



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1-98-206

На правах рукописи
УДК 539.1.27; 539.172.1

Н-90

НУРГОЖИН
Ногербек Нурмуқанович

**ТРЕКОВЫЕ ИСКРОВЫЕ КАМЕРЫ
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ АДРОНОВ
КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ СВЕРХВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
И ИССЛЕДОВАНИЯ
В ОБЛАСТИ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТРИМЕРНЫХ КАМЕР
В МАГНИТНЫХ СПЕКТРОМЕТРАХ
НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ**

Специальности: 01.04.16 — физика ядра
и элементарных частиц
и 01.04.01 — техника физического эксперимента,
физика приборов, автоматизация физических исследований

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

Дубна 1998

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований и
Физико-техническом институте Министерства науки-
-Академии наук Республики Казахстан.

Научные консультанты:

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

МАЛАХОВ

Александр Иванович

доктор технических наук,
старший научный сотрудник

МАТЮШИН

Александр Тарасович

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
профессор

СЛОВИНСКИЙ

Бронислав Степанович

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

ПИСАРЕВ

Алексей Федорович

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

БОНДАРЕВ

Владимир Константинович

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Московский инженерно-физический институт

Защита диссертации состоится " _____ " 1998 г. в " _____ " часов
на заседании диссертационного совета Д-047.01.02 в Лаборато-
рии высоких энергий Объединенного института ядерных исследо-
ваний по адресу:
141980, г.Дубна Московской области, ЛВЭ ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1998 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор ф.-м.наук, профессор

М.Ф. Лихачев

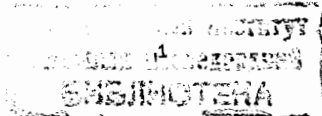
М.Ф. Лихачев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В настоящее время особый интерес при-
обретает детальное изучение элементарных актов взаимодейст-
вия адронов космических лучей с легкими ядрами при наиболее
высоких энергиях, существенно превосходящих энергии, дости-
жимые с помощью ускорителей. Имеющиеся на современном этапе
экспериментальные данные по взаимодействиям пионов с ядрами
были получены в космических лучах до энергии 3,5 ТэВ [1], а
на ускорителях до 525 ГэВ [2]. Действующие и строящиеся кол-
лайдеры пучков пионов высокой энергии дать не могут. В то же
время на высотах гор имеется наряду с нуклонами заметный
поток пионов, причем доля их растет с ростом энергий [3].
Поэтому изучение взаимодействий пионов и нуклонов космичес-
ких лучей в области сверхвысоких энергий с легкими ядрами на
высотах гор остается актуальным.

Исследования взаимодействий релятивистских ядер, нача-
тые на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ, в настоящее время стали од-
ним из бурно развивающихся направлений физики высоких энер-
гий. Все возрастающий интерес, проявляемый к этому направле-
нию, связан с возможностью получения информации о проявлениях
кварк-глюонной структуры ядра [4] и об образовании нового
состояния ядерной материи - кварк-глюонной плазмы [5]. Важной
частью этой информации являются данные по множественному рож-
дению частиц в неупругих и центральных ядро-ядерных взаимо-
действиях.

С развитием и усложнением экспериментов в физике частиц
высоких энергий семейство классических трековых детекторов
(камера Вильсона, диффузионные и пузырьковые камеры) по-
полнилось искровыми и стримерными камерами. При этом ока-
залось, что в космических лучах выгодно использовать тре-
ковые искровые камеры из-за возможности создания камер боль-
ших размеров, а на ускорителях - стримерные камеры в магнит-
ном поле, как управляемые детекторы с 4 π -геометрией. Поэтому
разработка, исследование трековых искровых и стримерных ка-
мер, создание на их основе крупномасштабных комплексных уста-
новок для изучения ядерных взаимодействий пионов и нуклонов
космических лучей при сверхвысоких энергиях на высоте гор, а
также магнитных спектрометров для исследования в области ре-



лятивистской ядерной физики на ускорителе на протяжении многих лет являлось и является актуальным направлением в экспериментальной физике частиц высоких энергий.

Цель работы состояла в:

- разработке и создании комплекса больших трековых искровых камер для крупномасштабных установок, предназначенных для исследования ядерных взаимодействий пионов и нуклонов космических лучей в области сверхвысоких энергий на Тянь-Шаньской горной станции (3340 м над уровнем моря);
- разработке и исследовании больших стримерных камер и создании на их основе магнитных спектрометров для исследования в области релятивистской ядерной физики и в проведении с их помощью экспериментов в пучках синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ;
- исследовании характеристик множественного рождения пионов и образования $АСК^0$ -частиц в неупругих и центральных столкновениях ядер с ядрами, измерении сечений этих взаимодействий при энергии 3,66 А ГэВ и в анализе полученных данных.

Научная новизна и практическая ценность результатов работы.

Впервые разработаны и созданы двух- и трехэлектродные трековые искровые камеры, имеющие большие рабочие площади - до $II м^2$ и зазоры - до 0,5 м. Трехэлектродная камера площадью $II м^2$ с зазором $2 \times 0,2$ м, созданная для крупномасштабной установки, является самой большой камерой в мире с минимальным количеством вещества на пути регистрируемых частиц. Она также может быть использована и для исследования широких атмосферных ливней. На основе двухэлектродных трековых искровых и стримерных камер впервые построен искровой спектрометр полного поглощения площадью $I м^2$ для исследования ядерных взаимодействий адронов при энергии выше 100 ГэВ, который являлся базовым модулем для реализации крупномасштабных установок.

Совместными усилиями ОИЯИ и ФТИ МН-АН РК (ИФВЭ АН Каз ССР) с непосредственным участием автора разработаны, созданы и использованы в экспериментах магнитные спектрометры СКМ-200 и ГИБС, основу которых составляют двухметровые стримерные камеры, позволяющие регистрировать в 4π -геометрии всю сложную многотрековую картину взаимодействий релятивистских ядер с ядрами и, в то же время, отбирать редкие события. СКМ-200 один из первых в мире спектрометров со стримерными камерами, действовавших в пучках релятивистских ядер.

С помощью этих спектрометров получен богатый экспериментальный материал по неупругим и центральным взаимодействиям ядер гелия с Li, C, Ne, Al, Cu, Pb, ядер углерода с Ne, C, Si, Cu, Zr, Pb, ядер кислорода с Ne, Pb, ядер фтора с Mg, ядер неона с Ne, Zr и ядер магния с Mg при энергии 3,66 А ГэВ.

Эти данные позволили провести систематический анализ зависимостей основных характеристик множественного рождения отрицательных пионов и образования $АСК^0$ частиц в неупругих и центральных взаимодействиях, а также зависимостей сечений этих взаимодействий от атомных весов сталкивающихся ядер и от жесткости критериев отбора центральных взаимодействий. Полученные результаты позволили сделать определенные выводы о справедливости тех или иных теоретических моделей, а также о возможности существования общего равновесного источника вторичных частиц. Большинство результатов этих исследований получено и опубликовано впервые. С помощью спектрометра ГИБС также впервые получены достоверные данные по релятивистским гиперядрам и изучены реакции перезарядки релятивистских ядер на ядрах.

Полученные экспериментальные данные могут быть использованы как при планировании новых экспериментов на нуклотроне и УНК-600, так и в смежных областях науки (в физике космических лучей, в радиационной физике, биомедицинских исследованиях и т.д.). Ряд разработок выполнен на уровне изобретений.

Апробация работы и публикации.

Основные результаты и выводы диссертационной работы докладывались и обсуждались на Всесоюзных конференциях по космическим лучам в Алма-Ате (1966 г.), в Новосибирске (1967 г.), в Ташкенте (1968 г.), на Международном совещании по искровым камерам в Дубне (1966 г.), на Международном симпозиуме по наносекундной ядерной электронике в Дубне (1967 г.), на Всесоюзной школе по неупругим взаимодействиям адронов и ядер высоких энергий в Алма-Ате (1982 г.), на научных семинарах ИЯФ и ИФВЭ НАН РК (АН-Каз ССР), ФТИ МН-АН РК в Алматы, ФИАН, на кафедре экспериментальной ядерной физики МИФИ в Москве, ЛВЭ и ЛВТА ОИЯИ в Дубне, на совещаниях международного сотрудничества по исследованиям на спектрометрах СКМ-200 и ГИБС в Алма-

-Ате (1982, 1989 гг.) и в Дубне, а также представлялись на международные конференции в Дубне (1964 г.), Будапеште (1969, 1977 гг.), в Ванкувере (1979 г.), в Беркли (1980 г.), в Версале (1981 г.), в Мичигане (1982 г.), в Брайтоне (1982 г.), в Балотонфюреде (1983 г.), в Аделаиде, Австралия (1990 г.).

В основе диссертации - 58 опубликованных работ, в том числе 4 изобретения, список которых с индексом А приводится в конце автореферата.

Структура диссертации.

Диссертация состоит из введения, трех разделов и заключения, списка публикаций и использованной литературы. Каждый из разделов, в свою очередь, состоит из введения, двух глав и заключения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, сформулирована цель работы, а также кратко изложено содержание всех разделов и глав.

Раздел I посвящен разработке, исследованию и созданию комплексов трековых искровых камер для крупномасштабных установок, предназначенных для изучения ядерных взаимодействий пионов и нуклонов космических лучей в области сверхвысоких энергий на высокогорной станции. Во введении раздела кратко рассмотрены методы исследования взаимодействий частиц космических лучей высоких и сверхвысоких энергий и сформулированы основные требования, предъявляемые к установкам.

Первая глава раздела I посвящена разработке и созданию камер искрового спектрометра площадью 9 м^2 , который предназначался для изучения ядерных взаимодействий адронов космических лучей в области энергии $E_0 \geq 1 \text{ ТэВ}$ (1А, 2А).

В §I.I.1 дается краткое описание схемы этого спектрометра, которая содержит 4- ряда трековых искровых камер, мишень и сцинтилляционный калориметр.

