${}^6\text{Li}$, ${}^7\text{Li}$, ${}^{12}\text{C}$, ${}^{20}\text{Ne}$, Al, Si, Ca, Zr, Pb при импульсе 4,5 ГэВ/с/нуклон. Большинство этих данных было получено и опубликовано впервые.

Развита методика создания больших трековых искровых и стримерных камер и комплекса аппаратуры для них. Впервые разработаны и созданы двухсекционные трековые искровые камеры площадью 6 и 11 м^2 с минимальным количеством вещества на пути регистрируемых частиц, с существенно улучшенными характеристиками и высокой надежностью в работе. Ряд узлов аппаратуры разработан на уровне изобретений (А.с. №219936, №66221, №989747).

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Практическая ценность работы заключается в том, что разработанные и созданные комплексные установки на базе трековых искровых и стримерных камер и аппаратура для них могут найти широкое применение. Установки ИСПИ-1 и "Адрон-44" для изучения взаимодействий адронов космических лучей с ядрами в интервале энергий 0,1-100 ТэВ могут быть использованы при проведении физических экспериментов на ускорителях как безмагнитные спектрометры. Трековая искровая камера с максимальными в настоящее время размерами $400 \times 275 \times (2 \times 20)$ см³ для "Адрон-44", созданная и испытанная на Тянь-Шаньской высокогорной научной станции космических лучей ИФВЭ АН КазССР на высоте 3340 м над уровнем моря, удовлетворяет требованиям эксперимента, а камера $300 \times 200 \times (2 \times 20)$ см³ использована на макете этой установки в эксперименте по изучению взаимодействий адронов космических лучей с энергиями ≥ 1 ТэВ.

Магнитный спектрометр с двухметровой стримерной камерой СКМ-200, сочетая лучшие качества камерных и электронных методов, позволил успешно проводить исследования в области релятивистской ядерной физики на синхрофазотроне ОИЯИ и может быть применен для решения широкого круга задач физики высоких энергий и элементарных частиц, включая изучение редких процессов.

Разработанные и созданные высоковольтные генераторы наносекундных импульсов с амплитудами в сотни киловольт для питания трековых искровых и стримерных камер комплексных установок, система газообеспечения и фотографирования и другая аппаратура могут быть применены в смежных областях науки и техники.

Полученные с помощью СКМ-200 результаты по взаимодействиям релятивистских ядер с ядрами можно использовать для построения теории высокоэнергичных ядро-ядерных соударений и при планировании новых экспериментов, кроме того, они могут иметь приложения к теории прохождения космических лучей в космическом пространстве и атмосфере, радиационной физике и технике.

Апробация работы и публикации. Основные результаты, изложенные в работе, докладывались и обсуждались на Всесоюзной конференции по космическим лучам (Новосибирск, 1967 г.), на научных семинарах ИЯФ и ИФВЭ АН КазССР, ФИАН СССР, Лаборатории высоких энергий и Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ, кафедры экспериментальной ядерной физики МИФИ, на Всесоюзной школе по неупругим взаимодействиям адронов и ядер при высоких энергиях (Алма-Ата, 1982 г.), на совещаниях международного сотрудничества по исследованиям на спектрометрах СКМ-200 и ГИЭС (ОИЯИ, Дубна), а также представлялись на международных конференциях в Будапеште (1969 г., 1977 г.), Тбилиси (1976 г.),

Дюрихе (1977 г.), Ванкувере (1979 г.), Беркли (1980 г.), Версале (1981 г.), Мичигане (1982 г.), Брайтоне (1982 г.) и Балатонфюреде (1983 г.).

Материалы диссертации отражены в 55 научных работах, в основу диссертации положены 32 основные публикации^{1,3-12,14-29,31,32/}, в том числе один обзор^{33/} и три авторских свидетельства на изобретения^{2,13,30/}.

Объем работы. Диссертация состоит из шести глав, изложенных на 129 страницах машинописного текста, 1 приложения (10 с.), 56 рисунков (45 с.) и списка литературы из 253 наименований (31 с.).

На защиту выносятся следующие основные результаты:

1. Обоснование достоинства методики трековых искровых и стримерных камер в экспериментах по изучению взаимодействий пионов и нуклонов космических лучей с ядрами в области энергий 0,1-100 ТэВ.

2. Разработка, создание и исследование систем больших ($S=I-II$ м² с промежутками 20-40 см) трековых искровых и стримерных камер, наносекундных генераторов импульсных напряжений с амплитудами в сотни (90-600) киловольт, газообеспечения и фотографирования комплексных крупномасштабных установок ($S=I$; 44 м²) для изучения взаимодействий пионов и нуклонов космических лучей с ядрами при энергиях 0,1-100 ТэВ.

3. Разработка, создание и исследование системы газообеспечения и аппаратуры контроля и измерения времени памяти двухметровой стримерной камеры магнитного спектрометра СКМ-200 для изучения взаимодействий ядер с ядрами при импульсе 4,5 ГэВ/с/нуклон на синхрофазотроне ОИЯИ.

