

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Λ 433

1-88-529

УДК 539.172.17

ЛЕСКИН
Виктор Анатольевич

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ
РЕЛЯТИВИСТСКИХ π^{\pm} -МЕЗОНОВ И ПРОТОНОВ
В СТОЛКНОВЕНИЯХ p, ^{12}C , ^{22}Ne
С ЯДРАМИ ФОТОЭМУЛЬСИИ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 4,5 А·ГэВ/с

Специальность: 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук,
профессор

Константин Дмитриевич
ТОЛСТОВ

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Юрий Александрович
БАТУСОВ

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Виктор Викторович
ПЛАГОЛЕВ

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва.

Автореферат разослан " _____ " 1988 г.

Защита диссертации состоится " _____ " 1988 г.

на заседании Специализированного совета Д-047-01.02 Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области, Лаборатория высоких энергий ОИЯИ, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Ученый секретарь
Специализированного совета

М.Ф. Лихачев

М.Ф. ЛИХАЧЕВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

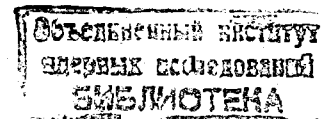
Актуальность проблемы. Ускорение тяжелых ионов до энергий, соответствующих нескольким ГэВ на нуклон, положило начало планомерному изучению в лабораторных условиях столкновений релятивистских ядер и возникающих при этом состояний высоковозбужденной ядерной материи. Исследование свойств ядерного вещества и частиц, рожденных в подобных экстремальных условиях, представляет значительный научный интерес.

Для понимания процессов, происходящих при соударении релятивистских ядер, важным является знание спектров вторичных частиц и их свойств в зависимости от масс сталкивающихся ядер и числа нуклонов, испытавших взаимодействие. Эта информация важна для проверки теоретических моделей, выделения и анализа явлений коллективного типа, интерпретации наблюдаемых эффектов. Решение этих задач позволит определить границы применимости моделей, в частности, описания взаимодействия ядер как суперпозиции столкновений независимых нуклонов.

Цель работы состояла в изучении неупругих столкновений ядер с рождением S-частиц, что предполагало:

- изучение спектров релятивистских π^{\pm} - мезонов и протонов, их выхода в зависимости от масс ядра-снаряда и ядра-мишени в центральных и периферических столкновениях;
- интерпретацию экспериментальных результатов и сравнение их с возможным механизмом взаимодействия.

Осуществление этих задач с использованием фотометода требует значительных усилий и тесно связано с актуальной проблемой автоматизации измерений. Поэтому одной из важных была задача создания пакета программ анализа информации при измерениях в ядерных фотоэмульсиях с помощью полуавтоматического микроскопа, организации математического обеспечения и полуавтоматических измерений многократного кулоновского рассеяния S-частиц.



Новизна и научная ценность работ. Новыми результатами являются спектры импульсов, углов вылета, быстрот, поперечных импульсов релятивистских ($\beta > 0,75$) π^{\pm} - мезонов и протонов, испытавших взаимодействие, выделенных в неупругих столкновениях p , ^{12}C , ^{22}Ne с ядрами фотоэмульсии при $\sim 4,5$ А-ГэВ/с, а также анализ изменений свойств спектров в зависимости от массы ядра-снаряда и мишени, в квазицентральных и периферических соударениях. При этом впервые получены соотношения выхода релятивистских однозарядных частиц: π^{\pm} - мезонов, протонов-участников и p -, d -, t - фрагментов ядер ^{12}C , ^{22}Ne . Получены соотношения выхода частиц в ансамбле Q - фрагментов покоящегося ядра ^{22}Ne . Результаты указывают на подобие форм импульсных спектров релятивистских π^{\pm} - мезонов, протонов-участников в рассматриваемых взаимодействиях, на подобие форм спектров кинетических энергий Q - фрагментов ядер фотоэмульсии и неона-22.

При анализе результатов и сравнении их с предсказаниями моделей выявлены новые закономерности поведения S - частиц. В частности, найдено, что спектры поперечных импульсов заряженных пионов и протонов-участников имеют двухкомпонентную структуру. Поперечный импульс, соответствующий высокоимпульсной компоненте спектра протонов в $^{22}NeEm$ взаимодействиях, и средний поперечный импульс протонов в событиях полного разрушения AQ , $B\gamma$ ядер совпадают. В этих событиях наблюдается значительное увеличение выхода π^{\pm} - мезонов в расчете на провзаимодействовавший протон и выполняется признак, свидетельствующий о возможной термализации протонов.

Полученные результаты важны для понимания динамики ядерных соударений и развития модельных представлений о механизме взаимодействия ядер при высоких энергиях.

Практическая ценность полученных результатов заключается в том, что они могут быть полезны при планировании новых экспериментов по исследованию взаимодействий релятивистских ядер. Программное обеспечение измерений на полуавтоматическом микроскопе и усовершенствованные в настоящей работе методические процедуры могут быть использованы в экспериментальных исследованиях эмульсионным методом.

