

Г-94



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1-80-292

ГУЛАМОВ
Кадыр Гафурович

**ИССЛЕДОВАНИЕ
МНОЖЕСТВЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ЧАСТИЦ
В СОУДАРЕНИЯХ
ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ АДРОНОВ (20-400 ГЭВ)
И ЛЕГКИХ ЯДЕР (НЕСКОЛЬКО ГЭВ/НУКЛОН)
С ЯДРАМИ**

Специальность: 01.04.01 - экспериментальная физика

**Автореферат диссертации на соискание ученой
степени доктора физико-математических наук**

Дубна 1980

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Физико-технического института им. С.В.Стародубцева и Лаборатории релятивистской ядерной физики Института ядерной физики Академии наук Узбекской ССР.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

И.М. ДРЕМИН

доктор физико-математических наук,
профессор

М.И. ПОДГОРЕЦКИЙ

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

В.А. СМЕРНИТСКИЙ

Ведущее научно-исследовательское учреждение -
Ленинградский институт ядерной физики им. Б.П.Константинова
Академии наук СССР.

Защита диссертации состоится "14" августа 1980 г.
в 11 часов на заседании специализированного совета Д-047.01.02
при Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных
исследований по адресу: г.Дубна, Московской области, Лаборатория
высоких энергий ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан "3" июля 1980 г.

Учёный секретарь
специализированного совета М.Ф. Лихачев М.Ф. Лихачев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований неупругих взаимодействий высокоэнергетических адронов и ядер с ядрами обусловлена рядом обстоятельств, вытекающих из логики развития физики высоких энергий и физики ядра. К наиболее общим из них можно отнести:

а) Трудности с решением проблемы множественного рождения частиц - процесса, составляющего большую часть полного сечения адронных взаимодействий большой энергии. Многолетнее развитие исследований по этой проблеме привело к ясному пониманию того, что механизм процесса обусловлен и связан со строением элементарных частиц и сложной пространственно-временной структурой их взаимодействий. Это, в свою очередь, привело к плодотворной идее об использовании атомных ядер в качестве уникального экспериментального анализатора этой структуры и для дискриминации различных теоретических подходов к проблеме.

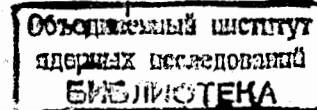
б) Идеи о перспективности изучения локальных свойств самого ядерного вещества в условиях экстремальных температур и плотностей, реализующихся при соударении релятивистских многобарийонных систем. Эти идеи привели к формированию нового научного направления - релятивистской ядерной физики.

Современное состояние исследований по физике взаимодействий релятивистских адронов и ядер с ядрами требует, в первую очередь, проведения экспериментов большого объема, покрывающих с помощью единой методики широкий диапазон первичных энергий, поиска и применения чувствительных к механизму рождения методов анализа данных, количественной проверки большого числа различных моделей явления.

Цель работы

- получение нового и значительного по объему экспериментального материала по взаимодействиям с ядрами при существующих ускорительных энергиях, характеризующегося широким диапазоном первичных энергий, используемых адронов и ядер-снарядов, единообразием условий и анализа экспериментов;

- систематический анализ широкого круга характеристик этих взаимодействий с упором на применение новых методов ана-



лиза к соударениям с ядрами и сравнительное исследование различных классов взаимодействий;

- количественная проверка различных модельных подходов к теории множественного рождения на ядрах и определение степени их адекватности эксперименту и области применимости.

Новизна работы. На основе единообразного анализа неупругих соударений протонов с $p_0 = 21, 24, 50, 67, 200$ и 400 Гэв/с, пионов с $p_0 = 50$ и 200 Гэв/с, ядер ^2H , ^4He и ^{12}C при $p_0 = 4, 5$ Гэв/с/нуклон и ^{14}N при $3, 0$ Гэв/с/нуклон с ядрами фотозумьсии установлен ряд новых эмпирических закономерностей адрон- и ядро-ядерных взаимодействий. Экспериментальные данные (суммарная статистика анализируемых в работе событий - более 30 тысяч) в большинстве случаев были получены впервые. Впервые апробированы и применены к соударениям с ядрами некоторые новые или ранее не применявшиеся (корреляционные) методы анализа; полученные с их помощью результаты в настоящее время являются единственными. На основе впервые проведенного сравнительного анализа адрон-нуклонных (hN), адрон-ядерных (hA) и ядро-ядерных (AB) соударений установлены неприменимость или ограниченность большого числа различных моделей множественной генерации в соударениях адронов и ядер с ядрами.

Научная и практическая ценность. Результаты диссертационной работы дают обширный фактический материал для апробации теоретических подходов к проблеме множественного рождения частиц при высоких энергиях, сильно ограничивают адекватность или область применимости существующих моделей и, следовательно, могут быть использованы (и используются) для построения реалистической теории множественных процессов и планирования будущих экспериментов по данной проблеме - одной из важнейших в физике сильных взаимодействий.

Апробированные в работе методы анализа взаимодействий с ядрами могут быть эффективно использованы при предстоящем продвижении в область более высоких ($\geq 10^{12}$ эв для адронов и $\geq 10^{10}$ эв для первичных ядер) энергий.

Ряд характеристик процессов рождения частиц в соударениях с ядрами и фрагментации ядер-снарядов и мишеней могут иметь

приложения в теории прохождения и взаимодействия космических лучей, радиационной физике и технике, задачах, связанных с радиационной защитой и т.д.

Апробация работы и публикации. Результаты, подытоженные в данной диссертационной работе, докладывались на XVIII и XIX Международных конференциях по физике высоких энергий (Тбилиси, 1976 г.; Токио, 1978 г.), Проблемном семинаре по множественному рождению на ядрах при очень высоких энергиях (Триест, 1976 г.), VII Международной конференции по физике высоких энергий и структуре ядра (Цюрих, 1977 г.), IV и V Международных семинарах по проблемам физики высоких энергий (Дубна, 1975 и 1978 гг.), I Международном совещании по ультрарелятивистским ядерным соударениям (Беркли, 1979 г.), Всесоюзном проблемном семинаре "Взаимодействия частиц и ядер высокой энергии с ядрами" (Ташкент, 1978 г.) и научных сессиях Отделения ядерной физики АН СССР 1975-1980 гг.

По материалам диссертации опубликовано 48 работ, в т.ч. 7 - обзорного типа (список - в конце автореферата).

На защиту выносятся следующие основные результаты:

1. Данные первого единообразного, систематического и сравнительного анализа адрон-нуклонных, адрон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействий в практически всей области существующих ускорительных энергий (первичные частицы и ядра: p (21, 24, 50, 67, 200, 400 Гэв/с), π^- (50, 200 Гэв/с), ^2H , ^4He , ^{12}C (4, 5 Гэв/с/Н), ^{14}N (3, 0 Гэв/с/Н)).

2. Данные апробации и применения к анализу соударений с ядрами ряда новых методов анализа множественных процессов и фрагментации ядер, в частности, - многочастичных (корреляционных) явлений.

3. Результаты количественного и (или) качественного сопоставления предсказаний большого числа теоретических подходов к адрон- и ядро-ядерным соударениям с экспериментальными данными, критического анализа этих моделей и установление пределов их применимости.

Более подробное изложение результатов диссертационной работы - в конце автореферата.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, двух приложений и списка литературы - всего 300 страниц машинописного текста, включая 98 рисунков, 27 таблиц и библиографию из 357 наименований.

СО Д Е Р Ж А Н И Е Р А Б О Т Ы

В первой главе диссертации изложены сведения об экспериментальном материале, анализируемом в работе. Обсуждена роль фотометода при изучении адрон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействий.