4. Разработка схемы генератора импульсов, позволяющей согласовать тракт формирования высоковольтного наносекундного импульса и повысить выходное напряжение.

5. Предложение энергетической модели нарастания светового излучения и размеров лавины с увеличением газового усиления в стримерной камере.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе (введении) дана общая характеристика работы, включающая обоснование актуальности задачи, цели работы, ее научной новизны, значимости и практической ценности. Введение заканчивается перечислением основных результатов, вынесенных на защиту, и кратким изложением содержания диссертации.

Вторая глава посвящена вопросам разработки и создания крупномасштабных комплексных установок для исследования взаимодействий пионов и нуклонов космических лучей с ядрами в области энергий 0,1–100 ТэВ и состоит из трех разделов.

В начале главы кратко рассмотрены методы исследования взаимодействий частиц космических лучей высоких и сверхвысоких энергий и отмечается важность сравнения характеристик взаимодействий пионов и нуклонов с ядрами при одних и тех же энергиях для понимания фундаментальных свойств элементарных частиц и изучения структуры атомных ядер.

В разделе 2.2 отмечены достоинства трековых искровых и стримерных камер как детекторов частиц. Дается краткое описание искрового спектрометра полного поглощения площадью 1 м^2 (ИСПП-1), построенного на основе стримерной ($100 \times 50 \text{ см}^2$ с промежутком $4 \times 25 \text{ см}$) и трековых искровых камер (12 камер размером $100 \times 100 \times 20 \text{ см}^3$) для изучения взаимодействий адронов космических лучей с ядрами в области энергий 0,1–1 ТэВ^{1,3/}. Он был рассчитан на получение информации по искровой камере о первичном адроне (заряде, направлении движения, виде сопровождения) и стримерной камере о продуктах ее взаимодействия в ядерно-чистой сменяемой мишени (числе и угле вылетов заряженных частиц) и для определения доли энергии, переданной \mathcal{N}^0 -мезонам, и энергии первичной и вторичных частиц методом счета треков в 11 искровых камерах^{x)}, прослаивающих вещества спектрометра $42,5 \text{ г/см}^2 \text{ Рь}$ и $720 \text{ г/см}^2 \text{ Fe}$. Запуск спектрометра производился импульсом при совпадении сигналов порогового спинтилляционного счетчика ($100 \times 100 \times 5 \text{ см}^3$), расположенного в его объеме и настроенного на число частиц больше заданного, и индикатора взаимодействия в мишени из газоразрядных счетчиков, отбирающий ливни с числом частиц ≥ 3 . Проведенные на высоте 800 м над уровнем моря (уровень расположения ИФВЭ АН КазССР) комплексные испытания показали, что установка ИСПП-1 отвечает поставленным требованиям, однако имеет ограниченный энергетический диапазон, в котором она может применяться. При высоких энергиях плотность частиц в ливне становится большой, треки начинают сливаться.

В разделе 2.3 сформулированы основные требования, предъявляемые к установкам по изучению взаимодействий пионов и нуклонов космических лучей с ядрами в области энергий 1–100 ТэВ, кратко описана схема комплексной установки площадью $8 \times 5,5 \text{ м}^2$ ("Адрон-44")^{4,6/}.

Схема установки, отдельные узлы которой в настоящее время реализуются на Тянь-Шаньской высокогорной научной станции космических лучей

x) А.В.Алаков и др. Препринт ФИАН СССР, № 55, 1968.

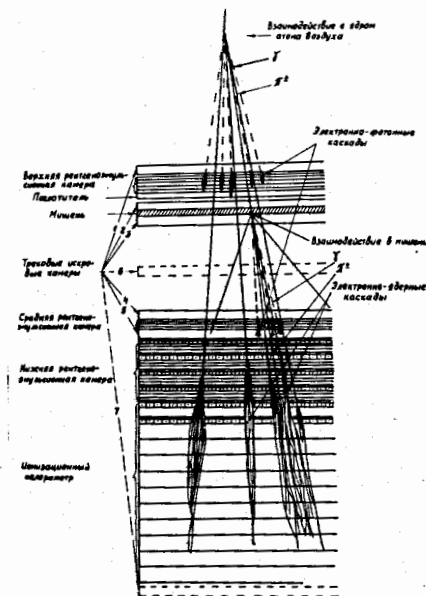


Рис. 1. Схема установки "Адрон-44".

направления движения, числа и углов вылета ($\geq 3 \cdot 10^{-4}$ рад) вторичных заряженных частиц, генерированных во взаимодействиях как в мишени, так и в атмосфере, и для целеуказания. Средняя рентгеномульсионная камера – для определения числа и углов вылета, энергии \mathcal{N}^0 -квантов от \mathcal{N}^0 -мезонов, образованных в мишенных взаимодействиях, а также для нахождения числа и углов вылета (вплоть до 10^{-4} рад) тех же разреженных 4-м, 5-м, 6-м рядами искровых камер заряженных вторичных частиц переднего конуса. Нижняя рентгеномульсионная камера с несколькими рядами ионизационных камер – для регистрации и измерения энергий как отдельных адронов, входящих в состав групп частиц, падающих на установку, так и отдельных вторичных частиц, образованных во взаимодействиях в мишени, ионизационный калориметр (ИК) – суммарной энергии группы адронов, падающих на него, и для грубого целеуказания. ТИК 7 – для регистрации электронно-ядерных каскадов и энергичных вторичных (сохранившихся) частиц. Запуск ТИК установки производится при совпадении сигналов 3–4 рядов спинтилляционных счетчиков, расположенных в объеме ИК (на рис. не показано) и работающих с энергетическим порогом, адекватным порогу запуска ИК^{6/}. Показано, что такая установка