В §I.I.2 сформулированы основные требования, предъявляемые к камерам спектрометра, кратко описаны разработанные и созданные в свое время для выбора оптимального варианта разные типы камер. Были созданы трековые искровые и разрядные (с изолированными от рабочего газа электродами) камеры разных размеров из различных материалов (3А, 4А), а также одноетро-

вая трехэлектродная стримерная камера с зазором $2 \times 20 \text{ см}$ (5А). Исследования этих камер показали, что наиболее оптимальным вариантом для спектрометра в то время являлась трековая искровая камера площадью 1 м^2 с зазором $0,2 \text{ м}$ с корпусом из стекла типа ПС со склеенными электродами.

Для газообеспечения таких камер была разработана и создана специальная система с оригинальным регулятором давления двухстороннего действия для поддержания равного давления при откачке и наполнении двух различных по форме и размерам емкостей разнородными газами (6А).

В §I.I.3 сформулированы основные требования, предъявляемые к параметрам высоковольтных импульсов, питающих трековые искровые и стримерные камеры, описаны разработанные и созданные разные типы генераторов наносекундных импульсов также с целью выбора оптимального варианта. Генераторы выполнены по разным схемам с различными параметрами выходных импульсов (3А, 5А, 7А, 8А): амплитуда от 90 до 600 кВ, фронт нарастания от 20 до 3 нс, длительность до 10 нс, задержка выходного импульса относительно запускающего до 36 нс. С помощью этих генераторов проведены исследования характеристик созданных больших трековых искровых, разрядных и стримерных камер, а также осуществлено питание камер искрового спектрометра полного поглощения площадью 1 м^2 .

В §I.I.4 кратко описаны разработанные и реализованные наносекундные схемы управления, позволяющие получить усиленный импульс с временем задержки $\leq 46 \text{ нс}$ относительно входных сигналов со счетчиков для запуска высоковольтного генератора с помощью вспомогательного генератора с тиратроном (7А, 9А). Здесь также описаны разработанные и созданные для питания тиратронных генераторов (ТГИ-325/16, 400/16) малогабаритные высокочастотные источники высоких напряжений на 18 и 30 кВ с токами на нагрузке 300 и 100 мкА соответственно (10А).

В §I.I.5 приведены результаты исследования созданных трековых искровых, разрядных и стримерных камер. Здесь в первую очередь были исследованы трековые искровые камеры, наполненные аргоном при давлении ниже атмосферного. Такое наполнение представляло в свое время определенный интерес, особенно для камер большого объема и большого их числа, поскольку ар-

гон самый дешевый и доступный инертный газ. Показано, что регистрация ливней в аргоне ("особой чистоты") наблюдается, начиная с давлений ~ 40 мм рт.ст. (ЗА, ПГА). Искровые разряды, как и в камере с неоном, следуют по траектории частиц до углов наклона $\theta \leq 40^\circ$. Ливневая эффективность камеры при среднем числе частиц в ливне 7 высокая и остается постоянной до давления 200 мм рт.ст. Однако треки диффузные и состоят из двух и более тонких искровых каналов, имеющих вид сплетенных извивающихся жгутиков, что особенно заметно при низком давлении. При увеличении давления треки становятся более четкими, однако качество треков остается относительно низким.

С другой стороны экспериментально показано, что разрядные камеры в виде стеклянных достаточно больших размеров (до 1 м^2) коробок с неоновым наполнением обладают 100% ливневой эффективностью и хорошим качеством треков (4А). При соответствующей напряженности поля камера становится изотропной (4А, I2А), т.е. способной регистрировать одновременно как стримерные, так и искровые следы.

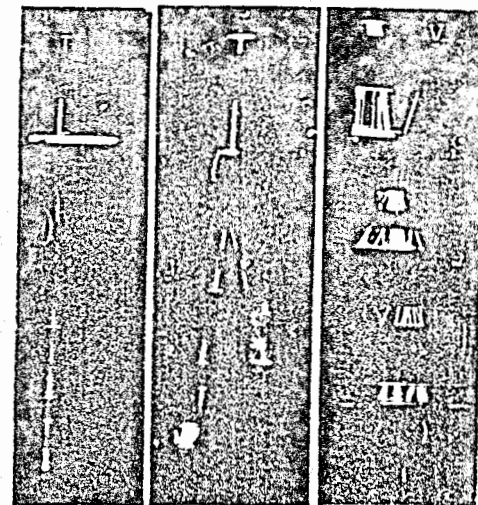
На основе исследования однометровой трехэлектродной стримерной камеры с зазором 2×20 см из стеклянных коробок (5А), созданной автором одновременно с двухметровой камерой SLAC [6], показана возможность построения для экспериментов в космических лучах "многоэлектродной" стримерной камеры (I3А, I4А). Подобная схема построения стримерной камеры позднее реализована в установке по поиску кварков в космических лучах [7].

В §I.1.6 кратко описывается впервые созданный (1967 г.) на основе вышеупомянутых камер искровой спектрометр полного поглощения площадью 1 м^2 для изучения ядерных взаимодействий адронов космических лучей в области энергии $E_0 > 0,1 \text{ ТэВ}$ (I3А-I5А). На рис.1 приведены общий вид этого спектрометра в процессе испытания (а) и фотографии следов мюонов высоких энергий и электронно-ядерного ливня, зарегистрированные в спектрометре (б). Этот спектрометр, обладавший высоким пространственным и временным разрешениями, являлся базовым модулем для реализации установки площадью 9 м^2 .

Вторая глава раздела I посвящена разработке и созданию больших трековых искровых камер для международного проекта



а



б

Рис.1. а - общий вид искрового спектрометра полного поглощения (1967г.) б - фотографии следов мюонов высоких энергий и электронно-ядерного ливня.

СИФВЭ АН Каз ССР, ФИАН СССР, Университет г.Лодзь и ИЯИ г.Краков РП) комплексной установки площадью 44 м^2 (Адрон-44) (I6А). Установка была предназначена для исследования ядерных взаимодействий пионов и нуклонов космических лучей при энергиях выше 10 ТэВ .

В §I.2.1 кратко описана схема этой комплексной установки, которая содержит 7 рядов трековых искровых и 3 ряда рентгеноэмульсионных камер, мишень и ионизационный калориметр с ионизационными камерами.

В §I.2.2 рассмотрен выбор оптимального варианта трековых искровых камер установки.

Здесь диссертантом предложено каждый ряд искровых камер площадью 44 м^2 как основной, так и первоочередной с из трех ря-

дов) установки набирать из 4-х отдельных специально разработанных больших трехэлектродных камер площадью $4,00 \times 2,75 \text{ м}^2$ с зазором $2 \times 0,2 \text{ м}$ (I7A, I8A). При этом основная установка будет иметь 28 таких камер, а первоочередная - 12 вместо предлагавшихся отдельными соавторами проекта 144 камер площадью 1 м^2 каждая.

Для запуска камер установки автором было предложено использовать три ряда сцинтилляционных счетчиков площадью 44 м^2 каждый, расположенных в теле ионизационного калориметра на разных уровнях и работающих на совпадении с заданным энергетическим порогом, адекватным порогу запуска калориметра (I8A).

В §I.2.3 представлены результаты исследований, проведенных в процессе отработки конструкции предложенной большой камеры установки, выбора легких и дешевых материалов для ее изготовления. Здесь были испытаны экспериментальные камеры с электродами из металлизированной лавсановой пленки. Срок службы этих камер оказался ограниченным из-за разрушения металлического покрытия лавсановой пленки электродов под действием искрового разряда (I9A, 20A). Затем был создан и проверен в рабочем режиме макет большой камеры с внутренними проволочными электродами, корпусом из пенополиуретана (ППУ-305), герметизирующими верхними и нижними стенками из лавсановой пленки и со стеклянным окном для фотографирования (20A).

Результаты исследований показали, что такая камера отвечает поставленным требованиям и может служить прототипом трехэлектродной камеры площадью 11 м^2 .

В §I.2.4 описана трехэлектродная трековая искровая камера площадью 11 м^2 , созданная на высокогорной станции для установки Адрон-44 и там же исследованная (8A). При создании камеры разработана технология изготовления проволочных электродов большой площади - $2,75 \times 4 \text{ м}^2$. Для электрода использована проволока диаметром $0,1 \text{ мм}$ из бериллиевой бронзы. Проволоки расположены на рамах электродов с шагом 2 мм . Три стенки корпуса камеры выполнены из блоков ППУ-305. Передняя стенка корпуса камеры, через которую осуществляется фотографирование следов частиц, выполнена из лавсановой пленки толщиной 175 мкм , верхняя и нижняя - из пленки толщиной 100 мкм . Результаты исследований камеры с неоновым наполнением при

различных напряженностях электрического поля (3; 6,6; 8 кВ/см) и задержки импульса $\sim 0,3 \text{ мкс}$, относительно прохождения ливня через нее, показали, что камера характеризуется 100% эффективностью регистрации сотни и тысячи одновременно проходящих через нее частиц, высокой разрешающей способностью и точностью следования искры по следу частиц, отсутствием корреляции в срабатывании промежутков, лучшей однородностью яркости искровых треков частиц ливня, чем в камерах со сплошными электродами (рис.2). Камера обладает высокой надежностью в работе

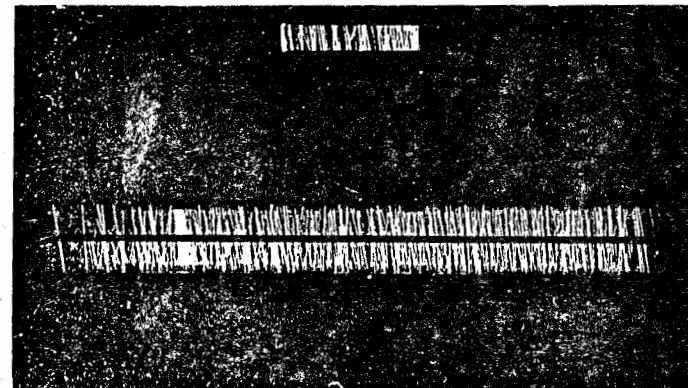


Рис.2 Фотография широкого атмосферного ливня, зарегистрированного в трековых искровых камерах площадью I и II м^2 .