Апробация работ. Результаты, изложенные в диссертационной работе, представлялись на I Всесоюзном семинаре по автоматизации научных исследований в ядерной физике и смежных областях (Душанбе, 1980), на Всесоюзной конференции по космическим лучам (Тбилиси, 1986), на Всесоюзной конференции по проблемам слабых и сильных взаимодействий и гравитации (Москва, 1987), на Международной конференции по ультрарелятивистским ядро-ядерным столкновениям (Нордкирхен, 1987),

на IX Международном семинаре по проблемам физики высоких энергий (Дубна, 1988), на сессии Отделения ядерной физики АН СССР в 1986 г., а также на семинарах ЛВЭ ОИЯИ, на совещаниях международного сотрудничества по исследованиям с помощью ядерных фотоэмульсий (ФЭК ОИЯИ), на специализированных семинарах по релятивистской ядерной физике ЛВЭ ОИЯИ.

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 12 работах.

Объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

Автор защищает:

1. Разработанный пакет программ анализа информации при измерениях в ядерной фотоэмульсии с помощью полуавтоматического микроскопа, математическое обеспечение и организацию измерений величин $p\beta$ релятивистских частиц в полуавтоматическом режиме.

2. Экспериментальные данные для изучения спектров π^{\pm} - мезонов и протонов в столкновениях p , ^{12}C , ^{22}Ne с ядрами фотоэмульсии при $\sim 4,5$ А-ГэВ/с. Результаты выделения релятивистских частиц: π^{\pm} , протонов-участников, p -, d -, t - фрагментов в исследуемых взаимодействиях.

3. Анализ свойств спектров π^{\pm} - мезонов и протонов в зависимости от массы ядра-снаряда и мишени, в центральных и периферических соударениях.

4. Сравнение спектров релятивистских частиц в $^{22}NeEm$ взаимодействиях с предсказаниями каскадно-испарительной модели, сравнение с моделью фэйрбола.

5. Анализ спектров поперечных импульсов релятивистских протонов-участников во взаимодействиях $^{22}NeEm$ и π^{\pm} - мезонов во взаимодействиях p , ^{12}C , ^{22}Ne с ядрами фотоэмульсии.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность и основная цель работы - исследование спектров π^{\pm} - мезонов и протонов в неупругих соударениях релятивистских протонов и ядер с ядрами, кратко излагается её содержание.

Первая глава диссертации посвящена вопросам, определяющим операции наблюдателя в режиме полуавтоматических измерений и их организацию, содержание, последовательность и объем записываемой информации, функции подпрограмм первичной обработки. Рассмотрены регистрирующие свойства ядерной фотоэмульсии, методические процедуры, связанные с измерениями, их трудоемкость. Предложен и использован в работе способ оценки плотности зерен на следах S - частиц с точностью, соответствующей отклонению на $1,5+2\%$ индивидуальных измерений от значений, найденных по множеству измерений. Описаны критерии выделения S -, Q -, b - частиц, включая многозарядные ($Z \geq 2$) фрагменты ядра-снаряда. Изложены вопросы методики измерения многократного кулоновского рассеяния частиц и вычисления величины $\rho\beta$. Рассмотрен ρ -метод оценки кулоновского рассеяния частиц, как наиболее эффективный, позволяющий исключать ложное рассеяние. Кратко описаны характеристики и свойства приборов, используемых в сопряжении для автоматизации.

Во второй главе излагаются функции и возможности программ, обеспечивающих на ЭВМ БЭСМ-6 анализ выводимой на перфоленту (п/л) первичной информации полуавтоматических измерений и хранение её в упакованном виде на магнитной ленте в виде файлов с именами и каталогом. Результаты измерений - несколько файлов, файл или часть его могут быть считаны с магнитной ленты для повторной обработки.

Пакет программ организован для обеспечения измерений многократного кулоновского рассеяния частиц, описаны алгоритмы расчета характеристики $\rho\beta$, сервисные возможности и режимы работы пакета. На рис. I показан оптимальный вариант структуры п/л с информацией о файлах, событиях, датах и наблюдателях, следах, эмульсионных слоях и результатах измерений (символы соответствующих блоков - EVENT76, EVENT, EVEN3, TRACK, EVEN5, PEDAL). На рисунке показан разделитель блоков информации - короткий прогон п/л, символ завершения измерений события-маркер END, признак окончания файла - длинный прогон, признак окончания вывода информации. Расшифровка информации при обработке осуществляется поблочно, путем поиска и опознавания маркерных заголовков блоков, имеющих жесткую структуру. Одновременно возможен поиск трех блоков в расчете на ошибки оператора. Предложенная организация измерений, структуры перфоленты и программ её анализа позволяет не только выявить все поддающиеся контролю нарушения в работе прибора и оператора, но и оптимально проводить коррекцию полученного экспериментального материала.