ИФВЭ АН КазССР на высоте 3340 м над уровнем моря, приведена на рис. 1. Трековая искровая камера I (ТИК I) предназначена для регистрации и определения направления движения заряженных частиц, падающих на установку, и для целеуказания. Верхняя рентгеномульсионная камера (ВРЭК) – для регистрации семейств \mathcal{N}^0 -квантов, образованных во взаимодействиях в атмосфере, и определения энергии и положения каждого \mathcal{N}^0 -кванта в семействе. Поглотитель из легкого вещества – для фильтрации частиц малой энергии, выходящих из ВРЭК. ТИК 2 – для регистрации и определения направления движения заряженных частиц, падающих на мишень, и для целеуказания. В качестве мишени применяются вещества из различных ядер. ТИК 3,4,5,6 применяются для регистрации и определения

при толщине мишени 0,1 ядерного пробега позволяет получить средние характеристики взаимодействия адронов с ядрами в области энергий $E_0 \geq 10$ ТэВ с удовлетворительной точностью за приемлемое время экспозиции (3-5 лет).

Третья глава посвящена вопросам разработки и создания трековых искровых камер установки "Адрон-44", систем их фотографирования и обеспечения их работы. Глава состоит из семи разделов. В начале главы кратко излагаются основные требования, предъявляемые к трековым искровым камерам установки.

В разделах 3.2 и 3.3 изложены результаты исследований, проведенных с целью отработки конструкций камер установки и выбора материалов для их изготовления.

Исходя из условий оптимизации конструкций установки, основных требований к ее камерам и учитывая преимущества трехэлектродной камеры перед двухэлектродной, автор диссертации предложил каждый ряд искровых камер установки набирать из 4-х отдельных трековых искровых камер площадью 400×275 см² (ТИК-11) с зазором 2×20 см. Одной из основных сложностей создания таких камер является изготовление с минимально возможной толщиной параллельных электродов камер большой площади.

С целью выбора материала для изготовления тонких электродов камер установки была исследована работа экспериментальной трековой искровой камеры, у которой одним электродом служила лавсановая пленка с алюминиевым покрытием, а вторым - лист дюралюминия^{/7/}. Исследования показали, что при работе камеры под действием искрового разряда разрушалось металлическое покрытие лавсановой пленки, когда металлический слой входил в контакт с рабочим газом. Разрушения от искр толщиной 1,5 мм имеют вид кружка диаметром 0,5 мм на аноде и 1,5 мм на катоде. Размеры разрушений уменьшаются с уменьшением мощности искры и увеличением толщины покрытия. Отмечена возможность использования эффекта разрушения металлического покрытия пленки для съема информации с искровых камер. Срок службы камеры с электродами из металлизированной пленки ограничен также из-за интенсивного выгорания металла вдоль незаметных, на первый взгляд, мелких паразитов на металлическом покрытии при работе камер^{/9/}, что предъявляет особые требования к качеству покрытия. Поэтому была разработана и исследована модель камеры ТИК-11 размером $85 \times 85 \times (2 \times 17,5)$ см³ с проволочными электродами (диаметр проволоки 0,1 и шаг намотки 1 мм) со стенками из лавсановой пленки и каркасом из жесткого пенополиуретана (ППУ-305)^{/9/}. Результаты исследований показали, что введение проволоч-

ных электродов, особенно двойных, внутрь объема^{х)} камеры существенно повышает эффективность регистрации большого числа одновременно проходящих частиц, снижает корреляцию толщины и яркости треков и срабатываний промежутков, а камера отвечает поставленным требованиям и может служить прототипом при создании камер больших размеров.

В разделе 3.3 описана также трехэлектродная трековая искровая камера размером $300 \times 200 \times (2 \times 20)$ см³ с внутренними проволочными электродами, которая была использована в эксперименте по изучению взаимодействий адронов космических лучей с энергиями ≥ 1 ТэВ вместо шести отдельных камер, изготовленных целиком из стекла^{xx)}.