в течение длительного времени в условиях высокогорья. Эта камера продолжает оставаться самой большой цельной камерой в мире с минимальным количеством вещества на пути регистрируемых частиц и в настоящее время.

В §I.2.5 описана разработанная совместно с ОИЯИ система газообеспечения больших трековых искровых и стримерных камер (21A, 22A). Основной схемой этой системы является непрерывный продув камеры рабочим газом из большой емкости со сбором и регенерацией его под давлением, что значительно повышает эффективность очистки и обеспечивает постоянство состава газа в камерах. Такая система использована в рабочих сеансах на синхрофазотроне спектрометра СКМ-200 (23A).

В §I.2.6 описана система высоковольтного импульсного пи-

тания трековых искровых камер установки Адрон-44, включающая специально разработанные совместно с ОИЯИ генераторы с двойной формирующей линией с параметрами импульсов /24А/: амплитуда 300 кВ, фронт нарастания 3-5 нс, длительность 20 нс, время задержки ≤ 500 нс относительно запускающего импульса. Один такой генератор рассчитан на работу с 14 камерами установки. Приведена схема питания одновременно 6 камер 1/2 части первоочередной установки. Такой генератор с более высокой амплитудой выходных импульсов успешно использован для питания стримерной камеры спектрометра ГИБС ЛВЭ ОИЯИ /25А/.

В §1.2.7 кратко описана специально разработанная /17А/ и созданная в ЛИТМО система фотографирования камер установки Адрон-44, состоящая из 4-х стереофотограмметрических установок (СФУ). Каждая СФУ предназначена для фотографирования камер 1/4 части установки через одну их стенку и состоит из 3-х фотокамер с взаимной ориентацией, что позволяет восстановить с высокой точностью пространственную картину регистрируемого ливня с большим числом частиц.

Раздел II посвящен описанию двухметровых стримерных камер магнитных спектрометров СКМ-200 /23А/ и ГИБС /26А/, разработанных и созданных совместными усилиями ОИЯИ и ФТИ МН-АН РК (ИФВЭ АН Каз ССР). Во введении раздела указываются преимущества магнитных спектрометров со стримерными камерами по сравнению с установками других типов.

Первая глава раздела II посвящена описанию спектрометра СКМ-200 /23А/, результатам разработок и исследований отдельных его узлов.

В §2.1.1 приведены основные характеристики спектрометра. Основу спектрометра составляет стримерная камера площадью $200 \times 100 \text{ см}^2$ с зазором $2 \times 30 \text{ см}$, помещенная в магнитное поле 0,8 Тл (рис.3). Газообеспечение камеры производилось с помощью системы /21А/ (см. §1.2.5). В рабочем режиме камеры с неоновым наполнением длительность высоковольтного импульса - 10,5 нс, амплитуда - 500 кВ, величина протока рабочего газа через нее в пределах 5-10 л в зависимости от требуемого времени ее памяти (5-10 мкс). В зависимости от цели эксперимента запуск камеры спектрометра производился либо триггером выбывания налетающего ядра из пучка на участке, находящемся внут-

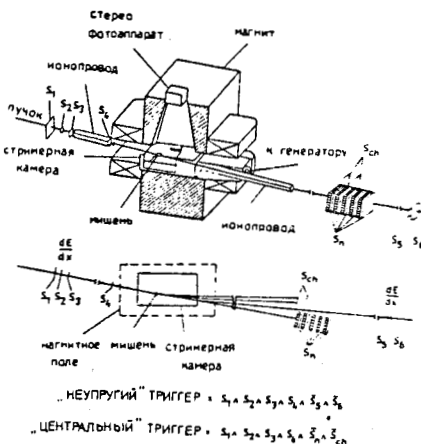


Рис.3
Схема спектрометра СКМ-200 и логика триггера ($S_1 - S_6$ - сцинтилляционные счетчики; S_{Ch} - счетчики заряженных фрагментов и S_n - нейтральных спектаторов налетающего ядра).

ри объема камеры - наблюдение всех неупругих взаимодействий, либо триггером центральных взаимодействий - наблюдение взаимодействий без заряженных фрагментов и нейтральных спектаторов ядра снаряда ($P/z \geq 3$ ГэВ/с) с углами вылета $\theta < \theta_{Ch} \approx 2^\circ, 3^\circ$ и $\theta < \theta_n \approx 2^\circ, 3^\circ$ соответственно /27А/. Триггер Т(0,0) соответствует неупругим взаимодействиям, а Т(2,0), Т(3,0), Т(2,2) и Т(3,3) соответствует центральным взаимодействиям (рис.4). Ти-

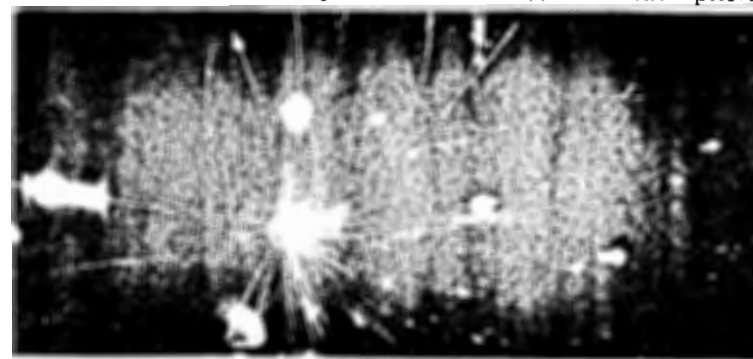


Рис.4 Фотография центрального взаимодействия ядра ^{16}O с импульсом 72 ГэВ/с с ядром Рь.

пичные средние величины ошибок в измерениях импульсов частиц, плоского и глубинного углов треков для π^- -мезонов: $\Delta P/P \approx 0,03 - 0,04$; $\Delta \beta \approx 5$ мрад, $\Delta \alpha \approx 15$ мрад при $P_\pi \sim 0,7$ ГэВ/с и $\bar{l} \sim 0,3 - 0,5 \text{ м}$. С помощью этого спектрометра при непосредственном участии

диссертанта получен большой экспериментальный материал и проведены исследования неупругих и центральных взаимодействий релятивистских ядер с ядрами.

В §2.1.2 приведены результаты оптимизации основных узлов высоковольтного генератора наносекундных импульсов стримерной камеры спектрометра СКМ-200 (28А, 29А), позволившие увеличить его срок службы. Описана предложенная оригинальная схема генератора импульсов (30А), позволяющая согласовать весь тракт формирования наносекундного импульса и повысить выходное напряжение (31А).

В §2.1.3 проведен анализ динамики продува газом стримерной камеры и предложен ее электрический аналог в виде RC-цепи (32А). С помощью этого аналога можно в наглядном виде интерпретировать протекающие в камере процессы, связанные с изменением концентрации натекающего в нее воздуха.

В §2.1.4 описан новый метод контроля и измерения времени памяти стримерной камеры по характеристике выходящего из нее газа с помощью вспомогательной бесфильмовой искровой камеры (33А, 34А), который реализован в спектрометрах СКМ-200 и ГИБС. Приведены результаты исследования этого метода (35А), основанного на общности механизма газового разряда в искровых и стримерных камерах. На рис.5 для примера представлены экспе-

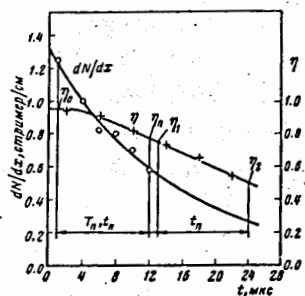


Рис.5 Зависимость от времени задержки высоковольтного импульса эффективности η искровой камеры и плотности стримеров dN/dx в стримерной камере для релятивистских однозарядных частиц.

риментальные зависимости плотности стримеров (dN/dx) на треке однозарядной релятивистской частицы в двухметровой стримерной

камере и эффективности η искровой камеры от задержки в подаче высоковольтных импульсов на их электроды, полученные в рабочем режиме камеры. Видно, что время памяти стримерной камеры $T_{\text{п}}$, определяемое по снижению вдвое плотности стримеров без учета аппаратной задержки (1 мкс), а также время памяти $t_{\text{п}}$, найденное с помощью вспомогательной искровой камеры при условии $\eta_2 = 1 - (1 - \eta_1)^{1/2}$, равны 11 мкс. Причем это же значение может быть определено из любого участка кривой η . Разработанный метод позволяет достаточно оперативно (за 20-30 мин.) осуществлять измерение времени жизни свободных электронов в выходящем из стримерной камеры газе без затрат времени ускорителя с точностью не хуже 10% и контролировать непрерывно в ходе эксперимента.

При исследовании времени памяти стримерных камер с помощью вспомогательных искровых камер выявлены некоторые специфические особенности характеристик последних (36А). Обсуждаются возможности их использования в практике физических измерений.

Вторая глава раздела II посвящена описанию двухметровой стримерной камеры магнитного спектрометра ГИБС (26А) (рис.6) и содержит результаты исследований структуры и динамики развития стримерных следов.

Спектрометр ГИБС создан на базе установки СКМ-200 и функционирует в настоящее время на синхрофазотроне. При этом кроме разработки и создания новой системы высоковольтного импульсного питания были реконструированы сама камера и электромагнит ИСП-4Г, в зазоре которого она размещалась. Реконструкция магнита была связана с усилением изоляции обмоток для увеличения его питающего тока, а также с установкой прочного герметичного конуса в шахте ярма и полжусного наконечника, обеспечивающего совместно с достаточно прочным и герметичным кожухом камеры возможность ее работы в диапазоне давлений 0-0,5 МПа (37А). С помощью этого спектрометра при непосредственном участии автора были продолжены начатые на установке СКМ-200 исследования центральных ядро-ядерных взаимодействий, впервые получены достоверные данные по релятивистским гиперядрам и изучены реакции перезарядки релятивистских ядер на ядрах.