Результаты измерений импульсов, выполненных на следах пучковых протонов с $P_0 = 4,5$ ГэВ/с, $\rho\beta_0 = 4,4$ ГэВ/с в полуавтоматическом режиме свидетельствуют о надежности полуавтоматических измерений:

$$\overline{\rho\beta} = (4,45 \pm 0,09) \text{ ГэВ/с}; \quad \sigma = 0,7 \text{ ГэВ/с.}$$

В третьей главе представлены экспериментальные результаты, восполняющие практическое отсутствие фотоэмульсионных данных по спектрам вторичных релятивистских ($\beta > 0,75$) однозарядных частиц. Показаны способы и осуществлено выделение Π^\pm - мезонов и провзаимодействовавших протонов (участников). Получены их спектры для взаимодействий ρ , ^{12}C , ^{22}Ne с ядрами фотоэмульсии. Выделение подавляющего большинства пионов и протонов в ансамбле S - частиц проведено по результатам измерений величин $\rho\beta$ и относительной ионизации g/g_0 с использованием зависимости $g/g_0 = f(\rho\beta)$ ^{*)}. Выделение значительно меньшей части Π^\pm - мезонов и протонов проводилось статистически с привлечением спектров Π^\pm из $p\pi$ ($p\pi$)-столкновений ^{**)}. Средние импульсы пионов и протонов в pEm - столкновениях, полученные при разных способах выделения частиц, хорошо согласуются. В $^{12}\text{C}Em$ и $^{22}\text{Ne}Em$ - взаимодействиях S - частицы разделены на Π^\pm - мезоны, протоны-участники и p -, d -, t - фрагменты ядра снаряда. В работе предложен способ статистического выделения однозарядных фрагментов ядра-снаряда ^{6/}, использующий характеристики $\rho\beta$ следов, ошибки $\Delta\rho\beta$ в их измерении, свойства распределения однозарядных фрагментов снаряда вблизи малых $\rho\beta$ ^{***)}. Однозарядные фрагменты разделены на p -, d -, t - частицы. Найденные соотношения выхода p -, d -, t - фрагментов в $^{22}\text{Ne}Em$ столкновениях хорошо согласуются с результатами выделения этих частиц по характеристикам $1/\rho\beta$ ^{****)}. В таблице I даны соотношения выхода релятивистских однозарядных частиц во взаимодействиях ρ , ^{12}C , ^{22}Ne с ядрами фотоэмульсии.

Таблица I
Выход релятивистских Π^\pm - мезонов, протонов-участников и фрагментов ядра-снаряда в процентах

$A\rho$	Π^\pm	ρ	Фрагменты ядра-снаряда		
			p	d	t
P	65 ± 7	35 ± 4	-	-	-
^{12}C	59 ± 5	27 ± 3	$8,5 \pm 1$	$3,8 \pm 0,8$	$1,1 \pm 0,4$
^{22}Ne	51 ± 3	32 ± 2	11 ± 1	$4,7 \pm 0,6$	$1,5 \pm 0,4$

^{*)} Ритсон Д. Экспериментальные методы в физике высоких энергий. "Наука", М., 1964.

^{**)} А. Абдивалиев и др. ОИЯИ, РИ-82-507, Дубна, 1982.

^{***)} Марин А. и др. ЯФ, 1979, 29, с. 105

^{****)} Андреева Н.П. и др. ОИЯИ, РИ-86-828, Дубна, 1986

Из таблицы следует, что с увеличением массы снаряда A_p доля пионов уменьшается, доля протонов-участников изменяется незначительно, выход p -, d -, t - фрагментов снаряда составляет меньшую долю от S - частиц и растет примерно одинаково для частиц каждого типа. Фрагменты большей массы имеют меньший выход.

Получены спектры импульсов (рис.2), углов вылета, продольных быстрот, поперечных импульсов выделенных частиц π^\pm и p . Найдены их средние характеристики: $\langle P \rangle$, $\langle \theta \rangle$, $\langle y \rangle$, $\langle P_\perp \rangle$, средний выход π^\pm - мезонов на протон-участник $\langle N_\pi / N_p \rangle$ в исследуемых взаимодействиях, табл. 2, в центральных и периферических соударениях, выделенных по степени расщепления ядра-мишени N_n , табл.3, в зависимости от суммарного заряда фрагментов-спектаторов снаряда Q . Импульсы частиц в таблицах даны в МэВ/с.

Получен спектр кинетических энергий (T) p - частиц, найденный преобразованием S - частиц из $^{22}\text{NeEm}$ - взаимодействий к антилабораторной системе координат, рис.3. Спектр p - фрагментов покоящегося ядра ^{22}Ne и энергетический спектр Q - фрагментов ядер фотоэмульсии в $^{22}\text{NeEm}$ - взаимодействиях*), отнормированные на равное число частиц, условно принятых протонами, совпадают по форме. На рисунке показаны преобразованные спектры протонов-участников, протонов-фрагментов, π^\pm -мезонов и d , t из S - частиц. Их вклады в общий спектр в процентах соответствуют числам: 56, 19, 20, 5.