В разделе 3.4 описывается камера ТИК-11, созданная для установки "Адрон-44", приводятся результаты ее исследований^{/16/}. Камера ТИК-11 имеет два зазора по 20 см. Центральный электрод выполнен в виде двойного ряда проволок диаметром 0,1 мм, натянутых на обе стороны рамы из дюралюминия ($440 \times 315 \times 4,7$ см³), крайние - в виде однорядового натяжения проволоки на такие же рамы. Проволоки натянуты вдоль длинных сторон рамы с шагом 2 мм. Три стенки каркаса камеры склеены из 100-миллиметровых блоков ППУ-305. Передняя стенка камеры, через которую осуществляется фотографирование следов, выполнена из лавсановой пленки толщиной 175 мкм, верхняя и нижняя - из пленки толщиной 100 мкм. Исследование работы камеры ТИК-11 проводилось с неоновым наполнением при параллельном питании искровых промежутков с тремя фиксированными значениями напряженности электрического поля в камере: 8; 6,6 и 3 кВ/см, и задержки импульса относительно прохождения ливня через камеру $\sim 0,3$ мкс. Результаты исследований показали, что камера ТИК-11 характеризуется 100-процентной эффективностью регистрации большого числа частиц в ливне, высокой разрешающей способностью ливневых частиц, отсутствием корреляции в срабатывании промежутков (рис. 2) и заметного коронирования проволок в широком диапазоне напряженности электрического поля. Разработанная камера удовлетворяет предъявляемым требованиям; характеристики ее могут быть значительно улучшены при согласованном режиме питания.

В разделах 3.3 и 3.4 приводится также краткое описание наносекундных генераторов импульсных напряжений на 90, 200 и 400 кВ, сцинтилляционных счетчиков площадью 1 м² и систем фотографирования, разработанных и использованных для испытания и исследования характеристик ТИК установки "Адрон-44" на стенде^{/16/}.

х) А.Т.Матюшин, В.Т.Матюшин. ПТЭ, 1966, №5, с. 75.

xx) А.В.Апанасенко и др.Изв.АН СССР, сер.физ., 1973, №7, с.1358.

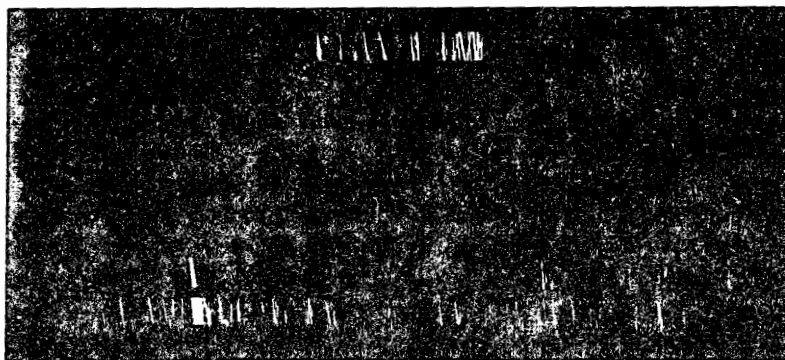


Рис. 2. Часть широкого атмосферного ливня, одновременно зарегистрированного в трековых искровых камерах с площадью I и II м².

В разделе 3.5 описаны системы газообеспечения больших трековых искровых и стримерных камер. Основной схемой первой системы газообеспечения является периодическая замена рабочего газа после "загрязнения" путем откачки и наполнения камеры ($\leq 100 \times 100 \times 40$ см³) в специальном вакуумном боксе. Одним из основных узлов системы является регулятор давления двухстороннего действия для поддержания равного давления при наполнении (откачке) двух различных по форме и размерам емкостей разнородными газами^{/2/}. Однако применение такой системы для газообеспечения камер больших размеров с тонкими стенками затруднительно. Поэтому была разработана новая система газообеспечения^{/8/}. Основной схемой этой системы газообеспечения является непрерывный продув камеры рабочим газом со сбором и регенерацией его под давлением, что значительно повышает эффективность очистки. Причем на выходе может быть заранее создан достаточно большой запас газа, что дает возможность поддерживать постоянство его состава в камере в течение длительного времени без регенерации. При уровне содержания воздуха на входе системы регенерации 0,3%, а на выходе - 0,01% производительность ее - 3 м³/час.

В разделе 3.6 рассмотрены основные требования, предъявляемые к параметрам импульсов для питания ТМК, и способы их формирования, описан высоковольтный генератор наносекундных импульсов (ВВГНИ), разработанный для камер установки "Адрон-44"^{/12/}. Проведенный сравнительный анализ схемы формирования наносекундных импульсов высокого напряжения показал, что наиболее употребительным способом обеспечения стабильных параметров импульса на электродах большой ТМК является ис-