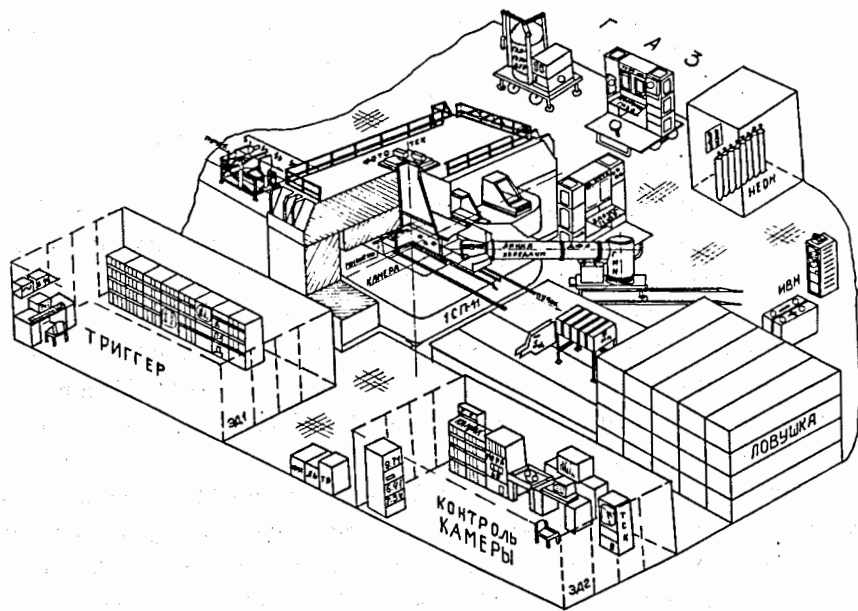


Рис.6 Общая схема спектрометра ГИБС.

В §2.2.2 кратко описана реконструированная двухметровая стримерная камера /38А/ спектрометра ГИБС. Реконструкция камеры проводилась на основе требования, обеспечивающих улучшение ее точностных и эксплуатационных характеристик с целью создания прецизионной стримерной камеры в перспективе с регулируемым давлением рабочего газа для работы на ускорительном комплексе синхрофазотрон-нуклотрон. Она выполнена из небольшого набора стандартизованных элементов, допускающих возможность сборки ее в трех или четырехэлектродном вариантех.

В §2.2.3 описана система высоковольтного импульсного питания стримерной камеры спектрометра ГИБС /39А/, основным узлом которой являются генераторы наносекундных импульсов /24А/ с большим ресурсом работы (не менее 10^5 срабатываний) и с параметрами, соответствующими ее рабочему режиму: амплитуда - 500 кВ, стабильность амплитуды $\sim \pm 1\%$, длительность - 12 нс, фронт ~ 5 нс, задержка - ≤ 500 нс. Система создана на основе опыта многолетней эксплуатации и модернизации высоковольтного генератора наносекундных импульсов установки СКМ-200 и надеж-

но работает на ускорителе совместно со стримерной камерой спектрометра ГИБС.

В §2.2.4 приведены результаты исследований структуры и динамики развития стримерных следов. На основании анализа экспериментальных данных и результатов, известных из литературы предложена "энергетическая" модель нарастания светового излучения и размеров лавины с увеличением газового усиления N , основанная на пропорциональности светового излучения электростатической энергии, запасаемой лавиной при ее развитии /40А/. 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, полученным при достаточно широком изменении условий работы стримерной камеры, и показывают, что размеры лавины в ней при определенных условиях могут не превышать нескольких микрон. Разрешающая способность камеры при этом определяется чувствительностью и разрешающей способностью регистрирующих устройств. В рамках модели находит объяснение также наблюдаемая структура следа в стримерной камере. Полученное нами при обработке снимков со стримерных камер спектрометров СКМ-200 и ГИБС интегральное распределение куба диаметров стримеров /41А/ свидетельствует, что большой разброс диаметров стримеров является неизбежным эффектом, который обусловлен вкладом кластеров (сгустков из нескольких электронов), образованных в процессе вторичной ионизации δ -электронами (первичными электронами с энергией, достаточной для образования хотя бы еще одной электронной пары). Практически все стримерные камеры, используемые в экспериментах, имеют эффективный порог регистрации по кратности кластера (по числу электронов), значительно превышающий единицу. При этом плотность стримеров на следе однозначно определяется эффективным энергетическим порогом регистрации кластеров.

В §2.2.5 на основании анализа литературных и полученных на установке СКМ-200 данных подтверждено, что импульсное разрешение магнитного стримерного спектрометра определяется в основном, масштабом фотографирования и "зернистостью" ("шумом") фотопленки.

Благодаря меньшему вкладу многократного кулоновского рассеяния, магнитный стримерный спектрометр обладает лучшим импульсным разрешением, чем пузырьковая камера в магнитном поле в области импульсов ≤ 10 ГэВ/с. Использование гелия вместо неона может существенно улучшить импульсное разрешение стримерной камеры /42А/.

Возможность размещения мишеней, включая и металлические, внутри объема стримерной камеры, а также способность ее регистрировать вторичные заряженные частицы в полном телесном угле (4 π -геометрия) с высоким временным разрешением делают магнитный стримерный спектрометр исключительно эффективным детектором для исследований широкого спектра ядерных взаимодействий, в том числе и очень редких.

Раздел III посвящен исследованию неупругих и центральных ядро-ядерных взаимодействий при энергии 3,66 А ГэВ.

Во введении раздела подчеркнута актуальность этих исследований.

В первой главе раздела III рассмотрены результаты измерений сечений неупругих и центральных ядро-ядерных взаимодействий, исследований характеристик множественного рождения отрицательных пионов. Получены данные по средним числам провазимодействовавших протонов ядер и нуклонов ядра мишени, а также определены размеры и формы области испускания π^- -мезонов в этих взаимодействиях. Проведено сравнение полученных результатов с предсказаниями различных теоретических моделей и экспериментальными данными других работ.

В §3.1.1 приведена общая характеристика экспериментальных данных, полученных путем просмотра, измерения и анализа событий, зарегистрированных в стримерных камерах спектрометров в пучках релятивистских ядер A_P с ^4He , ^{12}C , ^{16}O , ^{19}F , ^{20}Ne и ^{24}Mg с использованием ядерно-чистых мишеней A_T с ^6Li , ^7Li , С, Ne, Mg, Al, Si, Cu, Zr и Pb. Просмотр и измерения событий проводились на просмотровых столах и на полуавтоматах в Дубне, Алма-Ате и в других сотрудничающих группах. Данные о сечениях ядро-ядерных взаимодействий и о множественностях образования частиц получены на общей статистике $\sim 6,5 \cdot 10^4$ событий. Кинематические характеристики π^- -мезонов исследовались по результатам измерений $\sim 2,2 \cdot 10^4$ пионов.

В §3.1.2 рассмотрены результаты измерений сечений неупругих и центральных взаимодействий ядер с ядрами на спектрометре СКМ-200 /27А, 43А-46А/.

Сечения этих взаимодействий определялись в два этапа. Для этого в процессе облучения стримерной камеры непрерывно измерялось отношение числа запусков (триггеров) к числу ядер, падающих на мишень, затем при просмотре снимков определялось отношение числа фотографий с взаимодействиями в мишени (или в газе) к общему числу фотографий. При этом были подробно проанализированы возможные систематические ошибки, связанные с каждым этапом определения сечений.

Были измерены сечения неупругих взаимодействий (σ_{in}) и сечения рождения отрицательных пионов (σ_{neg}) во взаимодействиях ядер ^{12}C с ядрами С, Ne, Si, Cu и Zr, а также σ_{neg} в столкновениях ядер ^4He с ядрами Li, С, Ne, Al, Cu и Pb. Точность измерения сечений с учетом систематических ошибок - 5-7%. Показано, что сечения неупругих $^4\text{He}+\text{Li}$ и $^{12}\text{C}+\text{A}_T$ взаимодействий вместе с данными других работ хорошо описываются формулой, приведенной в [8]:

$$\sigma_{in} = 10\pi R_0^2 [A_P^{1/3} + A_T^{1/3} - \beta(A_P^{1/3} + A_T^{1/3})]^2$$

с параметрами $R_0 = 1,30$ Фм и $\beta = 0,93$. Полученные экспериментальные данные по сечениям неупругих взаимодействий удовлетворительно согласуются с предсказаниями некоторых теоретических моделей, основанных на теории многократных рассеяний Глаубера.

Сечения центральных взаимодействий ядер ^4He с Li, С, Al, Cu, Pb, ядер ^{12}C с С, Ne, Cu, Zr, Pb, ядер ^{16}O с Ne, Pb и ядер Ne с Ne, Zr (σ_{II}) измерены при нескольких критериях отбора, различающихся мерой жесткости - углами запрета на вылет заряженных и нейтральных релятивистских фрагментов ядра снаряда /27А/. При этом достаточно трудной проблемой явилось общее описание полученного набора сечений σ_{II} , значения которых, по-видимому, существенно зависят не только от геометрических факторов, но и от эффектов динамического характера, таких как прозрачность ядерного вещества, перерассеяние, взаимодействие вторичных частиц и др.

В §3.1.3 проводится анализ распределений по множественности отрицательных пионов, рожденных в неупругих и центра-

льных взаимодействий $A_P + A_T$ /26A, 27A, 45A-48A/. При этом определялись средняя множественность $\langle n_- \rangle$, дисперсия распределения $D_-^2 = \langle n_-^2 \rangle - \langle n_- \rangle^2$ и коэффициент его асимметрии. Основные закономерности, выявленные при этом, иллюстрирует рис.7. Если для неупругих взаимодействий ${}^4\text{He} + A_T$ эти распределения достаточно удовлетворительно описываются "универсальным" для

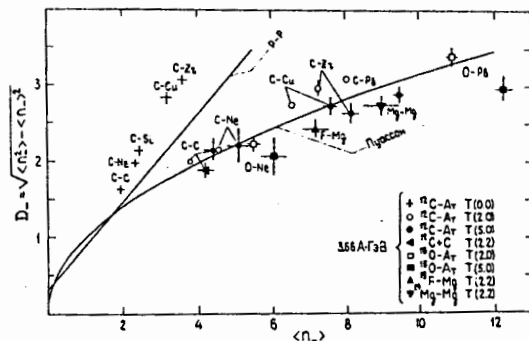


Рис.7 Зависимость D_- от $\langle n_- \rangle$ в р-р взаимодействиях (прямая), неупругих и центральных столкновениях ядер с ядрами. Сплошная кривая отвечает закону Пуассона.

