

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Л - 888

1 - 12680

ЛЫТКИН

Леонид Кузьмич

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОЖЕСТВЕННОГО РОЖДЕНИЯ
БЫСТРЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ НА ЯДРАХ ПИОНАМИ
С ИМПУЛЬСОМ 40 ГэВ/с
С ПОМОЩЬЮ МАГНИТНОГО ИСКРОВОГО СПЕКТРОМЕТРА
МИС-5 ОИЯИ

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1979

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук
А. Ф. ПИСАРЕВ.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
Т. Л. АСАТЯНИ (БФИ),
доктор физико-математических наук
И. М. ГРАМЕНИЦКИЙ (ЛВЭ ОИЯИ).

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт высоких энергий, г. Серпухов.

Защита диссертации состоится " " _____ 1979 г.
в _____ часов на заседании специализированного Ученого совета
Д - 047.01.03 при Лаборатории ядерных проблем Объединенного
института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " " _____ 1979 года.

Ученый секретарь специализированного Совета
кандидат физико-математических наук

Д. А. БАТУСОВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ. Изучение процессов множественного рождения частиц при взаимодействии адронов высокой энергии в настоящее время является одной из центральных задач физики частиц. Эти процессы являются доминирующими в области энергии, начиная с нескольких ГэВ и выше. Уникальной стороной процесса множественного рождения частиц в адрон-ядерных взаимодействиях является пространственно-временная близость актов генерации и взаимодействия рожденной системы с нуклонами ядра. Ядро может служить, таким образом, анализатором пространственно-временной структуры процессов множественного рождения при высоких энергиях. Выяснить пространственно-временной ход развития процесса, видимо, трудно без использования плотной ядерной среды.

Несмотря на большие усилия, предпринимаемые физиками, пока не выработано ещё единой точки зрения на физическую сущность процесса множественного рождения частиц. Отсюда обилие теоретических моделей, созданных для интерпретации получаемых в эксперименте результатов. Одной из главных задач физики высоких энергий на данном этапе является получение экспериментальной информации для отбора наиболее реалистических теоретических моделей.

Настоящая диссертация посвящена экспериментальному изучению процесса множественного рождения пионов на ядрах C , Al , Si , Pb отрицательными пионами с импульсом 40 ГэВ/с на ускорителе ИВЭ в г. Серпухове с помощью магнитного искрового спектрометра МИС-5 ОИЯИ.

ОСНОВНАЯ ЦЕЛЬ РАБОТЫ состояла в получении экспериментальных данных о процессах множественного рождения быстрых заряжен-

ных частиц на чистых ядерных мишенях. Для решения этой задачи была создана крупная экспериментальная установка – МИС-5 ОИЯИ. Создание спектрометра потребовало провести разработку и исследование системы оптических искровых камер большого размера, разработку и исследование высоковольтного импульсного питания этих камер, а также создание системы их газообеспечения.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ. Новыми результатами, полученными в данной работе, являются экспериментальные распределения по числу быстрых заряженных вторичных частиц, рожденных на чистых ядерных мишенях, их инклюзивные распределения по псевдобыстроте, их топологические распределения по псевдобыстроте во взаимодействии пионов с импульсом 40 ГэВ/с.

Созданные и исследованные в диссертации узлы спектрометра МИС-5 успешно эксплуатировались на протяжении ряда лет на пучке отрицательных частиц с импульсом 40 ГэВ/с на ускорителе ИФВЭ.

Впервые использованы оптические искровые камеры с высокой эквидистантностью искровых промежутков и относительно малым зазором для одновременной регистрации до 25 частиц в событиях множественного рождения, что стало возможным благодаря разработке специальной низкоомной системы импульсного высоковольтного питания камер.

За время экспериментальных исследований было получено I миллион 200 тысяч стереофотографий с полезными событиями. В том числе набрано 800 тысяч событий с когерентной дифракционной диссоциацией мезонов на ядрах восьми элементов, из них 300 тысяч событий получены с помощью так называемой "живой" мишени из кремниевых детекторов. Изучено упругое и неупругое полукogerентное рассеяние пионов на углероде. Получены характеристики множественного рождения частиц на ядрах с вылетом быстрой частицы назад.

Созданные искровые камеры и система их высоковольтного питания могут быть использованы во многих других экспериментах.

СЛЕДУЮЩИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫДВИГАЮТСЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ

1. Разработка конструкции и технологии изготовления больших оптических искровых камер МИС-5.
2. Разработка и исследование узлов высоковольтного импульсного питания искровых камер, а также схемы запуска от триггера и схемы контроля за работой системы высоковольтных генераторов.
3. Результаты исследования основных характеристик спектрометра: ливневой эффективности, временного разрешения, пространственной точности, систематического смещения искр в камерах, работающих в магнитном поле.
4. Постановка эксперимента на МИС-5 для изучения множественного рождения частиц на ядрах пионами с импульсом 40 ГэВ/с; анализ систематических погрешностей и поправок к экспериментальным данным этого эксперимента.
5. Экспериментальные данные по множественному рождению на чистых ядерных мишенях и их анализ.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Результаты данной диссертации докладывались и обсуждались на семинарах Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований, на международных рабочих совещаниях по МИС-5 ОИЯИ; представлены на XVIII Международную конференцию по физике высоких энергий (г.Тбилиси, 1976), на XIX Международную конференцию по физике высоких энергий (г.Токио, 1978); опубликованы в сообщениях ОИЯИ /1,3,4,5/ и журнале ПТЗ /2/, журнале "Ядерная физика" /6/, препринте ЦЕРН /8/.

ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения; она содержит 130 страниц машинописного текста, 42 рисунка и библиографический список из 67 названий.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ. Во введении сформулированы задачи, которые решаются в диссертации, намечена схема их решения. Отмечается, что систематическое изучение процессов множественного рождения на ядрах проведено лишь на смеси ядер в эмульсиях; данных, полученных на чистых ядерных мишенях, очень мало, и они разрознены. Указаны достоинства методики искровых оптических камер в магнитном поле, позволяющие использовать эту методику для изучения множественных процессов.

В главе I освещены вопросы разработки оптических искровых модулей.

В § I.1 и § I.2 кратко рассмотрены некоторые вопросы физики газового разряда по следу частиц в искровой камере и параметры искрового канала с целью выработки требований на параметры питания камер и их конструкция.

В § I.3 разбираются требования, предъявляемые физикой разряда к параметрам системы высоковольтного питания искровых камер, и методика расчета этих параметров. Здесь особо акцентировано внимание на механизме замыкания стримеров в искровой канал, т.к. он существенно сказывается на ливневой эффективности камер.

В §§ I.4+I.6 рассмотрены требования к конструкции искровых камер; описаны конструкция и технология изготовления искровых камер МИС-5.

В § I.7 обсуждается разработанная и использованная в экспериментах система газообеспечения камер спектрометра МИС-5.

Вторая глава посвящена разработке и исследованию характеристик импульсного питания искровых камер.

В § 2.1 описана принципиальная схема 2-каскадного генератора высоковольтных импульсов, его конструкция, конструкция газовых электронных коммутаторов тока и напряжения, применяемых в этих генераторах; приведены результаты испытания генераторов.

В § 2.2 представлена схема запуска системы высоковольтных генераторов на транзисторах, работающих в лавинном режиме, её характеристики. Время прохождения сигнала в схеме не превышает 20 нс, входное напряжение - 0,1 В и выходное - 4,5+5 кВ.

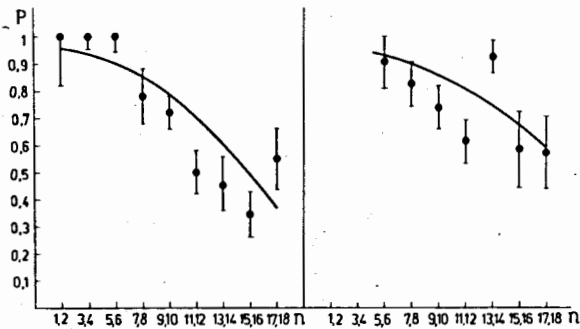
§ 2.3 содержит описание конструкции сильноточного коммутатора тока и напряжения, представлены его характеристики.

В § 2.4 дано описание схемы контроля и индикации работы системы высоковольтных генераторов.

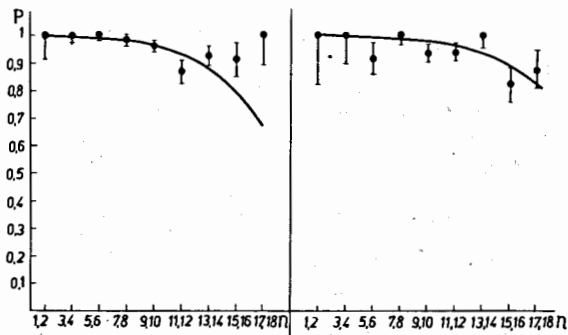
В § 2.5 рассмотрена полная схема высоковольтного питания искровых камер спектрометра МИС-5.

Третья глава содержит описание общей компоновки установки МИС-5 и результаты исследования основных характеристик.