пользование генератора с двойной формирующей линией (ДФЛ) и согласование электрических импедансов генератора и камеры. Однако в схеме есть трудности, связанные с ограничением индуктивности коммутатора и сведением к минимуму разницы в длинах линий, приводящие к увеличению фронта и спада импульса, а также к появлению осцилляций. Поэтому для питания ТМК установки разработан генератор с ДФЛ с возможностью в случае необходимости переключения ее на одиночную ФЛ с обострителем, что позволяет получать импульсы напряжения с существенно более крутым передним фронтом, который, однако, по амплитуде в два раза меньше зарядного на согласованной нагрузке. В состав разработанного ВВГНИ входят: 5-каскадный ГИИ, зарядная индуктивность, коаксиальная ДФЛ (ФЛ) с двухэлектродным разрядником (обострителем). С помощью такого ВВГНИ можно питать одновременно до I2-I4 камер установки, что существенно упрощает их обслуживание и настройку на рабочий режим, повышает эффективность работы установки. Отмечается, что при испытании на стенде ЛВЭ ОИЯИ нового ВВГНИ двухметровой стримерной камеры, созданного по единой технической документации^{/12/}, с азотным наполнением зарядного ГИИ на ДФЛ на согласованной нагрузке линии (38 Ом) был получен импульс с амплитудой до 300 кВ, длительностью - I2 нс, фронтом нарастания - 5 нс, временем задержки - 500 нс и нестабильностью амплитуды - I% и задержки - 5%, что соответствует выбранному рабочему режиму питания ТМК установки "Адрон-44"^{/12/}. В этом разделе приводится также краткое описание генератора с малоиндуктивным емкостным накопителем на 600 кВ, формирующего на нагрузке импульс с фронтом 2 нс и длительностью ≤ 13 нс^{/5/}, разработанного для питания стримерной камеры установки ИСПИ-I.

В разделе 3.7 описана система фотографирования ТМК установки "Адрон-44"^{/6/}, состоящая из 4-х специально разработанных стереофотограмметрических установок (СФУ). Каждая СФУ предназначена для фотографирования камер I/4 части установки через одну их стенку и состоит из трех фотокамер с взаимной ориентацией, что позволяет восстановить с высокой точностью пространственную картину регистрируемого ливня с большим числом частиц. Максимальная база стереофотографирования 340 см. Масштаб фотографирования I:60.

В четвертой главе описывается магнитный спектрометр с двухметровой стримерной камерой (СКМ-200) для изучения взаимодействий релятивистских ядер с ядрами^{/14/}, приводятся результаты исследования некоторых характеристик камеры и рассмотрены вопросы, связанные с повышением пространственной разрешающей способности и эффективности его работы. Глава состоит из трех параграфов. В начале главы указываются

преимущества магнитных спектрометров со стримерными камерами по сравнению с установками других типов.

В параграфе 4.2 приводится краткое описание спектрометра СКМ-200 и отдельных его узлов. Основой спектрометра (рис. 3) является двухметровая ($200 \times 100 \text{ см}^2$) стримерная камера с промежутком $2 \times 30 \text{ см}$, наполненная неоном при атмосферном давлении и помещенная в магнитное

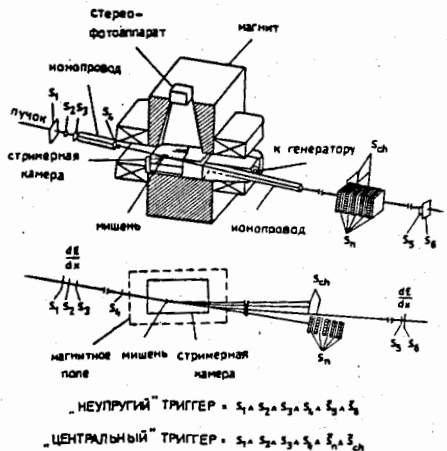


Рис. 3
 Схема спектрометра СКМ-200 (S_1-S_6 - сцинтилляционные счетчики; S_{Ch}, S_n - счетчики заряженных и нейтральных фрагментов налетающего ядра).

поле (0,8 Т). Использование спектрометра СКМ-200 со сменяемыми мишенями внутри стримерной камеры позволило практически в 4П-геометрии наблюдать и анализировать всю сложную картину ядро-ядерных взаимодействий при энергии 3,6 ГэВ на нуклон в широком диапазоне сталкивающихся ядер. Его управляемость дала возможность с помощью специально разработанного триггера регистрировать редкие события, такие, как центральные (многонуклонные) взаимодействия ядер.

В разделе 4.3.1 параграфа 4.3 проведен анализ динамики продува газом стримерной камеры и рассмотрен электрический аналог процесса продува. Проведенный анализ показал, что процесс наполнения газом стримерной камеры с тонкими стенками методом продува и переходные процессы в электрических RC-цепях описываются одним уравнением [11]. Это позволило исследовать процесс наполнения камеры и поддержания в ней заданного состава газа с помощью электрического аналога (рис. 4).

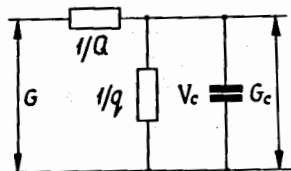


Рис. 4. Электрическая схема аналога продуваемой газом камеры (G и G_c - уровни концентрации основного газа в смеси соответственно на входе и на выходе камеры, q - величина потока газа через камеру, q - поток воздуха в камеру объемом V_c).

Рассмотренная электрическая схема (аналог камеры, продуваемой газом) позволяет наглядно интерпретировать протекающие в ней процессы, связанные с характером изменения концентрации натекающих извне в камеру примесей.