рр-взаимодействий соотношением Вроблевского ($D_- \sim \langle n_- \rangle$) [9], то для неупругих ${}^{12}\text{C} + A_T$ столкновений (крестики) они оказываются шире. Однако для центральных взаимодействий обнаружено резкое сужение этих распределений, которые довольно близки к зависимости $D_-^2 = \langle n_- \rangle$, соответствующей распределению Пуассона. Этот факт впервые нами был установлен на основе данных, полученных с помощью спектрометра СКМ-200 и пропановой камеры ЛВЭ ОИЯИ /48A/. Эти наблюдения и сравнения зависимостей $\langle n_- \rangle$ от A_T для неупругих ${}^4\text{He}$, ${}^{12}\text{C} + A_T$ взаимодействий с предсказаниями некоторых теоретических моделей кажутся совместимыми с описаниями ядро-ядерных столкновений на основе независимых нуклон-нуклонных взаимодействий /45A/, во всяком случае при нашей энергии и достигнутой точности эксперимента.

В §3.1.4 излагается процедура получения данных по средним числам провзаимодействовавших протонов ядер $\langle Q \rangle$ и нуклонов ядра-мишени $\langle \nu_T \rangle$ в неупругих и центральных взаимодействиях $A_P + A_T$ /49A, 50A/. При этом кроме $\langle Q \rangle$ и $\langle \nu_T \rangle$, которые получены с точностью 5-20%, определены среднее число провзаимодействовавших протонов ядра-снаряда $\langle Q_P \rangle$ и отношения $R_- = \langle n_- \rangle / \langle Q \rangle$, где $\langle n_- \rangle$ - средняя множественность отрицательных

пионов. Данные по центральным взаимодействиям получены при нескольких критериях отбора, как и сечения центральных столкновений ядер с ядрами (см. §3.1.2). Показано, что величина R_- остается примерно постоянной в исследованном диапазоне атомных весов A_P (${}^{12}\text{C}$, ${}^{16}\text{O}$, ${}^{20}\text{Ne}$), A_T (C, Ne, Cu, Si, Zr) взаимодействующих ядер, одинакова в неупругих и центральных столкновениях и не зависит от критериев отбора центральных столкновений /49A/. Этот результат представляет интерес, потому что для изученных реакций $\langle n_- \rangle$ меняется почти на порядок. Полученные экспериментальные данные дали возможность в свое время показать, что линейный рост величины R_- с кинетической энергией E на нуклон ядра-снаряда, обнаруженный в интервале энергий бэвалака $0,5 \leq E \leq 2,1$ ГэВ, продолжается вплоть до 3,6 ГэВ.

В §3.1.5 на основе анализа интерференционных корреляции тождественных пионов, образовавшихся в неупругих и центральных взаимодействиях ядер ${}^4\text{He}$, ${}^{12}\text{C}$, ${}^{16}\text{O}$ с ядрами Li, C, Ne, Cu при энергии 3,66 А ГэВ, определены размеры области испускания вторичных π^- -мезонов /51A/. Полученные величины не обнаружили выходящие за пределы ошибок различия по сравнению с соответствующими результатами других экспериментов с релятивистскими ядрами меньших энергий. Для центральных ${}^{12}\text{C} + \text{Cu}$ столкновений определены поперечные и продольные размеры области испускания π^- -мезонов в разных интервалах быстрот /52A/, как и в работе [10]. Результаты указывают на несферическую (вытянутую) форму области испускания пионов в центральной части их быстротного распределения.

Вторая глава раздела III посвящена исследованию образования ΛSK^0 -частиц в неупругих и центральных ядро-ядерных взаимодействиях.

В §3.2.1 представлены результаты исследований рождения ΛSK^0 - частиц в неупругих взаимодействиях ${}^4\text{He} + \text{Li}$ и в центральных столкновениях ${}^{12}\text{C} + A_T$ (C, Ne, Cu, Zr, Pb) и ${}^{16}\text{O} + A_T$ (Ne, Pb) при импульсе 4,5 А ГэВ/с /53A-57A/. Данные получены на спектрометре СКМ-200. Общая статистика зарегистрированных странных частиц в этих взаимодействиях: 418 Λ^- и 101 K_s^0 , из которых 82 Λ^- и 17 K_s^0 из неупругих взаимодействий, 336 Λ^- и 84 K_s^0 из центральных столкновений. Основные поправки, связанные с потерями V^0 -событий вблизи мишени, на расстоянии соответ-

входящему $\tau > 5,5 \tau_0$ и за пределами рабочего объема камеры, вводились с учетом соответствующих статических весов. Анализировались и учитывались и другие поправки. Полученные 336 Λ -событий из центральных взаимодействий подразделялись на три группы в зависимости от A_T : (ССС, СНе, ОНе), (СССu, СZr), (СРЬ, ОРЬ). При анализе данных были получены следующие результаты:

- найдено, что отношения выходов Λ и K^0 -частиц к выходу отрицательных пионов для всех $A_P + A_T$ пар центрально сталкивающихся ядер и для неупругих ${}^4\text{He} + \text{Li}$ взаимодействий одинаково:
 $R_{\Lambda} = \langle n_{\Lambda} \rangle / \langle n_{\pi^-} \rangle = (1,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-2}$ и $R_{K^0} = \langle n_{K^0} \rangle / \langle n_{\pi^-} \rangle = (1,5 \pm 0,3) \cdot 10^{-2}$;

- для центральных взаимодействий не было обнаружено корреляции множественности отрицательных пионов с рождением Λ гиперонов $\langle n_{\Lambda} \rangle / \langle n_{\pi^-} \rangle^{\text{уср. соб.}} \approx I$, в то время как для неупругих взаимодействий $\langle n_{\Lambda} \rangle / \langle n_{\pi^-} \rangle^{\text{уср. соб.}} > I$;

- получено распределение поперечного импульса для Λ -частиц. Обнаружено, что среднее значение величины P_T в пределах ошибок одинаково для всех $A_P + A_T$ пар центрально сталкивающихся ядер и для неупругих ${}^4\text{He} + \text{Li}$ взаимодействий. Относительный избыток Λ -частиц с $P_T > I$ ГэВ/с больше в центральных взаимодействиях (9±2)%, чем в неупругих ${}^4\text{He} + \text{Li}$ (1,5±1,5)%;

- показано, что кинетическая энергия Λ -частиц в с.ц.м. сталкивающихся нуклонов может быть представлена в форме: $d^3N/d^3P \sim \exp(-T^*/T_0)$ с $T_0 \approx 150$ МэВ как для неупругих ${}^4\text{He} + \text{Li}$ взаимодействий, так и для различных центральных столкновений. В первом случае распределение заканчивается при $T^* \approx 600$ МэВ, в то время как центральные взаимодействия содержат (5±2)% событий с $T^* > 600$ МэВ;

- средние скорости $\langle Y_{\text{лаб}} \rangle$ Λ -частиц убывают с ростом A_T . Форма Y распределения изменяется от плоской для неупругих ${}^4\text{He} + \text{Li}$ взаимодействий, до имеющих пик в области $Y_P/2$ для легких ядер в центральных столкновениях и имеющих резкий пик назад на тяжелых мишенях в центральных взаимодействиях;

- обнаружено, что поляризация Λ -частиц близка к нулю, в пределах ошибок не наблюдается зависимость от A_T и от переданного импульса;

- не было обнаружено ни одного однозначно идентифицированного $\bar{\Lambda}$ -события среди 418 Λ -гиперонов.

Для подтверждения результатов работ [II, I2] в части, касающейся особенностей в характеристиках π^- -мезонов из группы событий, содержащих Λ -частицы, имеющих в системе NN-столкновения импульс за кинематическим пределом ($\langle P_T \rangle > I$ ГэВ/с), а также для уточнения предварительных данных об угловых распределениях Λ -частиц в с.ц.м. сталкивающихся нуклонов /57А/ на статистически более обеспеченном материале, исследования были продолжены на спектрометре ГИБС в центральных столкновениях ${}^{24}\text{Mg} + \text{Mg}$ при импульсе 4,3 А ГэВ/с /58А/.

В §3.2.2 приведены результаты этих исследований. При детальном анализе экспериментального материала было найдено 448 Λ -событий и рассчитаны их статвеса, которые использовались при построении распределений и вычислении средних значений различных характеристик Λ -частиц. Здесь также не было обнаружено ни одного $\bar{\Lambda}$ -события. При анализе процессов образования Λ -частиц и ассоциативного рождения π^- -мезонов в центральных ${}^{24}\text{Mg} + \text{Mg}$ взаимодействиях были получены следующие результаты:
 - средние величины поперечного импульса и скорости Λ -частиц: $\langle P_T \rangle = 0,569 \pm 0,014$ ГэВ/с и $\langle u_{\text{л.с.}} \rangle = 1,170 \pm 0,022$. Температура системы, из которой были испущены Λ -частицы, определенная по величине $\langle P_T \rangle$ составляет $T_{\Lambda} = 137 \pm 9$ МэВ;
 - угловые распределения Λ -частиц и потока их кинетической энергии в с.ц.м. сталкивающихся нуклонов отличаются от изотропных (рис.8.9).

Приблизительно изотропное угловое распределение Λ -частиц в центральных взаимодействиях легких ядер (рис.8) получено в основном из-за недостаточной статистической обеспеченности /57А/, [II, I2].