Таблица 2
Средние характеристики спектров π^\pm - мезонов и протонов

A_p, P_p	$p, 4,5 \text{ ГэВ/с}$	$^{12}\text{C}, 4,5 \text{ А}\cdot\text{ГэВ/с}$	$^{22}\text{Ne}, 4,1 \text{ А}\cdot\text{ГэВ/с}$
$\langle P_\pi \rangle$	710 ± 40	730 ± 30	650 ± 20
$\langle P_p \rangle$	2310 ± 80	2260 ± 70	2190 ± 50
$\langle \theta_\pi \rangle$	41 ± 3	$33,3 \pm 1,7$	$38,0 \pm 1,4$
$\langle \theta_p \rangle$	15 ± 1	$14,7 \pm 0,8$	$15,7 \pm 0,6$
$\langle y_\pi \rangle$	$1,08 \pm 0,06$	$1,27 \pm 0,05$	$1,14 \pm 0,04$
$\langle y_p \rangle$	$1,43 \pm 0,04$	$1,40 \pm 0,03$	$1,36 \pm 0,02$
$\langle P_{\pi\perp} \rangle$	320 ± 16	280 ± 14	280 ± 10
$\langle P_{p\perp} \rangle$	480 ± 30	490 ± 30	500 ± 20
$\langle N_\pi / N_p \rangle$	$2 \pm 0,2$	$2,2 \pm 0,2$	$1,6 \pm 0,1$
$\langle P_\pi \rangle$	700 ± 6	700 ± 6	620 ± 5
8 пр(пр)			

*) Антончик В.А. и др. ЯФ, 1987, 46, с.1344

Рис.1 Оптимальный вариант структуры перфоленты.

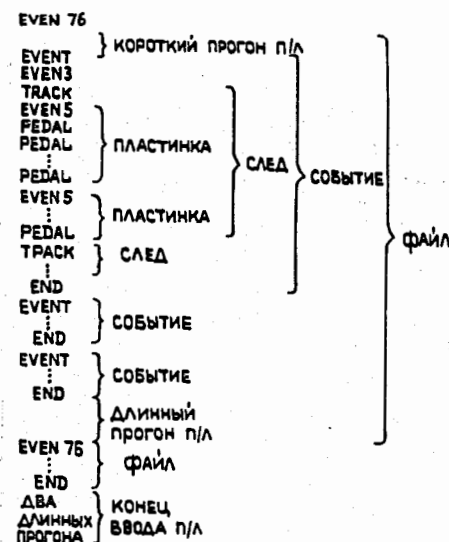


Рис.2 Спектры импульсов π^\pm - мезонов и протонов-участников, частицы с $\beta > 0,75$.

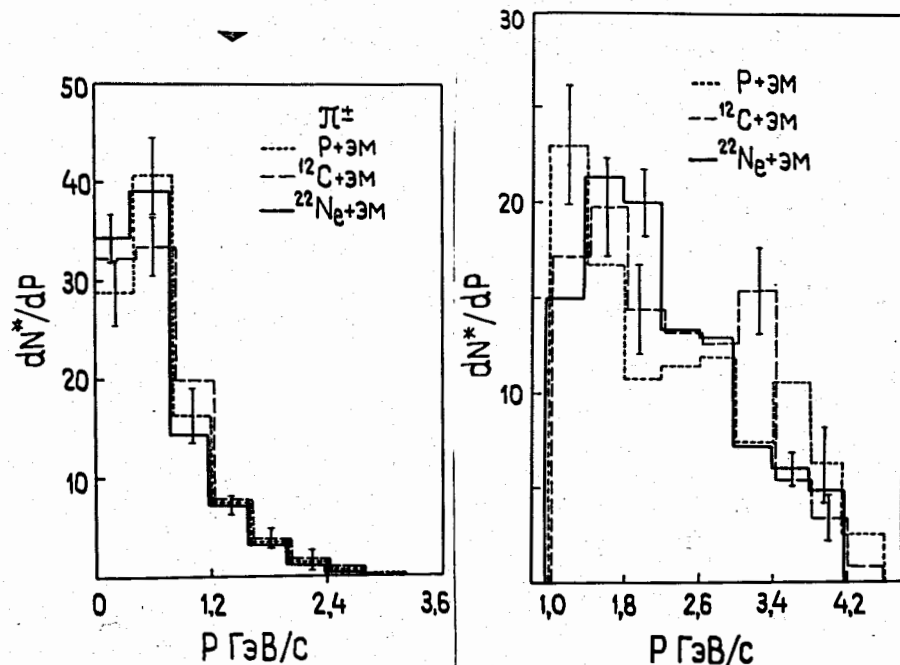


Рис.3. Распределения по кинетической энергии s - частиц из $^{22}\text{NeEm}$ -взаимодействий в системе покоя налетающего ядра и q -фрагментов ядер фотоэмульсии.