Экспериментальный материал диссертационной работы состоит из 13 ансамблей соударений адронов и легких ядер с ядрами фотозмульсии (протоны с $p_0 = 21, 24, 50, 67, 200$ и 400 Гэв/с, π^- -мезоны с $p_0 = 50^*$) и 200 Гэв/с, ядра ${}^2\text{H}$, ${}^4\text{He}$, ${}^{12}\text{C}$ при $p_0 = 4, 5$ Гэв/с/Н и ${}^{14}\text{N}$ при $p_0 = 3, 0$ Гэв/с/Н). В шести из них ($p\text{A}$, $200, 400$ Гэв/с; $\pi^- \text{A}$, 50 Гэв/с (магн. поле), 200 Гэв/с; ${}^2\text{HA}$, ${}^{12}\text{CA}$) материал или его часть были получены в рамках ряда международных и всесоюзных сотрудничеств, организованных ОИЯИ АН СССР или ФЭК ОИЯИ. Часть экспериментального материала по $p\text{A}$ (67 и 200 Гэв/с) и ${}^4\text{HeA}$ -взаимодействиям была предоставлена нам в порядке обмена краковской и варшавской группами. Автор пользуется случаем выразить глубокую признательность сотрудникам институтов Алма-Аты, Будапешта, Бухареста, Варшавы, Дубны, Кошице, Кракова, Ленинграда, Москвы и Улан-Батора - нашим коллегам по сотрудничеству - за совместную работу, а также д-рам Я. Бабеци и Э. Сжипчак - за обмен экспериментальными данными.

Суммарный "удельный вес" событий, измеренных ташкентской группой, в анализируемом экспериментальном материале составляет около 70%; при анализе используются исключительно результаты, полученные этой группой.

Для сравнительного анализа используются также 8 ансамблей адрон-нуклонных ($p\text{N}$ и $\pi^- \text{N}$) событий, отобранных и изме-

* При данном p_0 - два ансамбля событий, измеренных в стопках без магнитного поля и в его присутствии.

ренных в тех же эмульсионных стопках. Два эксперимента ($p\text{N}$, $p\text{A}$, 21 Гэв/с и $\pi^- \text{N}$, $\pi^- \text{A}$, 50 Гэв/с) выполнялись на эмульсии в присутствии сильного магнитного поля (180 килоэрстед).

Отбор, обработка и анализ событий во всех случаях производились единым образом.

Описаны вкратце:

а) техника просмотра (только "вдоль следа"; для AB -соударений полностью, а для hA -соударений частично - двойного, "быстро-медленного") эмульсионных стопок,

б) критерии отбора различных классов взаимодействий, в) техника разделения вторичных заряженных частиц на типы (релятивистские (s), "серые" (g), "черные" (b)),

г) критерии удаления электромагнитных, упругих, когерентных (из hA) событий и соударений со свободным водородом (также из hA),

д) методики угловых и импульсных (для hA , hN - по кривизне в магнитном поле при 21 и 50 Гэв/с, для AB - по многократному кулоновскому рассеянию в области фрагментации снарядов) измерений и достигнутые при этом точности,

е) техника идентификации частиц в случаях, когда она производилась (в частности, - фрагментов ядер-снарядов в AB -соударениях).

Во второй главе описаны данные по множественности различных типов заряженных частиц. В первой части главы проанализированы множественности из hA -соударений; основные результаты анализа таковы:

С увеличением p_0 средние множественности релятивистских частиц $\langle n_s \rangle$ в hA -соударениях растут быстрее, чем в hN -, так что в области $20-400$ Гэв/с величина отношения $R = \langle n_s \rangle_{\text{hA}} / \langle n_s \rangle_{\text{hN}}$, а также и другие подобные меры мультипликации множественности, растут с p_0 . Интересно, что при заданном p_0 и для мишени с фиксированным массовым числом A $\langle n_s \rangle_{p\text{A}} > \langle n_s \rangle_{\pi^- \text{A}}$, в то время как для элементарного акта $\langle n_s \rangle_{\pi^- \text{N}} > \langle n_s \rangle_{p\text{N}}$, так что $R_{p\text{A}}$ существенно больше $R_{\pi^- \text{A}}$.

Зависимость $\langle n_s \rangle_{\text{hA}}$ от A оказывается очень слабой для всех анализируемых ансамблей hA -соударений. Что касается количественных данных, то они обсуждаются для двух популярных представлений

$$R_{hA} \sim A^\alpha \quad (1)$$

и

$$R_{hA} = (a + b\langle v \rangle), \quad (2)$$

где $\langle v \rangle = A \sigma_{hN}^{insl} / \sigma_{hA}^{prod}$ — величина, имеющая смысл среднего числа пробегов поглощения снаряда в ядре A или, в рамках многих моделей, среднего числа внутриядерных нуклонов, участвующих в неупругих соударениях с налетающим адроном. В работе показано, что степенная параметризация (1) не является адекватной, т.к. величина параметра α в ней зависит от области изменения A , способа нормировки данных и типа частиц. Преимуществом представления (2) является, как известно, выполнение правила (" $\langle v \rangle$ -скейлинг"): величина R_{hA} определяется только величиной $\langle v \rangle$, независимо от типа налетающего адрона. В работе показано, что это правило носит приближенный характер, в частности, значения параметров в (2) зависят от ρ_0 : аппроксимация данных диссертации при 50 и 200 Гэв/с дает $(0,56 \pm 0,01) + (0,45 \pm 0,01)\langle v \rangle$ и $(0,41 \pm 0,01) + (0,55 \pm 0,01)\langle v \rangle$ соответственно.

В работе детально проанализированы n_s -распределения. Показано, что из многих феноменологических формул, используемых для аппроксимации множественности, наилучшее описание n_s -распределений обеспечивается двухпараметрическим распределением Пойа. При анализе скейлинговых свойств n_s -спектров доказано, что: 1) n_s -распределения удовлетворяют КНО-скейлингу, 2) степень нарушения точного КНО-скейлинга одинакова в hA - и hN -соударениях, в частности, величина $M/\langle n \rangle$ (M — мода распределения) одинаково зависит от ρ_0 в обоих классах соударений, 3) форма КНО-функции зависит от A , 4) из ряда конкретных параметризаций КНО-функции, описанных в литературе, наилучшее описание n_s -спектров достигается функцией Де Гроота I , 5) вид КНО-функции зависит от рассматриваемого типа частиц, в частности, он различен для s -частиц и для полной множественности заряженных частиц $n = n_s + n_h$.

Для сильноионизирующих частиц, наряду с известной устойчивостью характеристик n_s -, n_b - и n_h -распределений к изменению ρ_0 , представляются важными два наблюдения: 1) отношения средних множественностей таких частиц в pA - и πA -соударениях

отличны от единицы, и в пределах ошибок опыта совпадают с величиной отношения $\langle v \rangle_{pA} / \langle v \rangle_{\pi A}$, 2) в "скейлинговых" переменных $n_i / \langle n_i \rangle$ распределения одинаковы в pA - и πA -взаимодействиях.

В диссертации изучены различные типы корреляционных связей между множественностями. Так, например, установлено, что отношение $\langle n_s \rangle / D$ (D — стандарт распределения) существенно возрастает с n_g ; интегральный коррелятор $f_2 = D^2 - \langle n \rangle$ для n_g -распределений возрастает с n_s , что указывает на возрастание степени неоднородности n_g -распределений с увеличением n_s .

Вторая часть второй главы диссертации посвящена обсуждению множественности заряженных частиц в AB -соударениях. Это обсуждение дает основание для следующих выводов.

Средние множественности $\langle n_s \rangle$, $\langle n_g \rangle$, $\langle n_b \rangle$ (стриппинговые фрагменты снаряда не включаются в эти множественности) в AB -соударениях существенно зависят (возрастают) от массового числа как ядра-мишени (A_M), так и снаряда (A_C).

Весьма интересны зависимости множественностей от числа провзаимодействовавших нуклонов снаряда — n_{B3} , грубая оценка которого может быть получена для рассматриваемых ядер-снарядов из соотношения

$$n_{B3} = A_C - 2Q, \quad (3)$$

где Q — полный заряд стриппинговых фрагментов. Множественности быстро растут с уменьшением Q (ростом n_{B3}). Хотя качественно зависимости $\langle n_i(Q) \rangle$ одинаковы для всех типов обсуждаемых частиц, количественно они заметно отличаются. Величина отношения $\langle n_i \rangle / n_{B3}$ приблизительно независима от n_{B3} , что не противоречит простым моделям "суперпозиционного" типа, в которых AB -соударения описываются как некогерентная сумма независимых нуклон-ядерных взаимодействий. С другой стороны, известно, что в pEm -соударениях при рассматриваемых ρ_0 $\langle n_s \rangle$ не больше, чем в pN -взаимодействиях, т.е. эффекты поглощения оказывают заметное влияние на множественность ливневых частиц. Поэтому тот факт, что в AB -соударениях величина $\langle n_s \rangle / n_{B3}$ имеет, как показывают данные, существенную A_M -зависимость, свидетельствует о большой роли экранировки (трейлинг-эффекта) и о бо-

лее сложной картине взаимодействия, чем в простых суперпозиционных моделях.