В § 3.1 приведены результаты исследования ливневой эффективности спектрометра. При одновременном развитии нескольких искр в одном искровом промежутке энергия, запасенная в электрической ёмкости камеры и подводимая от генератора, делится между искрами неравномерно. В значительной степени эта неравномерность обусловлена флуктуациями времени развития искр, их взаимным расположением в зазоре и различием в углах траекторий частиц по отношению к направлению электрического поля в камере. Приведены зависимости (рис.1) вероятности зарегистрировать искру в камере от числа частиц, прошедших камеру, координат искр и взаимного



а)



б)

Рис.1. Вероятность $P(X, \theta, n)$ в зависимости от числа частиц n

а) при $X = 20$ см и двух значениях угла θ : $0,4 < \theta < 0,6$,

$0,6 < \theta < 0,8$,

б) при $X = 100$ см и $0 < \theta < 0,2$, $0,2 < \theta < 0,4$.

расположения треков. Вероятность регистрации искры аппроксимирована функцией вида

$$P(\theta, X, N) = \left\{ 1 + \exp\{B + (A + D\theta) \cdot N + C \cdot X \sqrt{N} + E \cdot X \cdot N\} \right\}^{-1}$$

Здесь θ – угол траектории частиц относительно перпендикуляра к плоскости камеры; X – расстояние от мишени до искрового промежутка; N – число частиц; A, B, C, D, E – коэффициенты аппроксимации.

В § 3.2 исследуется время памяти искровых камер спектрометра в магнитном поле. Показано, что эта характеристика зависит не только от поведения ионов в газе камеры, но также и от параметров высоковольтного импульса и порога регистрации искры.

В § 3.3 исследуется систематическое смещение искр в камере относительно трека частицы при работе камер в магнитном поле (стагеринг искр). Подробно изучены особенности стагеринга в случае, когда искра следует по треку. Подчеркнуто большое влияние высоковольтного импульса на стагеринг (а не только очищающего поля, как обычно было принято считать). Приведены точностные характеристики спектрометра, полученные после учета систематики в смещении искр.

В четвертой главе дается описание постановки эксперимента на МИС-5 по изучению процесса множественного рождения быстрых заряженных частиц на ядрах при 40 ГэВ/с пионами и представлены экспериментальные данные. Сделан обзор экспериментальных данных по этому вопросу.

В § 4.1 рассмотрена постановка эксперимента (рис.2).

В § 4.2 и 4.3 изложена методика обработки и измерений фотоснимков с МИС-5 с множественными событиями, приведены критерии, анализируются систематические погрешности и ошибки измерения.

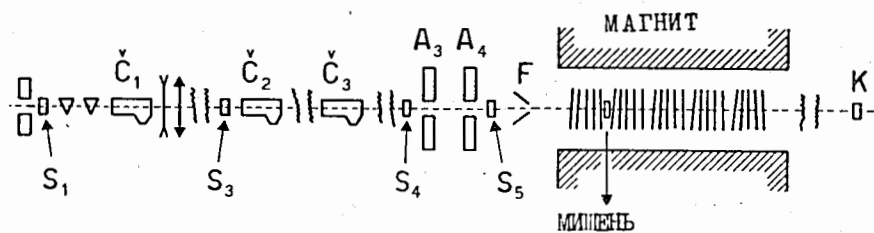


Рис.2. Схема эксперимента на МНС-5 по изучению π -A-взаимодействий.

Т а б л и ц а I

Средние систематические поправки на один трек

Мишень	Потери треков	Вторичные взаимодей.	π^0 рождения	V^0 рождения	δ электроны
C	+ 0.019	- 0.019	- 0.043	- 0.004	- 0.013
A	+ 0.016	- 0.020	- 0.087	- 0.004	- 0.013
Си	+ 0.041	- 0.020	- 0.097	- 0.004	- 0.011
P	+ 0.042	- 0.005	- 0.077	- 0.004	- 0.003

В § 4.4 вычислены поправки на эффективность регистрации треков на основе результатов § 3.1.

В § 4.5 дано описание методики учета вклада медленных протонов, который оказывает значительное влияние на A-зависимость характеристик множественного рождения.

В § 4.6 приведена оценка вклада V^0 -частиц, показана незначительность этой поправки.

§ 4.7 посвящен расчету вклада электронно-позитронных пар конверсии γ -квантов от распада π^0 , рожденных в анализируемом событии. Распределение по быстрой π^0 -мезонов подобно распределению заряженных пионов. Большинство e^+e^- -пар дают только один трек. Главной причиной пространственного разделения электронов и позитронов пары является многократное кулоновское рассеяние их в мишени.