В разделе 4.3.2 параграфа 4.3 описан способ контроля и измерения времени памяти стримерной камеры. На стримерной камере спектрометра СКМ-200 исследованы и показаны возможности регулирования времени памяти камеры путем изменения величины потока рабочего газа через нее [11], что является наиболее простым методом. При этом естественное натекание воздуха в камеру снижает время ее памяти до требуемого уровня эксперимента. Проведенный анализ механизма работы стримерной и искровой камер показал, что более удобным и чувствительным устройством для контроля и измерения времени памяти стримерной камеры является бесфильмовая искровая камера [13, 15]. При этом способе время памяти стримерной камеры СКМ-200 3-5 мкс соответствовало времени памяти 8-12 мкс для искровой камеры, запускавшейся от космических лучей отдельной схемой совпадения [15].

В разделе 4.3.3 параграфа 4.3 рассмотрены вопросы, связанные с импульсным питанием стримерной камеры. Приведены результаты оптимизации основных узлов высоковольтного генератора наносекундных импульсов на 700 кВ стримерной камеры спектрометра СКМ-200 [26]. Оптимизация узлов ВВГНИ обеспечила 160 тысяч стабильных и бесперебойных срабатываний генератора со стримерной камерой, что существенно повысило эффективность работы спектрометра в сеансах облучения его на ускорителе. Для сокращения размера стримеров и повышения их яркости требуется существенно увеличить амплитуду импульса до 1-1,5 МВ с длительностью в единицы наносекунд. При таких длительностях импульсный заряд ДФЛ от ГИН становится неэффективным из-за разных значений емкостей ГИН "в ударе" и емкости ДФЛ. Была предложена схема генератора импульсов [30] (рис. 5), позволяющая согласовать весь тракт формирования наносекундного импульса и существенно повысить выходное напряжение. В исходном состоянии накопительные емкости 6 и 7 заряжены от источников постоянного напряжения через резисторы 1, 2 и 3 до напряжения U_1 и U_0 соответственно. При синхронном срабатывании коммутаторов 4 и 5 они разряжаются через трансформатор 9, и на емкости нагрузки 8 выделяется импульс напряжения U_H , максимальная амплитуда которого зависит от соотношений элементов схемы и от отно-

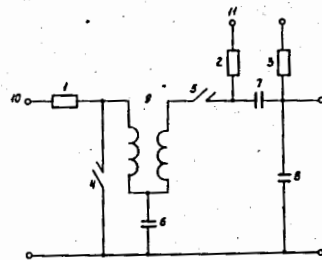


Рис. 5. Принципиальная электрическая схема генератора импульсов.

соотношений элементов схемы и от отно-

шения зарядных напряжений $m=U_0/U_1$, а также от взаимной полярности э.д.с. U_1 и U_0 . В качестве источника напряжения U_0 используется ГИИ^{/23/}.

В параграфе 4.4 рассмотрена электростатическая энергия лавины и пространственное разрешение стримерной камеры. Предложена энергетическая модель нарастания светового излучения и размеров лавины с увеличением газового усиления N в стримерной камере, основанная на пропорциональности светового излучения электростатической энергии, запаасаемой лавиной при ее развитии^{/27/}. Из модели следует, что при неизменном пороге регистрации излучения величина αEN (α – первый коэффициент ионизации Таунсенда, E – напряженность электрического поля) – константа. Полученные в рамках модели результаты не противоречат имеющимся экспериментальным данным и показывают, что размеры лавины в стримерной камере могут не превышать нескольких микрон (рис. 6). Разрешающая способность камеры при этом определяется чувствительностью и разрешающей способностью регистрирующих устройств.

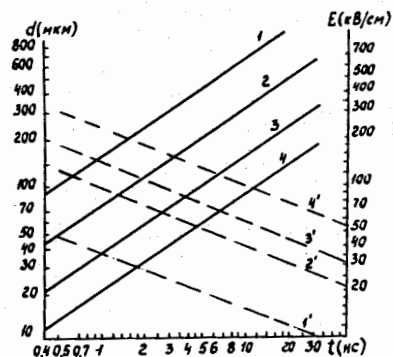


Рис. 6
Расчетные зависимости диаметра стримера (сплошные линии) и напряженности поля (пунктирные) от длительности импульса, полученные при различных значениях давления неона в камере: 1, 1^I–0,1 МПа; 2, 2^I–0,5 МПа; 3, 3^I–1,0 МПа; 4, 4^I–2,5 МПа, и при прямом фотографировании.

В главе 5 приведены некоторые физические результаты исследования ядро-ядерных взаимодействий при импульсе 4,5 ГэВ/нуклон, полученные с помощью спектрометра СКМ-200.