- угловые (и энергетические) распределения π^- -мезонов в событиях с Λ^{out} , имеющих в системе NN-столкновения импульс за кинематическим пределом ($\langle P_{\Lambda}^* \rangle > 980$ МэВ/с), и Λ^{in} ($\langle P_{\Lambda}^* \rangle < 980$ МэВ/с) - частицами и без Λ -частиц в с.ц.м. сталкивающихся нуклонов практически одинаковы и неизотропны (рис.10,11);
 - кинематические характеристики π^- -мезонов в событиях с кумулятивными Λ^{out} -частицами не отличаются от характеристик отрицательных пионов в обычных центральных взаимодействиях.

Эти результаты не подтверждают гипотезу [II, I2] о существовании общего для π^- -мезонов и Λ -частиц равновесного (стер-

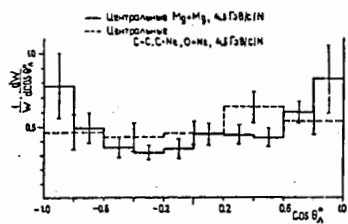


Рис.8 Угловые распределения Λ -частиц в с.с.м. сталкивающихся нуклонов.

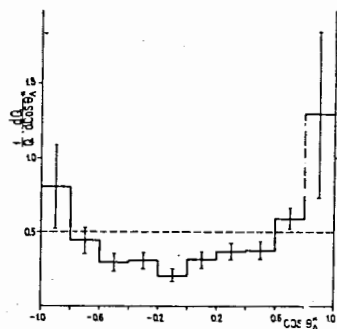


Рис.9 Угловое распределение потока кинетической энергии Λ -частиц в с.с.м. сталкивающихся нуклонов.

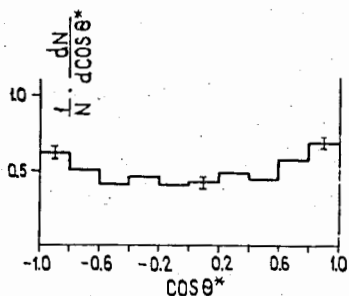


Рис.10 Угловое распределение π^- -мезонов в с.с.м. сталкивающихся нуклонов для группы событий Λ^{out} .

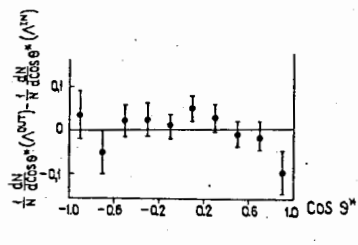


Рис.11 Разность угловых распределений π^- -мезонов из группы событий Λ^{out} и Λ^{in} .

мализованного) источника в центральных взаимодействиях ядер с ядрами.

Сравнение числа событий с двумя зарегистрированными распадами Λ -частиц в центральных $^{24}\text{Mg}+\text{Mg}$ взаимодействиях с ожидаемым, в предположении отсутствия источника гиперонов с по-

вышенной множественностью, показало, что разница между наблюдаемым (29) и предполагаемым (20 ± 5) числом событий не очень велика.

В заклучении сформулированы основные результаты и выводы диссертации.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

I. В процессе разработки и создания крупномасштабных установок для изучения ядерных взаимодействий пионов и нуклонов космических лучей в области сверхвысоких энергий на Тянь-Шаньской высокогорной станции (3340 м над уровнем моря) выполнено следующее:

1. На основе анализа методов исследования ядерных взаимодействий частиц космических лучей высоких энергий сформулированы основные требования к установкам по изучению взаимодействий пионов и нуклонов в области сверхвысоких энергий и обоснованы достоинства методики трековых искровых камер для таких экспериментов.
2. Впервые предложены и созданы комплексы больших трековых искровых камер (100x100x20 см³), предназначенных для работы в условиях высокогорья в составе крупной физической установки по изучению взаимодействий адронов в области энергии выше 1 ТэВ. В рамках данного направления исследований впервые создан искровой спектрометр полного поглощения площадью 1 м² для работы при энергиях $\geq 0,1$ ТэВ, который являлся базовым модулем для реализации установки с регистрационной площадью 9 м².
3. В ходе реализации трекового детектора с регистрационной площадью 44 м² для международного проекта установки Адрон-44, предназначенного для изучения взаимодействий пионов и нуклонов при энергиях выше 10 ТэВ, разработана, создана и исследована в условиях высокогорья самая большая в мире трехэлектродная трековая искровая камера площадью 11 м² (зазор 2x20 см) с минимальным количеством вещества на пути регистрируемых частиц. Результаты исследований ее основных характеристик показали, что они удовлетворяют требованиям эксперимента. Проект предусматривал создание семи рядов из 28 таких камер. Соответственно разработаны система высоковольтного импульсного питания, система фотографирования,

система газообеспечения и запуска комплекса камер установки Адрон-44.

II. При непосредственном участии диссертанта с группой сотрудников из ИФВЭ АН Каз ССР совместно с ОИЯИ:

1. Созданы и использованы в физических экспериментах на синхрофазотроне ОИЯИ двухметровые стримерные камеры, как основы крупных магнитных спектрометров СКМ-200 и ГИБС с соответствующими системами высоковольтного импульсного питания, газообеспечения и контрольно-измерительной аппаратурой; исследованы физические особенности образования регистрируемых стримерных следов, разработан и реализован ряд оригинальных решений по повышению эффективности работы камер на ускорителе.

С помощью упомянутых спектрометров получен большой экспериментальный материал о неупругих и центральных ядро-ядерных взаимодействиях, о релятивистских гиперядрах и о перезарядках ядер на ядрах. Этот материал стал основой ряда научных публикаций, осуществленных в рамках международного сотрудничества на этих спектрометрах.

2. Проведены исследования неупругих взаимодействий ${}^4\text{He}+A_T$ (Li, C, Ne, Al, Cu, Pb), ${}^{12}\text{C}+A_T$ (C, Ne, Si, Cu, Zr) и центральных столкновений ${}^4\text{He}+A_T$ (Li, C, Al, Cu, Pb), ${}^{12}\text{C}+A_T$ (C, Ne, Cu, Zr, Pb), ${}^{16}\text{O}+A_T$ (Ne, Pb), ${}^{20}\text{F}+\text{Mg}$, ${}^{20}\text{Ne}+A_T$ (Ne, Zr) и ${}^{24}\text{Mg}+\text{Mg}$ при энергии 3,66 А ГэВ, которые позволили получить следующие результаты:

- определены сечения неупругих взаимодействий ${}^{12}\text{C}+A_T$ и центральных столкновений ${}^4\text{He}+A_T$, ${}^{12}\text{C}+A_T$, ${}^{16}\text{O}+A_T$, ${}^{20}\text{Ne}+A_T$, а также сечения рождения отрицательных пионов в неупругих взаимодействиях ${}^4\text{He}+A_T$ и ${}^{12}\text{C}+A_T$ для модельного независимого анализа. Показано, что полученные данные по сечениям неупругих взаимодействий удовлетворительно согласуются с расчетами по модели Глаубера;

- получены распределения по множественности отрицательных пионов в неупругих взаимодействиях ${}^4\text{He}+A_T$, ${}^{12}\text{C}+A_T$ и центральных столкновениях ${}^4\text{He}+A_T$, ${}^{12}\text{C}+A_T$, ${}^{16}\text{O}+A_T$, ${}^{19}\text{F}+\text{Mg}$, ${}^{20}\text{Ne}+A_T$ и ${}^{24}\text{Mg}+\text{Mg}$. Впервые показано, что распределения множественностей π^- -мезонов, образовавшихся в центральных взаимодействиях различных ядер, довольно близки к распределению Пуассона ($D^2 \sim \langle n_- \rangle$);

- показано, что наиболее удовлетворительное описание всей совокупности полученных экспериментальных данных по множественному рождению отрицательных пионов в неупругих и центральных ядро-ядерных взаимодействиях дают модели независимых NN-взаимодействий;

- в неупругих взаимодействиях ${}^4\text{He}+A_T$, ${}^{12}\text{C}+A_T$ и центральных столкновениях ${}^4\text{He}+A_T$, ${}^{12}\text{C}+A_T$, ${}^{16}\text{O}+A_T$, ${}^{19}\text{F}+\text{Mg}$, ${}^{20}\text{Ne}+A_T$ и ${}^{24}\text{Mg}+\text{Mg}$ получены данные о средних числах провзаимодействовавших протонов ядер, провзаимодействовавших протонов ядра-снаряда и провзаимодействовавших нуклонов ядра-мишени, а также отношения средних множественностей отрицательных пионов и провзаимодействовавших протонов ядер.

Показано, что величина отношения остается примерно постоянной в исследованном диапазоне атомных весов A_P (${}^{12}\text{C}$, ${}^{16}\text{O}$, ${}^{20}\text{Ne}$), A_T (C, Ne, Si, Cu, Zr) взаимодействующих ядер, одинакова в неупругих и центральных столкновениях и не зависит от критериев отбора центральных взаимодействий;

- для центральных ${}^{12}\text{C}+\text{Cu}$ столкновений ядер определены поперечные и продольные размеры области испускания π^- -мезонов в разных интервалах быстрот и получено указание на несферическую (вытянутую) форму области испускания отрицательных пионов в центральной части их быстротного распределения;

3. Проведены исследования образования Λ^- и K^0 -частиц в неупругих взаимодействиях ${}^4\text{He}+\text{Li}$ и в центральных столкновениях ${}^{12}\text{C}+A_T$ (C, Ne, Cu, Zr), ${}^{16}\text{O}+A_T$ (Ne, Pb) при импульсе 4,5 А ГэВ/с и установлено:

- отношения выходов Λ^- и K^0 -частиц к выходу отрицательных пионов для центральных взаимодействий и для неупругих столкновений одинаково:

$$R_{\Lambda^-} = \langle n_{\Lambda^-} \rangle / \langle n_{\pi^-} \rangle = (1,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-2} \quad \text{и} \quad R_{K^0} = \langle n_{K^0} \rangle / \langle n_{\pi^-} \rangle = (1,5 \pm 0,3) \cdot 10^{-2};$$

- относительный избыток Λ^- -частиц с $P_T > 1$ ГэВ/с, характеристики которых не укладываются в кинематику NN-взаимодействий, больше в центральных столкновениях (9 ± 2 %), чем в неупругих ($1,5 \pm 1,5$ %);

- поляризация Λ -частиц в неупругих взаимодействиях и в центральных столкновениях близка к нулю;
- 4. Проведены исследования образования Λ -частиц в центральных столкновениях $^{24}\text{Mg}+\text{Mg}$ при импульсе 4,3 А ГэВ/с и найдено:
 - угловое распределение Λ -частиц в системе центра масс сталкивающихся нуклонов отличается от изотропного;
 - кинематические характеристики отрицательных пионов в событиях с кумулятивными Λ -частицами не отличаются от характеристик π^- -мезонов в обычных центральных столкновениях;
 - угловые распределения π^- -мезонов в системе центра масс сталкивающихся нуклонов не изотропны;
 - полученные данные не подтверждают гипотезу о существовании коллективного термализованного источника вторичных частиц в центральных ядро-ядерных взаимодействиях.
- 5. Не было обнаружено ни одного однозначно идентифицированного $\bar{\Lambda}$ -события среди 866 Λ -гиперонов, зарегистрированных во всех взаимодействиях.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах.