В АВ-соударениях на множественности вторичных частиц заметным образом сказываются различные "геометрические" факторы. Так, для АВ-соударений в эмульсии, в событиях с максимальными Q для данного A_c , $\langle n_g \rangle$ и $\langle n_s \rangle$ меньше, чем в pEm -взаимодействиях при той же энергии. Даже в группах ^{12}CEm и αEm -взаимодействий с $Q = 4$ и $Q = 1$ соответственно, где $\langle n_{g3} \rangle \approx 4$ и 2 , множественность серых и черных треков, характеризующая степень развития внутриядерных соударений и возбуждения мишени, заметно ниже, чем в pEm -соударениях, хотя, разумеется, $\langle n_s \rangle_{\alpha Em} > \langle n_s \rangle_{pEm}$.

Эти наблюдения показывают, что соударения со стриппинговыми частицами в конечном состоянии – суть периферические взаимодействия сталкивающихся ядер. В работе также, например, получено, что A_c -зависимость $\langle n_g \rangle$ оказывается значительно сильнее для тяжелых ядер-мишеней, чем для легких – обстоятельство, очевидно связанное с малостью числа нуклонов в легких ядрах эмульсии.

В диссертации получены и обсуждаются количественные данные об A_m - и A_c -зависимостях средних множественностей различных типов заряженных частиц, а также $\langle Q \rangle$ и $\langle n_{g3} \rangle$ в АВ-соударениях. При этом получены сведения о некоторых общих закономерностях поведения изучаемых характеристик процессов с A_c и A_m . Так, оказывается, что соотношение множественностей g - и b -частиц зависит от A_c и Q таким образом, что с их ростом быстро увеличивается число нуклонов мишени, выбиваемых в "прямых" процессах, тогда как степень возбуждения остаточного ядра изменяется существенно слабее. A_c -зависимости $\langle n_s \rangle$ и $\langle n_g \rangle$ оказываются очень близкими друг к другу (особенно для тяжелых ядер-мишеней), указывая на близость механизмов образования g - и s -частиц в АВ-соударениях при рассматриваемых энергиях. Можно также отметить, что A_c -зависимость $\langle n_{g3} \rangle$, как и следовало ожидать из соображений симметрии, оказывается весьма близкой к A_m -зависимости средних множественностей сильноионизирующих частиц.

Интересен вопрос о зависимости формы n_s -распределений в скейлинговых переменных в АВ-соударениях от A_c и A_m , в особенности по сравнению с pp -взаимодействиями. Данные, полученные в диссертации, показывают, что n_s -распределения подобны таковым для pp – только для легких ядер-снарядов. С увеличе-

нием A_c это подобие нарушается, и тем сильнее, чем больше A_c . В работе установлено, что причиной такого нарушения является существенная зависимость формы n_s -спектров от n_{g3} , т.е. это связано с наличием дополнительного, по сравнению с элементарным актом, источника флуктуаций множественности. Это особенно наглядно проявляется в сильной зависимости величины отношения $\langle n_s \rangle / D$ от n_{g3} – с ростом n_{g3} $\langle n_s \rangle$ растут существенно быстрее, чем стандарты распределения D . Характер этой зависимости, как показано в диссертации, количественно согласуется с моделями многократного рассеяния.

В заключении раздела рассмотрены различные корреляционные зависимости между множественностями различных типов заряженных частиц. Качественно корреляции между множественностями из АВ-соударений подобны таковым для hA -взаимодействий при высоких энергиях.

Третья глава диссертации посвящена рассмотрению одночастичных распределений в hA - и АВ-соударениях. Изучались распределения по $\eta = \ln \text{ctg}(\theta/2)$ (псевдобыстрота) для ливневых частиц из всех классов соударений, распределения по θ и $\cos \theta$ для сильноионизирующих частиц из АВ-взаимодействий, импульсные и быстрое (у) распределения различных типов рожденных частиц и энергораспределение между ними в экспериментах с магнитным полем.

Проведенный анализ позволяет выделить следующие наиболее важные общие свойства η -распределений в hA -взаимодействиях (см. примеры инклюзивных η -спектров на рис. I).

В интервале 20–400 Гэв/с η -распределения в областях фрагментации мишени и снаряда удовлетворяют гипотезе масштабной инвариантности как для инклюзивных ансамблей, так и для событий с фиксированными n_g (прицельными параметрами). Наряду с этим обнаруживается сильное нарушение "скейлинга в среднем" – подобия формы "нормированных" продольных распределений при разных p_0 и A .

С увеличением A происходит характерное изменение формы распределений, количественно различное для pA - и πA -соударений, при этом $\langle \eta \rangle$ уменьшается так, что сдвиг η -спектров

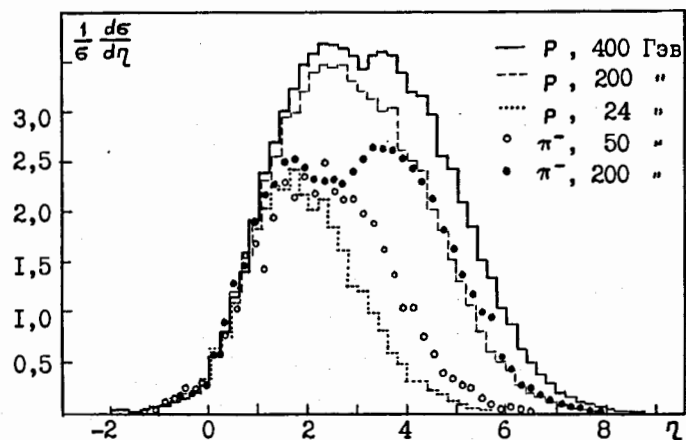


Рис.1. Инклюзивные η -распределения для hA -соударений в эмульсии при некоторых P_0 .

происходит P_0 -независимым образом, а $D(\eta)$ не увеличивается или слабо уменьшается.

Форма η -спектров зависит от типа адрона-снаряда - обнаружены бимодальность η -распределений в π^-A -взаимодействиях при 200 Гэв/с и указание на появление такой же структуры для pA -соударений при 400 Гэв/с.

Указанные свойства в той или иной мере присущи и другим "продольным" (по y , $P_{||}$ и т.д.) распределениям для различных типов вторичных частиц (π^+ , π^- , p) в pA -соударениях при 21 Гэв/с и π^-A -при 50 Гэв/с (опыты в магнитном поле).

Для более детального рассмотрения P_0 - и A -зависимостей "продольных" спектров частиц анализировались разности $d(\eta) = \rho_{hA}(\eta) - \rho_{hN}(\eta)$ и отношения $z(\eta) = \rho_{hA}(\eta) / \rho_{hN}(\eta)$ инклюзивных спектров $\rho(\eta) = \epsilon_{in}^{-1} (d\epsilon_{in} / d\eta)$ в зависимости от η , P_0 , n_s , A (и типа вторичных частиц - для магнитных экспериментов). На рис.2 представлены примеры величины $z(\eta)$ для pA -соударений. На опыте наблюдается:

1) монотонное убывание числа наиболее быстрых (большие η , y , $P_{||}$) частиц при увеличении n_s и A , связанное как с лидирующими ("сохранившимися"), так и с рожденными в области