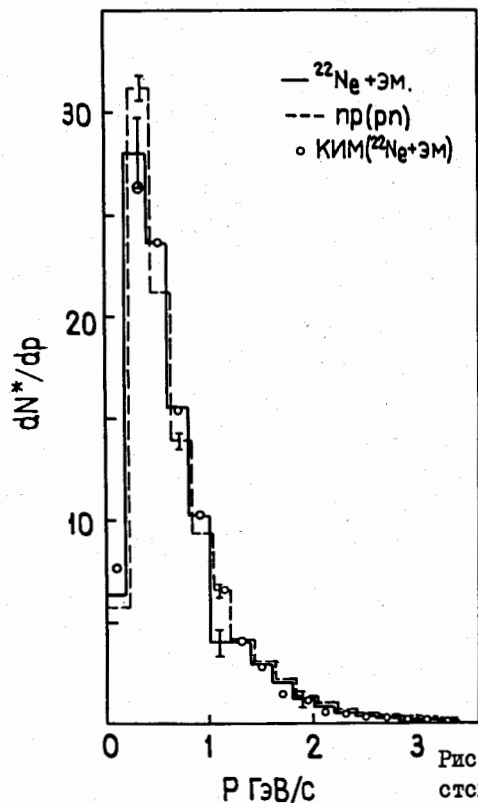
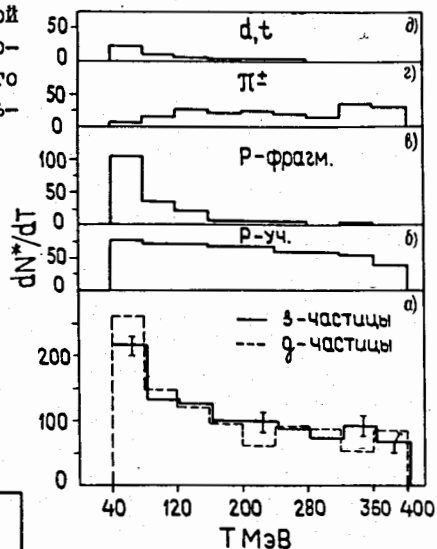


Рис.4. Импульсные спектры релятивистских ($\beta > 0,75$) π^\pm -мезонов.

В четвертой главе излагаются результаты анализа свойств экспериментальных спектров пионов и протонов и сравнения их с предсказаниями каскадно-испарительной модели (КИМ) и моделью Файербола. Средние импульсы, углы вылета, скорости и поперечные импульсы протонов-участников практически не зависят от массы A_p снаряда.

Средние импульсы π^\pm - мезонов в pEm - и $^{12}\text{C}Em$ - взаимодействиях практически одинаковы и близки к наблюдаемым в pr (pn)-столкновениях, что также характерно для пионов из $^{22}\text{NeEm}$ -соударений (табл.2). Спектры импульсов π^\pm - мезонов (и протонов-участников) практически одинаковы по форме во взаимодействиях разных снарядов. При аппроксимации распределений кинетических энергий π^\pm - мезонов в лабораторной системе координат зависимостью $f(T) = C \cdot \exp(-T/T_0)$ для частиц с $T > 80$ МэВ были получены близкие наклоны спектров (T_0) во взаимодействиях p , ^{12}C , ^{22}Ne с ядрами фотоэмульсии.

В столкновениях с малым расщеплением мишени ($N_h \leq 7$) импульсы пионов и протонов незначительно возрастают, усиливается их коллимация, заметно снижается число $\langle N_\pi / N_p \rangle$ (табл.3). Подобные свойства частиц наблюдаются и при переходе от квазицентральных соударений ядер к периферическим, выделенным по величине суммарного заряда Q . При этом средние скорости π^\pm - мезонов и протонов в крайне-периферических столкновениях $^{22}\text{NeEm}$, заметно увеличиваясь, сближаются.

Слабая зависимость импульсов частиц от числа нуклонов на их пути в ядре-мишени рассматривалась как указание на проявление длины формирования^{*)}.

Сравнение характеристик спектров пионов и протонов (всех протонов с $\beta > 0,75$) с расчетами, проведенными в рамках КИМ^{жж)}, является тестом возможного проявления коллективных взаимодействий частиц. Расчеты удовлетворительно описывают характеристики спектров пионов в полной совокупности $^{22}\text{NeEm}$ -соударений^{/10/}. Рис.4 демонстрирует совпадение расчетного (КИМ) и экспериментального импульсных спектров π^\pm - мезонов в $^{22}\text{NeEm}$ - взаимодействиях со спектром в pr (pn)-столкновениях при близких условиях. Модель систематически недооценивает рождение π^\pm - мезонов ($\langle N_\pi / N_p \rangle$), поэтому средние расчетные импульсы протонов выше экспериментальных. Расхождение наиболее велико в квазицентральных ($Q \leq 2$) и в событиях $^{22}\text{Ne} + Aq, Br$ с относительно большим числом нуклонов-участников ($N_h > 7$). Однако экспериментальные средние поперечные импульсы протонов выше расчетных, особенно в непериферических ($N_h > 7$)

*) Е.Л.Фейнберг, УФН, 1980, т.132, с.255.

жж) В.С.Барашенков и др. ОИЯИ, P2-83-II7, Дубна, 1983.