- 1А. Такибаев Ж.С., Лукин Д.Т., Нургожин Н.Н. Искровой спектрометр для исследования ядерных взаимодействий частиц космического излучения. Материалы рабочего совещания по искровым камерам. Дубна, 1966, ОИЯИ: I3-2958, с.13.
- 2А. Такибаев Ж.С., Лукин Д.Т., Иваненко В.М., Нургожин Н.Н. Искровой спектрометр (Докл. на Всесоюз. конф. по космическим лучам, Алма-Ата, 1966 г.). В сб.: Космические лучи. М. 1970, I2, с.95.
- 3А. Лукин Д.Т., Нургожин Н.Н. Регистрация ливней в аргоновой искровой камере с большим зазором. Материалы рабочего совещания по искровым камерам. Дубна, 1966, ОИЯИ: I3-2958, с.15.
- 4А. Нургожин Н.Н., Калибаев М.А. Ливневая эффективность разрядной искровой камеры (Докл. на Всесоюз. конф. по космическим лучам, Алма-Ата, 1966 г.) - В сб.: Космические лучи, М. 1970, №12, с.98.
- 5А. Нургожин Н.Н. Трехэлектродная стримерная камера (Доклад на Всесоюз. конф. по физике космич. лучей, Новосибирск, 1967 г.) В сб.: Космические лучи. М., 1972, №13, с.201.
- 6А. А.с.219936 СССР. Регулятор давления двухстороннего дейст-

вия. Омаров А.О., Кзыл-Ходжаев А.К., Нургожин Н.Н. -Опубл. в Б.И., 1968, №19, с.114.

- 7А. Нургожин Н.Н. Схема управления и высоковольтного импульсного питания разрядных искровых камер, регистрирующих ливни заряженных частиц. Материалы симпозиума по наносекундной ядерной электронике. Дубна, 1967, ОИЯИ I3-3700, с.716.
- 8А. Нургожин Н.Н., Ахмедов В.Н., Даулетбаков А.И., Мусульманбеков Ж.Ж. Трековая искровая камера площадью 11 м^2 с проволочными электродами. ПТЭ, 1979, 5, с.63.
- 9А. Лобанов Е.В., Нургожин Н.Н., Ташимов М.А. Наносекундная схема управления запуском высоковольтного импульсного источника питания искровой камеры. - Материалы симпозиума по наносекундной ядерной электронике. Дубна, 1967, ОИЯИ: I3-3700, с.711.
- 10А. Василевская С.В., Нургожин Н.Н., Высоочастотные источники высокого напряжения. Изв. АН КазССР, сер. физ.-мат. наук, 1966, №4, с.64.
- 11А. Нургожин Н.Н. Эффективность регистрации ливней в аргоновой искровой камере с большим зазором (Докл. на Всесоюз. конф. по космическим лучам, Алма-Ата, 1966 г.). В сб.: Космические лучи. изд. Наука, М., 1970, I2, с.100.
- 12А. Нургожин Н.Н. Увеличение изотропных свойств разрядной искровой камеры с большим зазором (Докл. на Всесоюз. конф. по физике космических лучей, Новосибирск, 1967 г.). В сб.: Космические лучи. М., 1972, №13, с.204.
- 13А. Лукин Д.Т., Нургожин Н.Н., Такибаев Ж.С. Установка, состоящая из газоразрядных трековых приборов (искровой спектрометр), для изучения ядерных взаимодействий частиц высоких энергий. В сб.: Тезисы докладов Всесоюз. конф. по физике космических лучей (Новосибирск, 1967 г.). Ядернофизическое направление. М. 1967, ч.1, с.46.
- 14А. Нургожин Н.Н. Искровой спектрометр для изучения ядерных взаимодействий частиц высоких энергий. - В кн.: Материалы первой научной конф. молодых ученых АН КазССР, Алма-Ата 1968, с.51.
- 15А. Nurgozhin N.N. The Total Absorption Spektrometer Spark

for Study Nuclear Interactions High Energy Particles. - In.: Thesis Papers of the 11 th Intern. Conf. on Cosmic Rays. Budapest. 1969, p.274.

- 16А. Буя Э., Добротин Н.А., Лукин Д.Т., ..., Нургожин Н.Н. и др. Об изучении взаимодействий пионов и нуклонов при энергиях выше 10^{13} эВ. - Алма-Ата, 1969. -32 с. (Препринт/ИЯФ АН КазССР:100).
- 17А. Биттибаев С.М., Нургожин Н.Н., Такибаев Ж.С. Большие трековые искровые камеры для изучения взаимодействий адронов при энергии выше 10^{13} эВ. - Депонир. в ВИНТИ, 1973, №5479-73.
- 18А. Биттибаев С.М., Нургожин Н.Н., Такибаев Ж.С. Большие трековые искровые камеры для изучения взаимодействий адронов при энергии выше 10^{13} эВ. ПТЭ, 1973, 2, с.245.
- 19А. Кожанов Е.В., Нургожин Н.Н., Нуржакипов Т.Н., Разрушение пленочного электрода в искровой камере. ПТЭ, 1973, 1, с.63.
- 20А. Биттибаев С.М., Кожанов Е.В., Нургожин Н.Н., Нуржакипов Т.Н. Трековая искровая камера из пенополиуретана. ПТЭ, 1975, 3, с.62.
- 21А. Белякин В.М., Биттибаев С.М., Мальков В.П., ..., Нургожин Н.Н. и др. Система газообеспечения стримерных и трековых искровых камер большого объема СГК-Б0. Деп. в ОИЯИ, Дубна, 1974, БИ-13-7793, с.49.
- 22А. Белякин В.М., Биттибаев С.М., Мальков В.П., ..., Нургожин Н.Н. и др. Система газообеспечения стримерных и трековых искровых камер большого объема СГК-Б0. 1974, -15 с. (Сообщения/ОИЯИ: 13-7878).
- 23А. Абдурахимов А.У., Аникина А.Х., Балдин А.М., ..., Нургожин Н.Н. и др. Установка с двухметровой стримерной камерой в магнитном поле - СКМ-200. - ПТЭ, 1978, 5, с.53.
- 24А. Аксиненко В.Д., Володин В.Д., Глаголева Н.С., ..., Нургожин Н.Н. и др. Система высоковольтного импульсного питания стримерной камеры СКМ-200 и трековых искровых камер установки Адрон-44. Деп. в ОИЯИ, Дубна, 1977, - 80 с. БИ-13-10674.
- 25А. Аксиненко В.Д., Глаголева Н.С., Дементьев Е.А., ..., Нургожин Н.Н. и др. Высоковольтный генератор наносекундных

импульсов с ГИН 500-0,02/5 для питания стримерной камеры. ПТЭ, 1987, 3, с.97.

- 26А. Аникина М.Х., Абдурахимов А.У., Авраменко С.А., ..., Нургожин Н.Н. и др. Экспериментальные данные по множественному рождению в центральных столкновениях ядер $^{12}\text{C}+\text{C}$, $^{19}\text{F}+\text{Mg}$ и $^{24}\text{Mg}+\text{Mg}$ при $E=3,7$ ГэВ на нуклон, Дубна, 1989. Краткие Сообщения ОИЯИ, I [341-89, с.12.
- 27А. Anikina M., Abdurakhimov A., Aksinenko V., ..., Nurgozhin N., et al. Experimental Data on π^- -mesons Produced in Inelastic and Central Nucleus-Nucleus Interactions at 4,5 GeV/c Momentum per Nucleon (SKM Collaboration). Dubna, 1984, - 17 p. (Communication/JINR: E1-84-785).
- 28А. Астахов А.Я., Варденга Г.Л., Володин В.Д., ..., Нургожин Н.Н. и др. Проект развития и автоматизации установки СКМ-200 на 1976-1980 гг. Деп. в ОИЯИ, Дубна, 1977, БИ-133-II288.
- 29А. Аксиненко В.Д., Володин В.Д., Глаголева Н.С., ..., Нургожин Н.Н. и др. Повышение надежности работы высоковольтного генератора двухметровой стримерной камеры. Дубна. 1983. - 5 с. (Сообщения/ОИЯИ: 13-83-453).
- 30А. А.с. 989747 СССР. Генератор импульсов/ Аксиненко В.Д., Дементьев Е.А., Матюшин А.Т., Матюшин В.Т., Нургожин Н.Н. Оpubл. Б.И. 1983, 2, с.259.
- 31А. Аксиненко В.Д., Дементьев Е.А., Каминский Н.И., ..., Нургожин Н.Н. и др. Двухконтурная схема импульсного заряда формирующих линий для питания стримерных камер. Дубна, 1982. - 10 с. Препринт/ОИЯИ: 13-82-764.
- 32А. Матюшин А.Т., Матюшин В.Т., Мусульманбеков Ж.Ж., Нургожин Н.Н. Наполнение газом стримерной камеры методом продува. ПТЭ, 1977, 1, с.35.
- 33А. А.с. 56622I СССР. Устройство для контроля и измерения времени памяти стримерной камеры/ Володин В.Д., Глаголева Н.С., Матюшин А.Т., Матюшин В.Т. Мусульманбеков Ж.Ж., Нургожин Н.Н. Оpubл. Б.И. 1977, 27, с.137.
- 34А. Володин В.Д., Глаголева Н.С., Матюшин А.Т., ..., Нургожин Н.Н. Бесфильмовый метод контроля времени памяти стримерной камеры. ПТЭ, 1978, 4, с.54.
- 35А. Аксиненко В.Д., Володин В.Д., Глаголева Н.С., ..., Нурго-