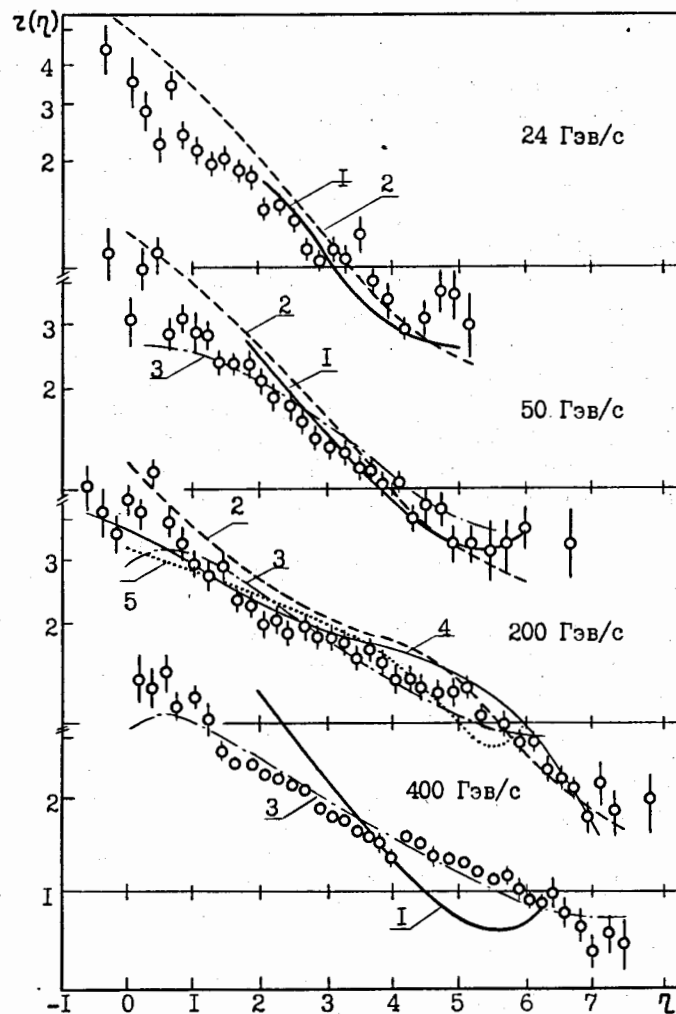


Рис.2. $z(\eta)$ в зависимости от η в pA -соударениях. Кривые - расчеты по моделям партон-адронного каскада (1), аддитивной кварковой модели (2), Капеллы-Крживицкого (3), гидродинамической модели (4), модели каскада лидирующей частицы (5). Кривые (1), (2) - из работ [2,3] соответственно.

фрагментации снаряда частицами, и зависящее от типа снаряда ; 2) существенное возрастание числа медленных рожденных частиц при увеличении n_2 , $\langle v \rangle$, A ; 3) непрерывное изменение степени мультипликации числа рожденных частиц с изменением η (или y , ρ_{II}) при увеличении A для всех η (или y , ρ_{II}), за исключением "особой" точки η_0 (y_0 , ρ_{II0}), в которой $z(\eta_0) = 1$; 4) ρ_0 -независимость длины интервала псевдобыстрот (или y), в котором отношение $z(\eta)$ меньше единицы, и его зависимость от типа снаряда (для p и π^-).

В работе проанализированы спектры поперечных импульсов частиц в pA - и π^-A -соударениях при 21 и 50 Гэв/с. Оказалось, что хорошо известное отсутствие A -зависимости $\langle p_{\perp} \rangle_{\pi^{\pm}}$ в hA -взаимодействиях во многом обусловлено взаимной компенсацией двух эффектов - увеличения $\langle p_{\perp} \rangle$ для быстрых π^{\pm} и уменьшения $\langle p_{\perp} \rangle$ за счет дополнительного рождения на ядрах очень медленных (сотни Мэв/с) пионов. Наблюдены также эффекты, связанные с "лидированием" и примесью релятивистских протонов отдачи среди положительно заряженных частиц при малых y . Так, в pA -соударениях $\langle p_{\perp} \rangle$ для протонов существенно больше, чем для π^{\pm} -мезонов (как и в элементарном акте) и растет с A ; при этом $\langle p_{\perp} \rangle_p$ существенно возрастает с углом вылета протонов, что свидетельствует о перерассеянии лидирующего протона внутри ядра-мишени. В π^-A -соударениях также угловые зависимости $\langle p_{\perp} \rangle$ различны для π^+ и π^- -мезонов. Данные свидетельствуют о слабом возрастании $\langle p_{\perp} \rangle$ в hA -соударениях с P_0 .

В диссертации рассмотрены вопросы, связанные со спектрами лидирующих частиц (пример на рис.3а) и протонов отдачи (рис.3б, в, г) в hA -соударениях. Показано, что спектры лидирующих частиц в hA -взаимодействиях существенно "смягчаются" по сравнению с таковыми в hN -соударениях, а полное число лидеров в рассмотренной области $x = E_A/E_0$ существенно уменьшается ($0,50 \pm 0,03$ и $0,62 \pm 0,02$ в pA - и pN -соударениях при 21 Гэв/с). Уменьшение числа лидирующих частиц сопровождается увеличением их поперечного импульса ($0,63 \pm 0,04$ и $0,50 \pm 0,01$ Гэв/с для лидеров из pA - и pN -соударений соответственно).

Известно (рис.3в), что при относительно небольших ($p \leq 1$ Гэв/с) импульсах протонов отдачи A -зависимость их множественности существенно зависит от p - увеличивается с умень-

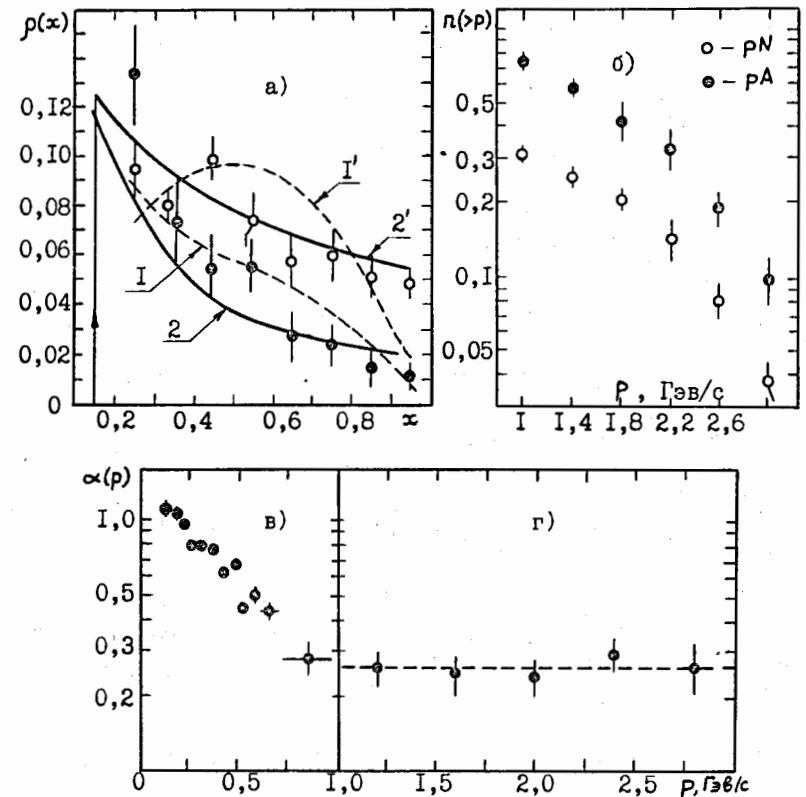


Рис.3. а) Распределения лидирующих протонов по $x = E_A/E_0$ в pA - и pN -соударениях при 21 Гэв/с. Кривые 2, 1' - расчет по модели каскада лидирующей частицы для pA -соударений при выборе $\rho(x)$ в pN -соударениях в виде 2', 1'.

б) интегральные импульсные распределения релятивистских протонов отдачи в pA - и pN -соударениях при 21 Гэв/с.

в) $\pi^-^{12}C$ -соударений при 40 Гэв/с $\alpha(p)$ для $\rho_{hA}(p)/\rho_{hN}(p) \sim A^{\alpha(p)}$,
 г) pA -соударений при 21 Гэв/с.

шением ρ . В диссертации установлено, что для релятивистских ($1 \text{ ГэВ/с} < p < 3,1 \text{ ГэВ/с}$) протонов отдачи из pA -соударений при 21 ГэВ/с : а) импульсное распределение $\rho_{pA}(p)$ совпадает по форме с $\rho_{pN}(p)$, б) величина отношения $\rho_{pA}(p)/\rho_{pN}(p)$ в пределах ошибок не зависит от p , в) A -зависимость числа релятивистских протонов отдачи (при параметризации A^α) имеет вид $A^{0,26 \pm 0,02}$.