Таблица 3

Средние характеристики спектров π^{\pm} и протонов в зависимости от N_h

Ар, Рр N_h	$^{12}\text{C}, 4,5 \text{ А.ГэВ/с}$		$^{12}\text{C}, 4,5 \text{ А.ГэВ/с}$		$^{22}\text{Ne}, 4,1 \text{ А.ГэВ/с}$	
	≤ 7	> 7	≤ 7	> 7	≤ 7	> 7
$\langle P_{\pi^+} \rangle$	720 ± 50	680 ± 80	790 ± 60	700 ± 40	740 ± 40	620 ± 30
$\langle P_{\pi^-} \rangle$	2390 ± 90	2030 ± 150	2440 ± 90	2150 ± 90	2390 ± 50	2070 ± 50
$\langle \theta_{\pi^+} \rangle$	39 ± 3	46 ± 5	32 ± 3	33 ± 2	27 ± 2	43 ± 2
$\langle \theta_{\pi^-} \rangle$	13 ± 1	21 ± 3	$10,1 \pm 0,7$	$17,3 \pm 1,2$	$12,3 \pm 0,7$	$18,2 \pm 0,8$
$\langle \chi_{\pi^+} \rangle$	$1,13 \pm 0,08$	$0,94 \pm 0,1$	$1,33 \pm 0,08$	$1,24 \pm 0,06$	$1,45 \pm 0,06$	$1,02 \pm 0,05$
$\langle \chi_{\pi^-} \rangle$	$1,46 \pm 0,04$	$1,20 \pm 0,07$	$1,53 \pm 0,04$	$1,32 \pm 0,04$	$1,50 \pm 0,03$	$1,29 \pm 0,03$
$\langle P_{\pi^+} \rangle$	320 ± 20	340 ± 40	280 ± 20	280 ± 15	240 ± 14	290 ± 13
$\langle P_{\pi^-} \rangle$	430 ± 30	660 ± 80	390 ± 30	560 ± 40	430 ± 20	540 ± 20
$\langle N_{\pi^+}/N_p \rangle$	$1,8 \pm 0,2$	$2,5 \pm 0,4$	$1,8 \pm 0,2$	$2,4 \pm 0,3$	$1,2 \pm 0,1$	$1,8 \pm 0,1$

столкновениях $^{22}\text{Ne} + \text{Ag, Br}$ ядер (где различие соответствует $\sim 46^\circ$), а не в квазицентральных. Наблюдаемые изменения характеристик протонов и величины $\langle N_{\pi^+}/N_p \rangle$ свидетельствуют о проявлении в периферических $^{22}\text{Ne} + \text{Ag, Br}$ соударениях коллективного поперечного движения протонов, подобного отскоку и боковому выбросу фрагментов сталкивающихся ядер^{*)}, не учитываемых КИМ. Для $\sim 60\%$ взаимодействий $^{22}\text{NeEm}$, событий с малым числом нуклонов-участников ($N_h \leq 7$, либо $Q \geq 7$), наблюдается удовлетворительное согласие с КИМ. Наибольшие расхождения расчетов и экспериментальных данных соответствуют многонуклонным соударениям ядер (квазицентральных $^{22}\text{NeEm}$ и периферическим $^{22}\text{Ne} + \text{Ag, Br}$ столкновениям), где эффекты коллективного взаимодействия частиц значительны. В таких событиях ожидается возникновение возбужденной системы адронов - фэйрбола. Близость распадающейся системы к состоянию термодинамического равновесия можно связать с соотношением среднего поперечного и продольного импульсов частиц в событии в системе координат, где фэйрбол покоится:

$$R = \frac{2}{\pi} \frac{\langle P_{\perp} \rangle}{\langle P_{\parallel} \rangle}$$

В случае полной термализации $R = 1$ ^{**)}.

В таблице 4 даны параметры $\langle R^* \rangle$; полученные в с.п.м. NN - столкновений для протонов-участников из наборов событий, выделенных по разной степени расщепления ядер-мишеней.

Таблица 4
Параметр $\langle R^* \rangle$ в ансамблях событий $^{22}\text{NeEm}$ с разными N_h

N_h		0 + 5	6 + 25	≥ 26
$\langle P_{\perp} \rangle$	МэВ/с	386 ± 17	520 ± 20	564 ± 25
$\langle P_{\parallel} \rangle$	МэВ/с	500 ± 25	430 ± 20	390 ± 25
$\langle R^* \rangle$		$0,49 \pm 0,04$	$0,77 \pm 0,05$	$0,92 \pm 0,08$
$\langle N_{\pi^+}/N_p \rangle$		$1,2 \pm 0,1$	$1,6 \pm 0,1$	$1,84 \pm 0,12$

Изменения импульсов протонов, фактора $\langle R^* \rangle$ и $\langle N_{\pi^+}/N_p \rangle$ указывают на возможное проявление в $^{22}\text{Ne} + \text{Ag, Br}$ соударениях с полным расщеплением мишеней ($N_h \geq 26$) состояний, близких к равновесному $^{10}/$. Доля таких событий составляет более 12% от всех.

*) Б.П.Банник и др. ОИЯИ, Р1-87-546, Дубна, 1987.

**) В.Д.Тонеев и др. ЭЧАЯ, 1986, 17, 1093

Таблица подтверждает наблюдаемую зависимость характеристик частиц от числа нуклонов-участников взаимодействия.