- жин Н.Н., Сайтов И.С. Измерение времени памяти стримерной камеры с помощью вспомогательной искровой камеры. ПТЭ, 1995, 5, с.58.
- 36А. Аксиненко В.Д., Глаголева Н.С., Матюшин А.Т., Матюшин В.Т., Нургожин Н.Н., Сайтов И.С. Некоторые особенности характеристик искровых камер, наполненных неоном с примесью воздуха. ПТЭ, 1995, 5, с.48.
- 37А. А.с. ИП6928 СССР. Магнитный спектрометр/ Е.А.Дементьев, Д.Р.Лукстыньш, А.А.Кузнецов, ..., Н.Н.Нургожин и др. ОИПОТЭ, 1984, № 36.
- 38А. Аксиненко В.Д., Варденга Г.Л., Глаголева Н.С., ..., Нургожин Н.Н. и др. Стримерная камера магнитного спектрометра ГИЭС. ПТЭ, 1993, I, с.90.
- 39А. Аксиненко В.Д., Глаголева Н.С., Дементьев Е.А., ..., Нургожин Н.Н. и др. Система высоковольтного питания стримерной камеры спектрометра ГИЭС. Дубна, 1987, - 8 с. Сообщения/ОИЯИ: I3-87-773.
- 40А. Глаголева Н.С., Матюшин А.Т., Матюшин В.Т., Нургожин Н.Н. Энергетическая модель нарастания излучения и размеров электронной лавины в стримерной камере. Дубна, 1983. Сообщения/ОИЯИ: P1-83-328.
- 41А. Аксиненко В.Д., Волков В.Н., Глаголева Н.С., ..., Нургожин Н.Н. и др. Исследование распределений по диаметру стримеров, образованных релятивистскими однозарядными частицами в стримерной камере. Дубна, 1992, -8 с. Сообщения/ ОИЯИ: P1-32-263.
- 42А. Абдурахимов А.У., Аксиненко В.Д., Варденга Г.Л., ..., Нургожин Н.Н. и др. Разрешающая способность стримерного спектрометра. Деп. в ОИЯИ, 1985, Б2-I-85-94.
- 43А. Аникина М.Х., Балдин А.М., Балин Д.В., ..., Нургожин Н.Н. и др. Облучение установки СКМ-200 в пучке α -частиц с импульсом 17 ГэВ/с и результаты предварительного анализа He-Li и He-Ne взаимодействий. Дубна, 1975. Сообщения/ ОИЯИ: I-9280.
- 44А. Aksinenko V. D., Anikina M. Kh., Buttsev V. S., ..., Nurgozhin N. N. et al. Determination of Cross Sections for ^{12}C -Nucleus Interactions at 4,5 GeV/c per Incident Nucleon Momentum. Dubna, 1979. - 7p. Communication/JINR: E1-12713.

- 45А. Aksinenko V. D., Anikina M. Kh., Buttsev V. S., ..., Nurgozhin N. N. et al. Streamer chamber study of the Cross Section and Multiplicities in Nucleus-Nucleus Interactions at the Incident Momentum of 4,5 GeV/c per Nucleon. Nucl. Phys., 1980, A348, p. 518.
- 46А. Нургожин Н.Н. Некоторые результаты исследований ядро-ядерных взаимодействий при импульсе 4,5 ГэВ/с/нуклон на спектрометре СКМ-200. Доклад на Всесоюзной школе "Неупругие взаимодействия адронов и ядер при высоких энергиях". Алма-Ата 21-30 сентября 1982 г. В кн. Взаимодействия адронов и ядер высоких и сверхвысоких энергий. Изд. "Наука". Казахской ССР, Алма-Ата, 1986, с.106.
- 47А. Aksinenko V., Anikina M., Banasjuk, ..., Nurgozhin N. et al. Multiplicity of the π^- -mesons in Interactions of 18 GeV/c α -particles with Li, C, Ne, Al, Cu and Pb Nuclei. Nucl. Phys., 1979, A324, p. 266.
- 48А. Бартке Е., Варденга Г., Гаспарян А., ..., Нургожин Н.Н. и др. Множественность отрицательных пионов, рожденных в "центральных" соударениях релятивистских ядер. ЯФ, 1980, т.32, вып.3 (9), с.699.
- 49А. Аникина М.Х., Башлиу К., Варденга Г.Л., ..., Нургожин Н.Н. и др. Отношение среднего числа π^- -мезонов к среднему числу провзаимодействовавших протонов в центральных ядро-ядерных столкновениях. ЯФ. 1983, т.38, вып.6 (12), с.1480 и ЯФ, 1984, т.39.6(12), с.1616.
- 50А. Аникина М.Х., Абдурахимов А.У., Авраменко С.А., ..., Нургожин Н.Н. и др. Экспериментальные данные по среднему числу провзаимодействовавших протонов в неупругих и центральных ядро-ядерных взаимодействиях при энергии 3,6 ГэВ/нуклон. ЯФ.1987, т.45, вып.6, с.1680.
- 51А. Абдурахимов А.У., Аникина М.Х., Варденга Г.Л., ..., Нургожин Н.Н. и др. Размеры области испускания вторичных π^- -мезонов в неупругих и центральных ядро-ядерных взаимодействиях при $E=3,66$ А ГэВ. Дубна, 1988, - 3с. Сообщения/ОИЯИ: P1-88-406.
- 52А. Абдурахимов А.У., Мухин С.В., Нургожин Н.Н. и др. Продольные и поперечные размеры области испускания π^- -мезо-

нов в центральных столкновениях $^{12}\text{C}+\text{Cu}$ при энергии 3,66 А ГэВ. Дубна, 1989, Сообщения/ОИЯИ: PI-89-272; In.: Proc. 21 st. Int. Cosmic Ray Conf., Adelaide, Australia 1990, v. 8, p. 71.

- 53А. Аникина М.Х., Банник Б.П., Варденга Г.Л., ..., Нургожин Н.Н. и др. Образование Λ^0 и K^0 -частиц при взаимодействии ядер ^4He с ядрами ^6Li при импульсе 4,5 ГэВ/с на нуклон. Дубна, 1982, Сообщения/ОИЯИ: PI-82-333.
- 54А. Anikina M., Bannik B., Vardenga G., ..., Nurgozhin N. et al. Λ^0 and K^0 -production in Nucleus-Nucleus Collisions at 4,5 GeV/c per Nucleon. In.: Proc. of Intern. Conf. on Nucleus-Nucleus Collisions (Abstracts), Michigan, 1982, p.112.
- 55А. Anikina M., Balea O., Vardenga G., ..., Nurgozhin N. et al. Λ -hyperons Produced in Central Nucleus-Nucleus Interaction at 4,5 GeV/c Momentum per Incident Nucleon. Phys. Rev. Lett. 1983, v. 50, p.1971.
- 56А. Anikina M., Balea O., Vardenga G., ..., Nurgozhin N. et al. Λ and K_S^0 -Production in Central Nucleus-Nucleus Interactions at 4,5 GeV/c Momentum per Nucleon. In.: Proc. 6-th Balaton Intern. Conf. on High Energy Nuclear Physics. Balaton-furd-Budapest. 1983, p.433.
- 57А. Anikina M., Aksinenko V., Dementiev E., ..., Nurgochin N. et al. Characteristics Λ and K^0 -Particles Produced in Central Nucleus-Nucleus Collisions at a 4,5 GeV/c Momentum per Incident Nucleon. Z.Phys. C.Particles and Fields. 1984, C. 25, p.1.
- 58А. Авраменко С.А., Абдурахимов А.У., Аксиненко В.Д., ..., Нургожин Н.Н. и др. Центральные столкновения Mg+Mg с образованием Λ -частиц при импульсе 4,3 ГэВ/с на нуклон. ЯФ, 1992, т.55, вып.3, с.721.

Цитируемая литература:

- [1]. Авакян В.В., Горяка А.П., Геворкян С.Р. и др. ЯФ, 1984, т.40, вып.4 (10). с.949.
- [2]. Cherry M.L., Jones W.V., Sengupta K. et al. Phys Rev. D. 1994, v. 50, N 7, p. 4272.
- [3]. Мурзин В.С. Введение в физику космических лучей. - М.: Изд-во Московского университета. 1988 - 319 с.

- [4]. Балдин А.М. ЭЧАЯ, 8, 1977, с.429:
- [5]. Quark Gluon Plasma, Ed. Hwa R. World Scientific 1990
- [6]. Bulos F., Odian A., Villa F and Yount D. - Stanford, 1967, 142 p. (Technical Report SLAC - 74, UC-28.).
- [7]. Fukushima Y., Kifume T., Kondo T. et al. Phys. Rev. 1969, v.178, N5, p.2059.
- [8]. Heckman H.H., Greiner D.E., Linstrom P.J. et al. Phys. Rev. 1978, c.17, p.1735.
- [9]. Wroblewski A.K. Acta Phys, Polon, 1973, B4, 857.
- [10]. Bamberger A. et al. Phys. Lett. 1988, B 203, p.320
- [11]. Anikina M. et al. Dubna, 1984. (Report/JINR: E1-84-376).
- [12]. Gazdzicki M. et al. Zeit. fur. Phys. 1986, 31, p.549.