Анализ энергораспределения между вторичными частицами из pA - и π^-A -соударений при 21 и 50 ГэВ/с приводит к следующим выводам:

1) Доля энергии, уносимая протонами из pA -соударений, зависит от кинематической области: "лидирующие" протоны теряют энергию заметно (для парциального коэффициента неупругости в л.с.к. $K_p' \sim A^\alpha$, $\alpha = -0,16 \pm 0,04$), но этот эффект "смазывается" увеличением числа релятивистских протонов отдачи, у которых $K_p'' \sim A^{0,3 \pm 0,1}$. Как результат - для всех релятивистских протонов $K_p \sim A^{-0,06 \pm 0,02}$. "Лидирующие" π^- -мезоны из π^-A -соударений теряют энергию слабее: $K \sim A^{-0,05 \pm 0,02}$.

2) Парциальные коэффициенты неупругости рожденных частиц слабо зависят от A : $K \sim A^{0,04 \pm 0,02}$.

Таким образом, весьма слабая A -зависимость парциальных коэффициентов неупругости, отмечавшаяся во многих работах, и заметные энергетические потери лидирующих частиц - вполне совместимы при рассмотренных p_0 .

Во второй части этой главы рассмотрены угловые распределения в AB -взаимодействиях.

Для сильноионизирующих частиц основные результаты таковы:

Угловые распределения g - и b -частиц асимметричны вперед для всех Q и π_g -групп анализируемых в работе AB -соударений. При этом угловые распределения b -частиц в пределах ошибок опыта не зависят от Q , A_c и A_M . Что касается g -частиц, их угловые распределения устойчивы к изменению Q и A_c , но зависят, хотя и слабо, от A_M : для g -частиц коэффициент асимметрии слабо уменьшается с ростом A_M ; при этом наблюдается столь же слабый рост дисперсии углового распределения. Данные показывают, что эта особенность угловых распределений g -частиц обусловлена слабым уменьшением коэффициента асимметрии с ростом π_g при взаимодействии рассматриваемых ядер-снарядов

с тяжелыми ядрами эмульсии, что может быть связано с перерас-сеяниями протонов отдачи внутри тяжелой мишени.

Наконец, отметим, что хотя угловые распределения g - и b -частиц анизотропны, они не обнаруживают каких-либо статистически обеспеченных особенностей, могущих быть связанными с механизмом типа ядерных ударных волн.

Так же как и для hA -соударений, для детального анализа угловых распределений ливневых частиц изучались отношения инклюзивных плотностей $z(\eta) = \rho_1(\eta)/\rho_2(\eta)$ для различных ансамблей AB -соударений. На рис.4 представлены, как пример, η -зависимости параметра $\alpha_M(\eta)$, определенные из отношений вида

$$z(\eta) = \rho_{A_c-A_{Bp}}(\eta)/\rho_{A_c-CNO}(\eta) \sim A_M^{\alpha_M(\eta)} \quad (4)$$

Данные дают основания для следующих выводов.

Увеличение A_M в AB -соударениях ведет к существенному росту числа медленных (малые η) релятивистских частиц и существенному убыванию наиболее быстрых (большие η) ливневых частиц. Заметим, что, в отличие от s' -частиц, в s -частицы в AB -соударениях включены однозарядные фрагменты ядра-снаряда,

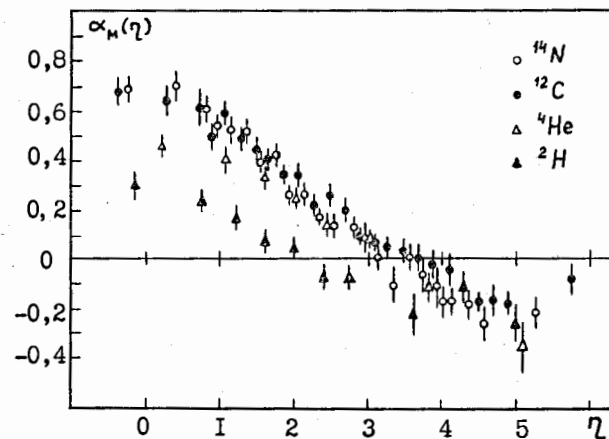


Рис.4. η -зависимость параметра $\alpha_M(\eta)$ из параметризации (4).

с которыми и связано почти целиком убывание $\tau(\eta)$ при больших η . Величина $\tau(\eta)$ (4) меняется с η монотонно, так что не имеется какого-либо интервала псевдобыстрот, в котором отсутствовала бы A_M -зависимость $\rho_{AB}(\eta)$, за исключением точки η_0 , при которой $\tau(\eta_0) = 1$; при этом величина η_0 , по-видимому, слабо возрастает с A_c . В области фрагментации снаряда A_M -зависимость $\rho_{AB}(\eta)$, как и в hA -соударениях в широкой области P_0 , согласуется с поведением $A_M^{-2/3}$ для всех рассматриваемых A_c . В области малых η ($\eta < \eta_0$) величина α_M существенно зависит от A_c и изменяется от $\alpha_M \approx 0,3$ для dA_M -соударений (что близко к тому, что наблюдается для hA -соударений при рассматриваемых P_0) до $\alpha_M \approx 0,7$ для $^{12}CA_M$ - и $^{14}NA_M$ -соударений.

Для отношения (4) в ансамблях событий с фиксированными Q (или n_{B3}) увеличение A_M также ведет к деформации η -спектров s -частиц; при этом важно, что деформация тем сильнее ($\tau(\eta)$ тем больше отличается от 1), чем больше n_{B3} (меньше Q). Очевидно, что этот эффект связан с большей вероятностью повторных взаимодействий нуклонов снаряда на тяжелых ядрах эмульсии по сравнению с легкими.

При рассмотрении A_c -зависимости $\rho_{AB}(\eta)$ было установлено, что с ростом A_c инклюзивные плотности возрастают во всей области η ; при этом A_c -зависимость $\rho_{AB}(\eta)$ монотонно увеличивается с η . Если использовать параметризацию $\rho(\eta) \sim A_c^{\alpha_c(\eta)}$, то $\alpha_c(\eta)$ при больших η качественно следует поведению, вытекающему из выражения $\alpha \approx \frac{2}{3} + \frac{1}{3}(P/P_0)$ (P - импульс инклюзивной частицы), предложенного А.М.Балдиным для кумулятивного рождения, и при максимальных η эксперимент дает $\alpha_c \approx 1$ для рассмотренных A_c . Наконец, отметим, что для заданных A_M и A_c $\rho(\eta)$ существенно зависит от Q (или n_{B3}), что легко понять из геометрических соображений, учитывая, что отбор событий по Q (или n_{B3}) соответствует ограничению пределов изменения прицельных параметров AB -взаимодействия.

В заключении раздела рассмотрены некоторые общие характеристики угловых распределений ливневых частиц в AB -соударениях. Так, показано, что, так же как в hA -соударениях, $\langle \eta \rangle$ монотонно уменьшается с ростом n_B и n_{B3} (уменьшением Q). При этом степень уменьшения $\langle \eta \rangle$ приблизительно оди-

накова как для s -, так и s' -частиц. Данные показывают также, что η -распределения в AB -взаимодействиях сужаются ($D(\eta)$ уменьшается) с ростом n_B и n_{B3} .

В четвертой главе изложены результаты комплексного изучения корреляционных явлений в hA - и AB -взаимодействиях. Для этой цели в работе использовались:

а) Аппарат двухчастичных корреляционных функций (КФ). Его применение к соударениям с ядрами характеризуется рядом дополнительных, по сравнению с hN -взаимодействиями, трудностей, связанных с наличием псевдокорреляционных эффектов, обусловленных неоднородностью событий вследствие распределения $P(\nu)$. Их обсуждению уделено значительное внимание, для количественного учета псевдо- и кинематических корреляций использовались расчеты КФ в простой модели независимого испускания частиц (ИЕМ).

В качестве аргументов КФ для ливневых частиц использовались быстроты или псевдобыстроты, для сильноионизирующих частиц предложено использовать в качестве аргументов $\cos \theta$. В работе реализована идея о возможности и эффективности использования КФ для поиска ядерных ударных волн (ЯУВ) при столкновениях релятивистских ядер.