Спектры поперечных импульсов пионов и протонов-участников в $^{22}\text{NeEm}$ столкновениях были аппроксимированы распределением Рэлея:

$$f(P_1) = (P_1/\sigma^2) \exp(-P_1^2/2\sigma^2).$$

Как и для фрагментов ядра-снаряда^{*)}, высокоимпульсная часть спектров частиц π^\pm и p не описывалась распределением Рэлея. При подгонке были получены высокие χ^2 и заниженные, по сравнению с экспериментальными величинами $\langle P_1 \rangle$, математические ожидания $\langle P_1 \rangle_\sigma = \sqrt{\pi/2} \sigma$.

В табл. 5 приведены результаты аппроксимации спектров двухрелевским распределением:

$$f(P_1) = \alpha (P_1/\sigma_1^2) \exp(-P_1^2/2\sigma_1^2) + (1-\alpha) (P_1/\sigma_2^2) \exp(-P_1^2/2\sigma_2^2),$$

где α - вклад первого члена распределения. Величины $\langle P_1 \rangle_n$ найдены следующим образом:

$$\langle P_1 \rangle_n = \alpha \langle P_1 \rangle_1 + (1-\alpha) \langle P_1 \rangle_2; \quad \langle P_1 \rangle_1 = \sqrt{\pi/2} \sigma_1; \quad \langle P_1 \rangle_2 = \sqrt{\pi/2} \sigma_2.$$

Значения импульсов в таблице даны в МэВ/с.

Таблица 5

Аппроксимация спектров P_1 протонов и π^\pm - мезонов двумя распределениями Рэлея

	A_p	$\langle P_1 \rangle_1$	$1-\alpha$	$\langle P_1 \rangle_2$	χ^2	$\langle P_1 \rangle_n$	$\langle P_1 \rangle_\Sigma$
π^\pm	^{22}Ne	170 ± 17	$0,5 \pm 0,1$	384 ± 14	0,6	277	280 ± 10
	^{12}C	190 ± 70	$0,7 \pm 0,4$	320 ± 35	0,8	281	280 ± 14
p	p	150 ± 10	$0,87 \pm 0,20$	340 ± 35	0,7	315	320 ± 16
	^{22}Ne	236 ± 44	$0,8 \pm 0,1$	560 ± 40	0,8	495	500 ± 20

Полученные значения $\langle P_1 \rangle_n$ и экспериментальные характеристики $\langle P_1 \rangle_\Sigma$ хорошо согласуются, низкие χ^2 свидетельствуют о надежной аппроксимации. Анализируя подгоночные параметры спектров π^\pm - мезонов, отметим, что доля частиц с малыми $\langle P_1 \rangle_1$ возрастает с увеличением A_p снаряда. Вероятно, это обусловлено возрастанием вклада периферических столкновений при увеличении массы A_p . Параметр $\langle P_1 \rangle_2$, соответствующий высокоимпульсной компоненте спектра протонов, связан с квазицентрными $^{22}\text{Ne} + \text{Ag, Br}$ соударениями. Подтверждением этому является близость параметра $\langle P_1 \rangle_2 = (560 \pm 40) \text{ МэВ/с}$ и величины $\langle P_1 p \rangle = (564 \pm 25) \text{ МэВ/с}$ в ансамбле событий с $N_n \geq 26$

*) Н.П. Андреева и др. ОИЯИ, РИ-86-828, Дубна, 1986.

(табл.4), где $\langle R^* \rangle \approx 1$ и значение $\langle N_\pi / N_p \rangle$ наибольшее. Полученные результаты указывают на испускание пионов и протонов двумя источниками. Возможно, это связано с наличием в фотоэмульсии двух существенно разных по массам групп ядер и с разной геометрией столкновений.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы:

1. Разработан пакет программ анализа первичной информации измерений в ядерных фотоэмульсиях с помощью полуавтоматического микроскопа, на основе пакета организовано математическое обеспечение измерений величин $p\beta$ релятивистских частиц. Пакет программ обеспечивает контроль измерений, возможность коррекции и запись информации на магнитную ленту в виде файлов с именами и может быть использован в режиме непосредственной связи электронного блока с ЭВМ.

Автоматизация измерений и сервисные возможности пакета программ позволили повысить точность, надежность измерений и увеличить производительность.

2. В неупругих взаимодействиях p , ^{12}C , ^{22}Ne с ядрами фотоэмульсии при импульсе $\sim 4,5 \text{ А.ГэВ/с}$ в ансамбле релятивистских ($\beta > 0,75$) частиц выделены π^\pm - мезоны и протоны-участники, для которых получены спектры импульсов, углов вылета и быстрот. Получены соотношения выхода релятивистских однозарядных частиц: π^\pm - мезонов, протонов-участников и p -, d -, t - фрагментов ядер.

3. Проведен анализ свойств спектров частиц в зависимости от массы ядра-снаряда и мишени, в центральных и периферических столкновениях.

Показана зависимость средних углов вылета, быстрот, поперечных импульсов, относительного выхода частиц (π^\pm и p) от числа нуклонов-участников в событии.

Установлено подобие форм импульсных спектров релятивистских π^\pm -мезонов (и протонов-участников) во взаимодействиях p , ^{12}C , ^{22}Ne с ядрами фотоэмульсии. Сделано заключение о том, что импульсы этих частиц незначительно зависят от числа нуклонов на их пути в ядре-мишени, при очень слабой зависимости импульсов от массы ядра-снаряда.