На спектрометре СКМ-200 с двухметровой стримерной камерой со сменными мишенями ⁶Li, ⁷Li, ¹²C, ²⁰Ne (рабочий газ), Al, Si, Cu, Zr, Pb в рабочем объеме был проведен ряд физических экспериментов в пучках ядер ⁴He, ¹²C, ¹⁶O, ²⁰Ne на синхрофазотроне ОИЯИ, в ходе которых измерены сечения неупругих взаимодействий ядер ⁴He, ¹²C с различными ядрами, изучены A_T -зависимости множественного пинообразования в ⁴He- A_T и ¹²C- A_T неупругих взаимодействиях и распределения пионов по множественности в неупругих ¹²C- A_T и центральных ¹²C- A_T , ¹⁶O- A_T взаимодействиях, проведен корреляционный анализ параметров пи-

нообразования, исследованы различные каналы фрагментации налетающего ядра ⁴He, измерено отношение среднего числа отрицательных пионов к среднему числу провзаимодействовавших протонов в неупругих ¹²C-С, Ne, Si, Zr; ²⁰Ne-Ne, Zr и в центральных ¹²C-Ne, Cu, Zr; ¹⁶O-Ne; ²⁰Ne-Ne, Zr столкновениях, получены характеристики Λ - и K_S^0 -частиц, рожденных в неупругих ⁴He-Li и центральных ¹²C-С, Ne, Cu, Zr, Pb; ¹⁶O-Ne, Pb взаимодействиях^{/10,17-22,24,25,28,29,31-33/}.

В последней, шестой главе перечисляются основные результаты, полученные в диссертации.

В приложение вынесен расчет проволочных электродов трековой искровой камеры площадью II м².

Основные результаты работы:

1. Сформулированы основные физические требования к установкам по изучению взаимодействий пионов и нуклонов с ядрами в области энергий 0,1–100 ТэВ и обоснованы достоинства методики трековых искровых и стримерных камер для таких экспериментов. Предложен и создан искровой спектрометр полного поглощения эффективной площадью I м² (ИСПИ-I) для энергий 0,1–1 ТэВ^{/1,3/} и разработана схема комплексной установки площадью 44 м² ("Адрон-44") для диапазона энергий 1–100 ТэВ^{/4,6/}, обладающие высоким пространственным и временным разрешением. Разработана и создана система их фотографирования.

2. Разработаны и исследованы большие ($S=I;6$ и II м² с промежутками 2x20 см) трековые искровые камеры с минимальным количеством вещества на пути регистрируемых частиц (внутренними проволочными электродами), существенно расширяющие возможности трековой искровой камеры как детектора частиц^{/9,16/}, причем камеры II и 6 м² для установки "Адрон-44" и для ее макета были созданы впервые.

3. Предложен и создан регулятор давления двухстороннего действия^{/2/}, который является одним из основных узлов системы откачки и наполнения искровых и стримерных камер с малым натеканием в вакуумном боксе, разработана и исследована система газообеспечения камер большого размера с тонкими стенками, позволяющая поддерживать требуемый уровень чистоты газового наполнения камер^{/8/}.

4. Проведен анализ изменения концентрации воздуха в стримерной камере в процессе продува рабочим газом и показана возможность регулирования времени ее памяти путем изменения величины потока через нее^{/11/}, предложено и построено устройство для контроля и измерения времени памяти стримерной камеры, позволяющее значительно повысить чувствительность и точность процесса измерения, осуществлять непрерывный и оперативный контроль в ходе эксперимента^{/13,15/}.

5. Разработана и создана система наносекундных генераторов импульсных напряжений на 90, 200, 300, 400 и 600 кВ для питания больших трековых искровых и стримерных камер установок ИСПИ-1 и "Адрон-44" /5, 12, 16/, предложена схема генератора импульсов, позволяющая согласовать весь тракт формирования высоковольтного наносекундного импульса и повысить выходное напряжение /23, 30/.

6. Предложена энергетическая модель нарастания светового излучения и размеров лавины с увеличением газового усиления в стримерной камере, основанная на пропорциональности светового излучения электростатической энергии, запасаемой лавиной при ее развитии /27/.

7. При непосредственном участии диссертанта создан магнитный спектрометр СКМ-200 на основе двухметровой стримерной камеры для исследования неупругих взаимодействий релятивистских ядер с ядрами на синхрофазотроне ОИЯИ /14/ и в 1974-1980 гг. с помощью него получено более 300 тыс. стереофотографий взаимодействий ядер ^4He , ^{12}C , ^{16}O , ^{20}Ne с ядрами ^6Li , ^7Li , ^{12}C , ^{20}Ne (рабочий газ), Al, Si, Cu, Zr, Pb при импульсе 4,5 ГэВ/с/нуклон.

8. В результате обработки и анализа части стереофотографий в рамках сотрудничества СКМ-200 получены новые экспериментальные данные по сечениям неупругих взаимодействий ядер гелия и углерода с различными ядрами, по каналам фрагментации ядер гелия, по характеристикам Λ -мезонов, Λ - и \bar{K}_s^0 -частиц, рожденных в неупругих и центральных ядро-ядерных взаимодействиях, которые показывают, что модель независимых нуклон-нуклонных взаимодействий удовлетворительно описывает генерацию частиц в ядро-ядерных соударениях при энергиях 3,6 ГэВ/нуклон /10, 17-22, 24, 25, 28, 29, 31-33/.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Ю.Т. Лукин, Н.Н. Нургожин, Ж.С. Такибаев. Тезисы докладов Всесоюзной конференции по физике космических лучей. Ядерно-физическое направление (Новосибирск, 1967 г.). М., ФИАН СССР, 1967, ч. I. с. 46.
2. А.О. Омаров, А.А. Кызыл-Ходжаев, Н.Н. Нургожин. А.с. СССР №219936 от 25.03.68 г. Бюл. ОИПОТЗ, 1968, №19, с. 114.
3. Н.Н. Нургожин. В кн.: Материалы первой научной конференции молодых ученых АН КазССР. Алма-Ата, "Наука", 1968, с. 51; Thesis papers of 11-th Intern. Conf. on Cosmic Rays, Budapest, 1969, 274.
4. З. Буя, ..., Н.Н. Нургожин и др. Препринт ИЯФ АН КазССР, №100, Алма-Ата, 1969.
5. Н.Н. Нургожин. Докл. на Всесоюз. конф. по физике косм. лучей (Новосибирск, 1967 г.). В сб.: Космические лучи. М., "Наука", 1972, №13, с. 201.