б) Ряд характеристик азимутальных корреляций - коэффициенты азимутальной асимметрии и коллинеарности для инклюзивных ϵ -распределений ($\epsilon_{ij} = \arccos(\vec{z}_i \vec{z}_j / z_i z_j)$, \vec{z} - поперечный импульс), средние значения этих коэффициентов в индивидуальных актах, распределение и среднее значение угла Φ_k между направлениями преимущественного испускания двух групп частиц из одного события.

Изучались внутри- и междугрупповые корреляции (между частицами разных типов или одного типа, но из разных кинематических областей соударений).

В работе были получены точные формулы для значений азимутальных характеристик в моделях ИЕМ и цилиндрического фазового объема (СРБ).

в) Удельная ассоциативная множественность $\delta = (\langle n_2 \rangle_{\epsilon_2 > \pi/2} - \langle n_2 \rangle_{\epsilon_2 < \pi/2}) / (\langle n_2 \rangle_{\epsilon_2 > \pi/2} + \langle n_2 \rangle_{\epsilon_2 < \pi/2})$ частиц-"партнеров" типа 2, сопутствующих вылету инклюзивной ("триггерной") частицы 1 в два-

длинноживной реакции $a+b \rightarrow 1+2+X$ (a - адрон или ядро, b - нуклон или ядро). Физический смысл δ - средняя доля поперечного импульса \vec{z}_1 частицы 1, компенсируемая одной частицей - "партнером", с ее помощью удобно анализировать характер (например, "локальный" или "глобальный") компенсации поперечных импульсов рождающихся частиц.

Точные значения величины δ получены в моделях *IEM* и *CPS*.

г) Метод анализа "кластеризации" частиц вдоль "продольной" шкалы, превосходящий в $\sim 1,5$ раза по эффективности известный метод быстрых интервалов, - для статистического анализа "продольных" распределений в индивидуальных актах. "Кинематически исходные" значения соответствующих величин находились моделированием по методу Монте-Карло.

Основные результаты изучения корреляций между рожденными частицами в hA -взаимодействиях сводятся к следующим.

1. Значения и форма двухчастичных КФ в hA -взаимодействиях существенно отличаются от таковых в hN - при тех же p_0 , в особенности - в области фрагментации мишени. КФ R_2 обнаруживает, так же, как для hN -соударений, замечательную устойчивость к изменению p_0 (рис.5) и очень слабо зависит от типа первичного адрона.

2. Существуют (так же, как в hN -соударениях) квазидинамические корреляции "короткодействующего" характера, несводимые к простейшим псевдо- и кинематическим эффектам. Их величина возрастает с увеличением p_0 и становится заметной при энергиях в сотни Гэв.

3. Корреляции в hA -соударениях (опять-таки в полной аналогии с hN -) существенно различны для разных зарядовых комбинаций пионов, они наиболее сильны для разноименных ($\pi^+\pi^-$) пар пионов. Корреляции в системах $\pi^+\pi^+$ и $\pi^-\pi^-$ в области фрагментации мишени - различны. Интересно, что различие между R_2^{+-} и R_2^{++} в hA -взаимодействиях проявляется с "силой", не меньшей, чем в hN -.

4. Обнаружена существенная A -зависимость КФ: с ростом p_g (или $\langle v \rangle$) R_2 уменьшается.

5. Азимутальные корреляции в hA -соударениях несколько слабее, чем в hN - при одинаковых p_0 и p_g и являются, в основном, дальнедействующими.

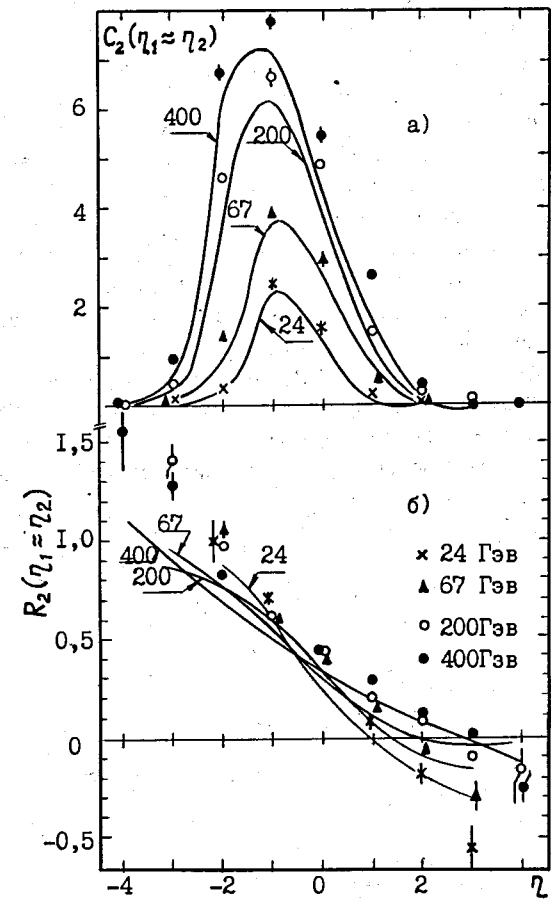


Рис.5. Инклюзивные корреляторы $C_2(\eta_1, \eta_2 \approx \eta_1)$ и $R_2(\eta_1, \eta_2 \approx \eta_1)$ в hA -соударениях при 24, 67, 200 и 400 Гэв/с. Кривые - модель независимого испускания.

6. Компенсация поперечных импульсов рождающихся частиц происходит как близкими (малые $\Delta y, \Delta \eta$), так и далекими (большие $\Delta y, \Delta \eta$) частицами-партнерами - дальнедействующий характер корреляций в поперечной плоскости (рис.6). Хотя эта компенсация существенно различна (так же, как в hN -соударениях) для разных комбинаций частиц 1 и 2 (например, поперечный импульс $\pi^+(\pi^-)$ мезонов компенсируется, главным образом, $\pi^-(\pi^+)$ -мезонами, испускание же пионов одного знака заряда - почти независимо), дальнедействие сохраняется для всех случаев. Существенно также, что преимущественно "глобальный" характер компенсации $\vec{\zeta}$ сохраняется и для любых положений частицы 1 на шкале быстрот или псевдобыстрот (рис.7).

7. В то время как в hN -соударениях корреляции в поперечной плоскости близки к ожидаемым по модели статистического типа (CPS), в hA -взаимодействиях они намного слабее (рис.7). Существенно, что уменьшение "удельной компенсации" поперечных

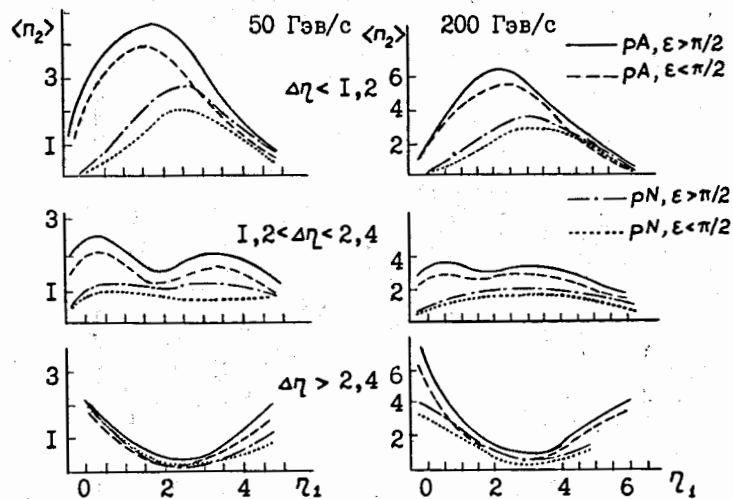


Рис.6. Множественность $\langle n_2 \rangle$ частиц типа 2, ассоциированных с инклюзивной частицей типа 1 в реакции $pA(\rho N) \rightarrow 1+2+X$, в зависимости от η_1 для разных p_0 , $\Delta \eta = |\eta_1 - \eta_2|$ и $\epsilon = \arccos(\vec{\zeta}_1 \vec{\zeta}_2 / z_1 z_2)$.