4. Получены соотношения выхода частиц в ансамбле g - фрагментов ядер ^{22}Ne в антилабораторной системе координат. Результаты указывают на одинаковую форму спектров кинетических энергий g - фрагментов ядер фотоэмульсии и g - фрагментов ядер ^{22}Ne .

5. В столкновениях ядер $^{22}\text{Ne} + \text{Ag}, \text{Br}$ с полным разрушением ядра-мишени подтверждено выполнение признака термализации протонов, предсказываемой моделью фэйрбола.

Установлено, что в непериферических соударениях $p, ^{12}\text{C}, ^{22}\text{Ne}$ с тяжелыми ядрами фотоэмульсии и во взаимодействиях $^{22}\text{Ne} + \text{Ag}, \text{Br}$ с полным разрушением ядер-мишеней наблюдается превышение на 40+50% выхода π^\pm - мезонов на протон-участник в сравнении с периферическими столкновениями ядер.

Рассмотрено возможное проявление коллективного поперечного движения s - протонов в непериферических $^{22}\text{Ne} + \text{Ag}, \text{Br}$ столкновениях.

6. Показано, что спектры поперечных импульсов релятивистских π^\pm - мезонов в столкновениях $p, ^{12}\text{C}, ^{22}\text{Ne}$ с ядрами фотоэмульсии и протонов-участников в $^{22}\text{NeEm}$ - взаимодействиях состоят из двух компонент с существенно различными средними значениями, что может быть интерпретировано как наблюдение двух источников испускания частиц.

Показано совпадение поперечного импульса, соответствующего высокоимпульсной компоненте спектра протонов в $^{22}\text{NeEm}$ - взаимодействиях и среднего поперечного импульса протонов в событиях с полным разрушением ядер Ag, Br и возможной термализацией протонов.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. В.А.Лескин, А.И.Салтыков, Г.С.Шабротова. Математическое обеспечение на БЭСМ-6 измерения импульсов частиц в ядерных фотоэмульсиях с помощью полуавтоматического микроскопа. ОИЯИ, 10-80-300, Дубна, 1980; I Всесоюзный семинар по автоматизации научных исследований в ядерной физике и смежных областях, Душанбе, "Дониш", 1980, с.219.

2. Б.П.Банник, С.Вокал, В.А.Лескин и др. Неупругие взаимодействия протонов при импульсе 4,5 ГэВ/с с ядрами фотоэмульсии. ОИЯИ, PI-13055, Дубна, 1980.

3. B.P.Bannik, S.Vokal, V.A.Leskin et.al. Inelastic Interactions with Photoemulsion Nuclei at 4,5 GeV/c. Czech. J.Phys., 1981, В 31, 490.

4. V.I.Bubnov, A.Sh.Gaitinov, ..., V.A.Leskin et.al. Nuclear Interactions of 4,5 GeV/c Protons in Emulsion and the Cascade-Evaporation Model. Z.Phys.A., 1981, 302, 133.

5. М.Карабова, В.А.Лескин, К.Д.Толстов, Импульсы и скорости π^\pm - мезонов и протонов в столкновениях ядер ^{12}C с ядрами фотоэмульсии при 54 ГэВ/с. ОИЯИ, PI-83-14, Дубна, 1983.

6. Г.С.Шабротова, Н.П.Андреева, ..., В.А.Лескин и др. Спектры релятивистских π^\pm - мезонов и протонов в неупругих взаимодействиях ядер ^{22}Ne с ядрами фотоэмульсии при импульсе 4,1 ГэВ/с на нуклон. ОИЯИ, PI-86-303, Дубна, 1986.

7. А.Вокалова, С.А.Краснов, ..., В.А.Лескин и др. Неупругие столкновения ядер неона-22 с ядрами в фотоэмульсии при импульсе 90 ГэВ/с. Краткие сообщения ОИЯИ, 12-85, с.15, Дубна, 1985.

8. В.А.Лескин, К.Д.Толстов. Импульсные спектры пионов и протонов в столкновениях $p, ^{12}\text{C}, ^{22}\text{Ne}$ с ядрами фотоэмульсии при 4,5 А-ГэВ/с. Краткие сообщения ОИЯИ, N17-86, Дубна, 1986.

9. Н.П.Андреева, З.В.Анзон, ..., В.А.Лескин и др. Множественности и угловые распределения заряженных частиц во взаимодействиях ядер ^{22}Ne в фотоэмульсии при импульсе 4,1 А-ГэВ/с. ОИЯИ, PI-86-8, Дубна, 1986; ЯФ, 1987, т.45, с.123.

10. С.Вокал, В.А.Лескин, К.Д.Толстов, Г.С.Шабротова. Спектры π^\pm - мезонов и протонов в центральных и периферических столкновениях $p, ^{12}\text{C}, ^{22}\text{Ne}$ с ядрами фотоэмульсии при 4,5 А-ГэВ/с. ОИЯИ, PI-88-215, Дубна, 1988.

Рукопись поступила в издательский отдел
15 июля 1988 года.