6. С.М. Биттибаев, Н.Н. Нургожин, Ж.С. Такибаев. ВИНТИ, №5479-73, М., 1973; ПТЭ, 1973, №2, с. 245.
7. Е.В. Кожанов, Н.Н. Нургожин, Т.Н. Нуржакипов. ПТЭ, 1973, №1, с. 63.
8. В.М. Бельдин, ..., Н.Н. Нургожин и др. ОИЯИ, БИ-13-7793, Дубна, 1974; ОИЯИ, 13-7878, Дубна, 1974.
9. С.М. Биттибаев, Е.В. Кожанов, Н.Н. Нургожин, Т.Н. Нуржакипов. ПТЭ, 1973, №3, с. 62.
10. М.Х. Аникина, А.М. Балдин, ..., Н.Н. Нургожин и др. ОИЯИ, 1-9280, Дубна, 1975.
11. А.Т. Матюшин, ..., Н.Н. Нургожин. ПТЭ, 1977, №1, с. 35.
12. В.Д. Аксиненко, ..., Н.Н. Нургожин и др. ОИЯИ, БИ-13-10674, Дубна, 1977.
13. В.Д. Володин, ..., Н.Н. Нургожин. А.с. СССР №566221 от 27.03.77 г. Бюл. ОИПОТЗ, 1977, №27, с. 137.
14. А.У. Абдурахимов, М.Х. Аникина, А.М. Балдин, ..., Н.Н. Нургожин и др. ПТЭ, 1978, №5, с. 53.
15. В.Д. Володин, ..., Н.Н. Нургожин. ПТЭ, 1978, №4, с. 54.
16. Н.Н. Нургожин и др. ПТЭ, 1979, №5, с. 63.
17. V.D. Aksinenko, ..., N.N. Nurgozhin et al. JINR, E1-12713, Dubna, 1979.
18. V.D. Aksinenko, ..., N.N. Nurgozhin et al. Nucl. Phys., 1979, A324, p. 266.
19. A.U. Abdurakhimov, ..., N.N. Nurgozhin et al. JINR, E1-12730, Dubna, 1979.
20. V.D. Aksinenko, ..., N.N. Nurgozhin et al. Nucl. Phys., 1980, A348, N4, 5, p. 518.
21. Е. Бартке, ..., Н.Н. Нургожин и др. ЯФ, 1980, т. 32, вып. 3, с. 699.
22. A.U. Abdurakhimov, ..., N.N. Nurgozhin et al. Nucl. Phys., 1981, A362, p. 376.
23. В.Д. Аксиненко, ..., Н.Н. Нургожин. ОИЯИ, 13-82-764, Дубна, 1982.
24. М.Х. Аникина, ..., Н.Н. Нургожин и др. Письма в ЖЭТФ, 1982, т. 36, вып. 7, с. 270.
25. М.Х. Аникина, ..., Н.Н. Нургожин и др. ОИЯИ, Р1-82-333, Дубна, 1982.
26. В.Д. Аксиненко, ..., Н.Н. Нургожин и др. ОИЯИ, 13-83-453, Дубна, 1983.
27. Н.С. Глаголева, ..., Н.Н. Нургожин. ОИЯИ, Р1-83-328, Дубна, 1983.
28. М.Х. Аникина, ..., Н.Н. Нургожин и др. ЯФ, 1983, т. 38, вып. 6, с. 1480; ЯФ, 1984, т. 39, вып. 6, с. 1616.
29. M. Anikina, ..., N. Nurgozhin et al. Phys. Rev. Lett., 1983, v. 50, №25, p. 1971.

30. В.Д.Аксиненко, ..., Н.Н.Нургожин. А.с. СССР №89747, от 14.09.82. Бюл. ОИПОТЗ, 1983, №2, с. 259.
31. М.Аnikina, ..., N.Nurgozhin et al. JINR, E1-84-785, Dubna, 1984.
32. М.Аnikina, ..., N.Nurgozhin et al. Z. Phys. C - Particles and Fields., 1984, 25, p. 1.
33. Н.Н.Нургожин. Докл. на Всесоюзной школе по проблемам физики высоких энергий (Алма-Ата, 1982 г.). В кн.: Взаимодействия адронов и ядер высоких и сверхвысоких энергий. Алма-Ата, "Наука", 1986, с. 106.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 марта 1987 года.