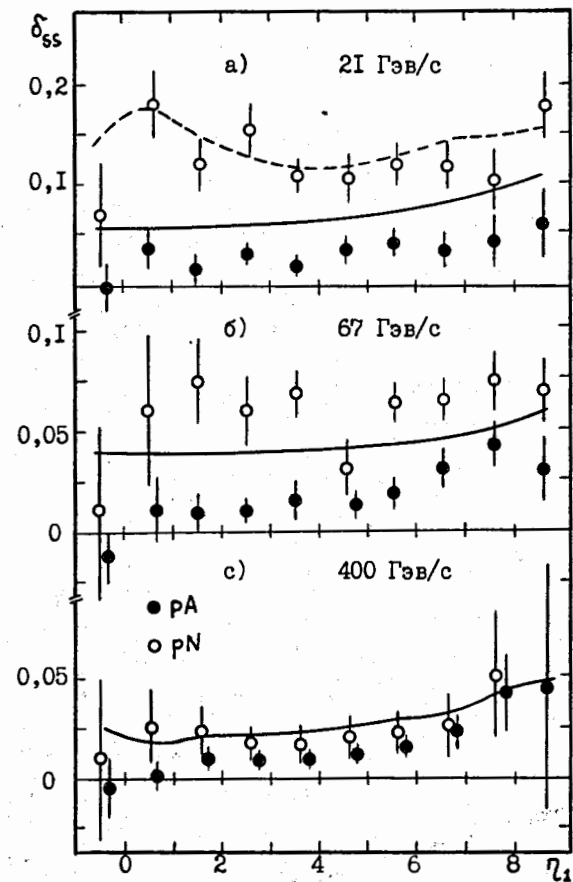


Рис.7. Примеры зависимости удельной ассоциированной множественности δ_{ss} от псевдобыстроты "триггерной" частицы η_1 . Кривые - согласно модели цилиндрического фазового объема для ρN - (пунктир) и pA -соударений.

импульсов в hA -взаимодействиях значительно более сильно, чем тривиальное - обусловленное ростом полной множественности ($R > I$) рождающихся частиц (с учетом нейтральных и не входящих в n_s). Таким образом, несмотря на значительное подобие поведения корреляционных характеристик в hN - и hA -соударениях, отождествление механизмов рождения частиц в них, столь значительное, как это предполагается в моделях коллективного типа, при существующих ускорительных энергиях некорректно.

8. При общем "глобальном" (или дальнедействующем) характере корреляционных связей в hA -взаимодействиях, детальный анализ обнаруживает зависимость компенсационных характеристик от $\Delta\eta$ (или Δy): при достаточно высоких энергиях ($p_0 \geq 50$ ГэВ) корреляции максимальны при $1,2 \leq \Delta\eta \leq 2,4$ и монотонно уменьшаются при $\Delta\eta > 2,5$ (рис.8). Эти зависимости качественно подобны для hN - и hA -взаимодействий.

9. Анализ многочастичных корреляций обнаруживает в hA -взаимодействиях (аналогично hN -) нетривиальное "сгущение" групп частиц по "продольной" шкале дифракционноподобного характера (речь идет о дифракции на нуклонах ядра; когерентные реакции не рассматриваются).

Во второй части главы 4 впервые рассмотрены корреляционные явления в AB -взаимодействиях. Изучались корреляции между продуктами фрагментации сталкивающихся ядер-снарядов и мишеней, между "рожденными" частицами, а также корреляции между различными группами вторичных частиц.

При изучении корреляций между полярными углами сильноионизирующих частиц (фрагментов ядер-мишеней) показано, что:

1. Метод корреляционных функций весьма эффективен для поиска "направленного" испускания фрагментов, предсказываемого моделями ЯУВ;

2. экспериментальные данные по взаимодействиям легких ядер при существующих ускорительных энергиях с ядрами фотоэмульсии не противоречат предположению о независимом испускании g - и b -частиц и противоречат гипотезе об образовании ЯУВ в AB -взаимодействиях при рассмотренных энергиях и для использованных ядер (рис.9).

Применение аппарата КФ к изучению корреляций между псевдобыстроходами ливневых частиц из AB -соударений показало, что

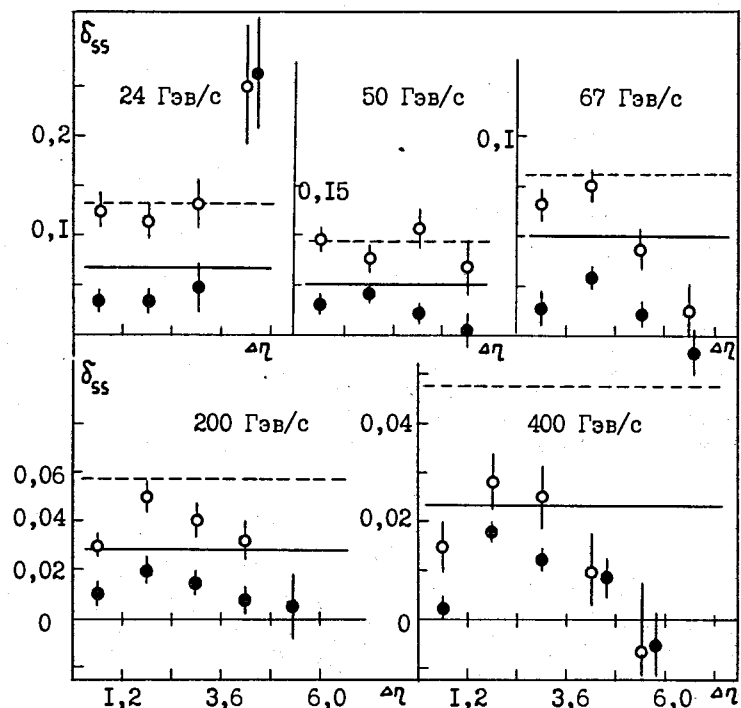


Рис.8. Зависимость δ_{ss} от расстояния по продольной шкале между частицами 1 и 2 $\Delta\eta = |\eta_1 - \eta_2|$ в pA - (\bullet) и pN - (\circ) соударениях при разных p_0 . Прямые показывают значения δ_{ss} для всего рассматриваемого ансамбля соударений.

эти корреляции либо очень слабы (для ${}^2\text{HeEm}$ - и ${}^4\text{HeEm}$ -соударений), либо (в пределах ошибок) отсутствуют (для ${}^{12}\text{CEm}$ - и ${}^{14}\text{NEm}$ -соударений). Во всяком случае они намного слабее, чем в hN - или hA -соударениях при близких множественностях "рождающихся" (s) частиц.

Изучение корреляций в поперечной плоскости (азимутальные корреляции и характер компенсации поперечных импульсов) также привело к важнейшему заключению о существенном различии в величине корреляционных связей между s -частицами в AB -соуда-

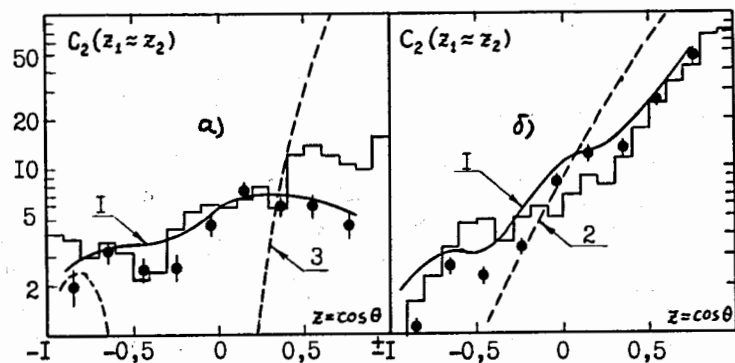


Рис.9. Корреляторы $C_2(z_1, z_2=z_1)$ для b -частиц (а) и g -частиц из ^{14}NEm -соударений. Кривые: 1 - независимое испускание, 2 - расчет в соответствии с моделью ^{5/}, 3 - расчет в соответствии со спектром из ^{6/}. Гистограмма - расчет работы ^{7/} по каскадно-испарительной модели.

рениях, с одной стороны, и hN - и hA -соударениях - с другой (при близких η_s). В первых корреляции намного слабее, чем ожидалось в модели CPS, и это обстоятельство дает основание для вывода о неприменимости к ядро-ядерным взаимодействиям при энергиях в несколько Гэв/нуклон моделей "коллективного" типа, предполагающих идентичность механизмов рождения частиц в этих классах соударений.