В § 4.8 анализируются экспериментальные распределения по множественности быстрых заряженных частиц в пион-ядерных взаимодействиях. Отмечается их скейлинговый характер.

В § 4.9 приведены инклюзивные распределения по псевдобыстрой частиц, рожденных на ядрах.

В § 4.10 показаны топологические распределения по псевдобыстрой (рис.3). Эти распределения при фиксированной множественности в пределах ошибок совпадают для различных ядер, хотя интенсивность рождения событий данной множественности зависит от массы ядра-мишени.

В § 4.11 рассмотрено поведение нормированной множественности с изменением веса ядра-мишени в разных областях псевдобыстрой.

В таблицах 2 и 3 приведена средняя множественность заряженных вторичных частиц в 4-х интервалах псевдобыстроты.

Т а б л и ц а 2

(включая протоны с $\beta > 0.3$)

Мишень	η 1.0 - 3.0	η 2.0 - 3.0	η 3.0 - 4.0	η 4.0 - 6.28
C	$1.71^{+0.05}_{-0.07}$	1.99 ± 0.06	1.44 ± 0.05	0.66 ± 0.06
Al	$2.0^{+0.06}_{-0.09}$	2.30 ± 0.06	1.67 ± 0.05	0.63 ± 0.06
Cu	$2.55^{+0.08}_{-0.14}$	2.49 ± 0.08	1.61 ± 0.06	0.71 ± 0.06
Pb	$3.11^{+0.09}_{-0.16}$	2.63 ± 0.08	1.52 ± 0.06	0.64 ± 0.06

Т а б л и ц а 3

(с вычетом протонов с $\beta < 0.7$)

Мишень	η 1.0 - 2.0	η 2.0 - 3.0	η 3.0 - 4.0	η 4.0 - 6.28
C	1.57 ± 0.12	1.96 ± 0.06	1.44 ± 0.05	0.66 ± 0.06
Al	1.70 ± 0.15	2.23 ± 0.06	1.67 ± 0.05	0.63 ± 0.06
Cu	2.11 ± 0.16	$2.39^{+0.07}_{-0.08}$	1.61 ± 0.06	0.71 ± 0.06
Pb	2.41 ± 0.17	2.50 ± 0.08	1.51 ± 0.06	0.64 ± 0.06

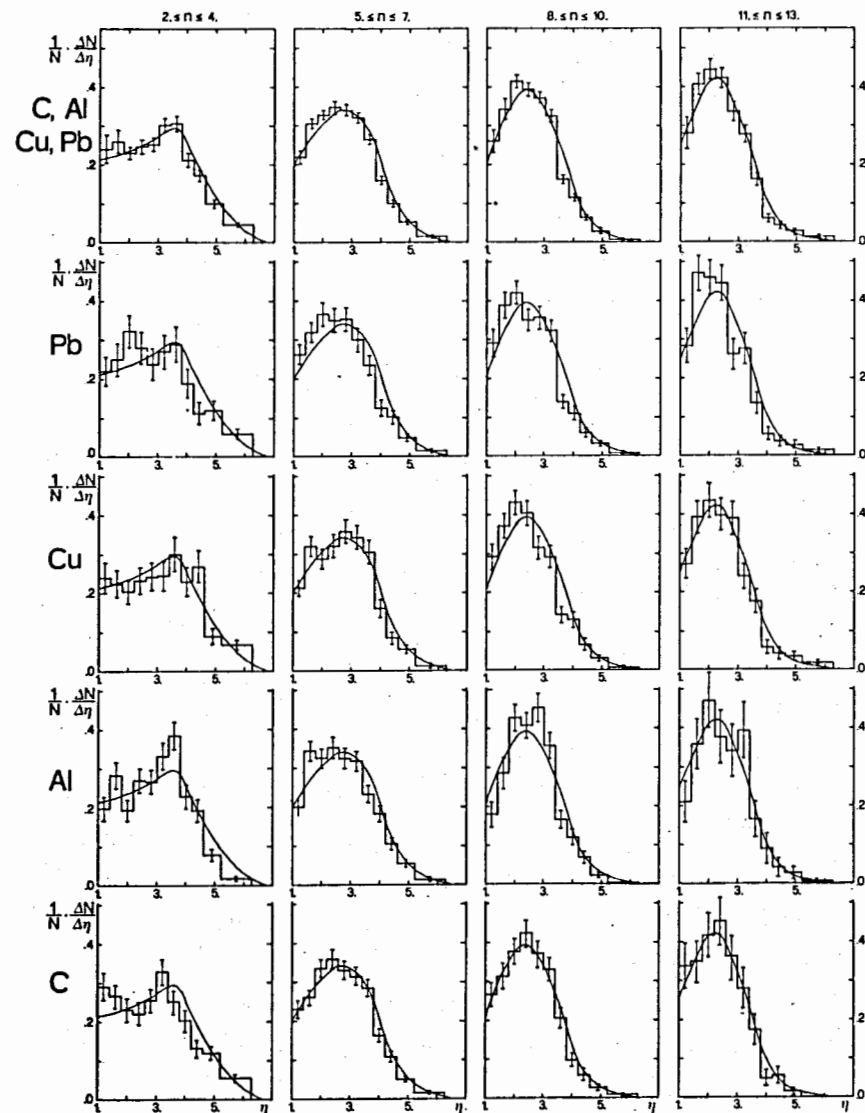


Рис. 3. Топологические η - распределения заряженных частиц.

В § 4.12 проведено сравнение экспериментальных η - распределений с теоретическими моделями.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

1. Выбрана конструкция и разработана технология изготовления оптических искровых камер МИС-5 с незначительным количеством вещества на пути частиц (радиационная длина - 106 метров) и высокой эквидистантностью искровых зазоров (0,1 мм при зазоре 20 мм).

2. Сделан анализ требований к высоковольтному импульсному питанию искровых камер, на основе которого разработаны и испытаны высоковольтные импульсные генераторы с низким импедансом, обеспечивающие фоторегистрацию одновременно до 25 частиц в каждом искровом зазоре камер.

3. Разработаны схема запуска генераторов со временем прохождения сигнала менее 20 нс и газовый электронный коммутатор тока и напряжения для этой схемы, коммутирующий ток величиной до 10 кА за время ~ 65 нс.

4. Разработана схема контроля и индикации работы системы высоковольтных генераторов.

5. Исследована ливневая эффективность искровых камер спектрометра МИС-5 в зависимости от взаимного пространственного расположения треков в камере. Экспериментально показана высокая эффективность метода оптических искровых камер при изучении множественных процессов.

6. Исследована зависимость времени памяти искровых камер МИС-5 от величины магнитного поля и параметров высоковольтного импульсного питания этих камер.

7. Изучено систематическое смещение искр (стагеринг) относительно положения трека в камерах, приведены точностные характеристики МИС-5.

8. Выбрана схема эксперимента для изучения процессов множественного рождения быстрых заряженных частиц на ядрах пионами с импульсом 40 ГэВ/с и методика обработки снимков с этими событиями.

9. На чистых ядерных мишенях поставлен эксперимент по множественному образованию частиц пионами с импульсом 40 ГэВ/с. Подтвержден скейлинговый характер поведения распределений по множественности. Определена A-зависимость нормированной множественности в разных областях по псевдобыстроте. Показано, что эта величина меньше единицы и слабо зависит от массы ядра в области $4 \leq \eta \leq 6.7$.

Представлены топологические распределения по псевдобыстроте на разных ядрах. Выявлено их подобие, из которого следует, что интегральные η - распределения заряженных частиц зависят только от множественности событий и являются производными ядерного KNO-скейлинга и топологических η - распределений.

Проведено сравнение с теоретическими моделями.

ЛИТЕРАТУРА

Результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Грушин А.Ф., Егоров А.И., Лыткин Л.К., Писарев А.Ф., Писарев В.Ф., Тяпкин А.А., ОИЯИ, Р13-9745, Дубна, 1976.
2. Лыткин Л.К., Писарев А.Ф., Писарев В.Ф., Ревенко Г.С., ПТЭ, т.5, 123, 1978.
3. Ондрейчка К., Лыткин Л.К., ОИЯИ, Р13-10432, Дубна, 1977.
4. Журавик Л., Лыткин Л.К., Никаноров В.И., Отвиновски С., Писарев А.Ф., Тяпкин А.А., Черненко Л.П., ОИЯИ, Р13-11016, Дубна, 1977.

5. Lytkin L., Polombo F., Tarantini M., Vegni G., Zaimidoroga O., JINR, E1 - 10718, Dubna, 1977.
6. Лыткин Л.К., Никаноров В.И., ЯФ т.24, в.6, 1205, 1976.
7. Абросимов А.Т., Лыткин Л.К. и др. Труды XVIII Международной конференции по физике высоких энергий. Тбилиси, июль 1976, ОИЯИ, Д I,2 - 10400, Дубна, 1976.
8. Frabetti P.L., Lytkin L.K. et. al., Preprint CERN - EP/79 - 42, 27 April 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел

19 июля 1979 года.