Анализ внутри- и междугрупповых корреляций в поперечной плоскости АВ-взаимодействий, их зависимости от расстояния между изучаемыми частицами по "продольной" шкале и сравнения с данными по hN -, hA -соударениям и расчетами по моделям IEM и CPS, привел также к следующим выводам:

1. Корреляции между s -частицами в АВ-соударениях существенно слабее ожидаемых в CPS даже в группах с максимальными Q (минимальными η_{s3}); это прямо указывает на существенную роль перерассеяний внутри ядра при рассматриваемых энергиях.
2. Азимутальные корреляции весьма слабы для g -частиц, для b -частиц они в пределах ошибок отсутствуют.
3. Азимутальные корреляции между s' -частицами зависят от

области псевдобыстрот: при больших η корреляции наблюдаются, при малых η (больших углах вылета) - они отсутствуют (пример - на рис.10), как и ожидается в модели внутриядерного каскада.

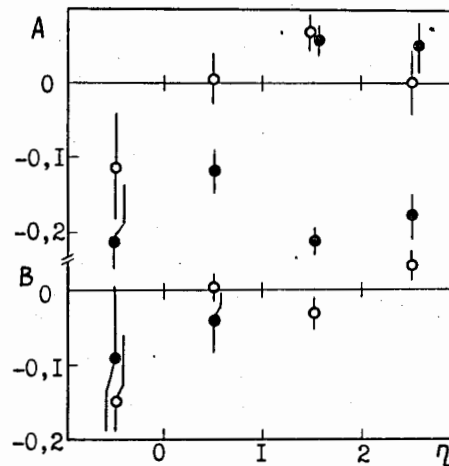


Рис.10. η -зависимость коэффициентов азимутальной асимметрии A и коллинеарности B в dEm - (\circ) и $\propto Em$ - (\bullet) соударениях.

4. Наблюдаются четкие азимутальные корреляции между ливневыми и "серыми" и даже ливневыми и "черными" треками: они проявляют тенденцию к "противоиспусканию" в поперечной плоскости (примеры - на рис.11 и 12). Эти корреляции наиболее сильны для s - и g -частиц (сильнее "внутригрупповых" корреляций для s -частиц), они слабо зависят от числа взаимодействующих нуклонов ядра-снаряда η_{s3} , массового числа ядра-мишени A_m и углов вылета сильноионизирующих частиц θ_s и θ_b .

Последнее обстоятельство (корреляции не ослабевают при переходе в область, кинематически запрещенную для нуклонов отдачи в элементарном акте) представляет очевидный интерес: его трудно понять в рамках каскадных и суперпозиционных моделей; возможно, это - свидетельство специфических локально-коллективных явлений.

5. В пределах ошибок экспериментальные данные по hA - и АВ-взаимодействиям не обнаруживают каких-либо особенностей в корреляциях в поперечной плоскости, могущих быть связанными с большими поперечными импульсами систем частиц или большими угловыми моментами их.

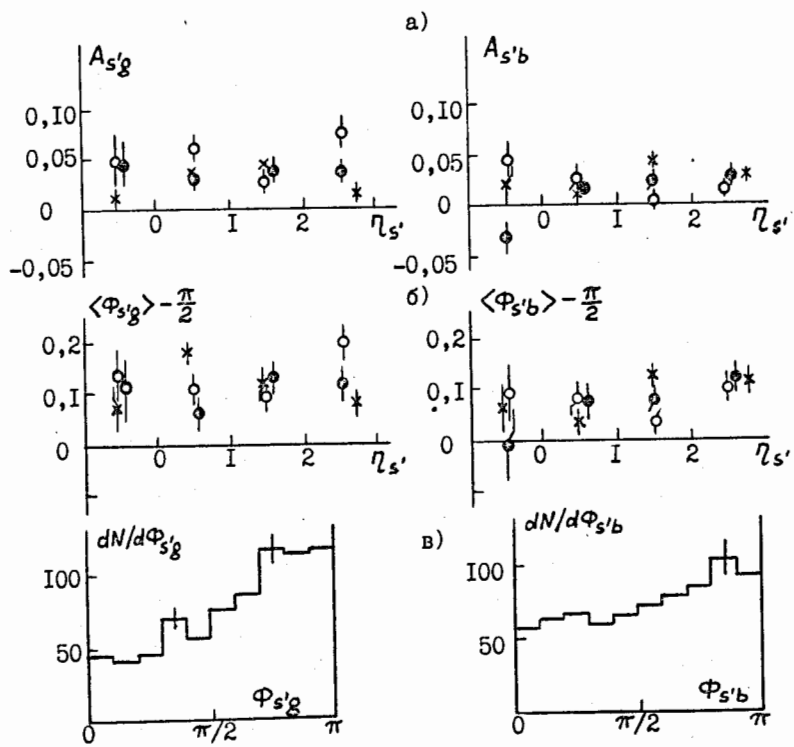


Рис. II. Примеры величин, характеризующих междугрупповые азимутальные корреляции в ядро-ядерных взаимодействиях. $\eta_{s'}$ - зависимость коэффициентов азимутальной асимметрии $A_{s'g}$, $A_{s'b}$ (а) и среднего значения угла между направлениями испускания двух разных типов частиц в азимутальной плоскости $\langle \Phi_{s'g} \rangle - \pi/2$, $\langle \Phi_{s'b} \rangle - \pi/2$ (б) для dEm - (о), αEm - (е) и ^{14}NEm (х) соударений. Распределение по $\Phi_{s'g}$ и $\Phi_{s'b}$ в ^{14}NEm -соударениях (в).

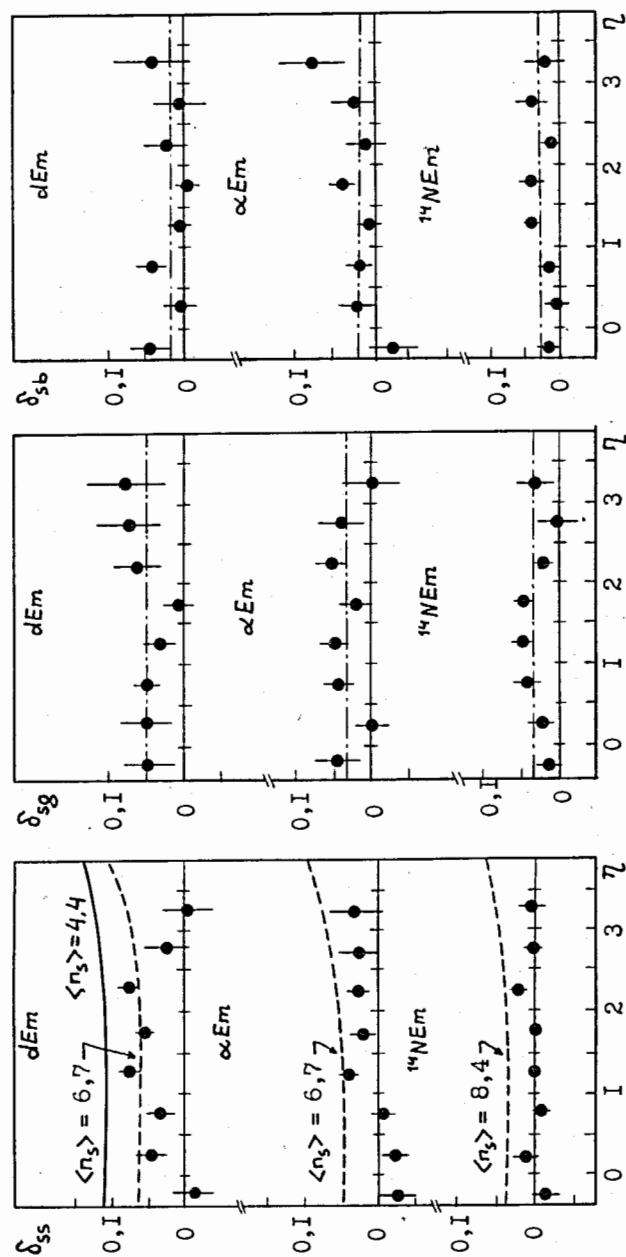


Рис. 12. Удельные ассоциативные множественности различных типов вторичных частиц δ в зависимости от псевдобыстроты линейной "триггерной" частицы. Экспериментальные данные по δ_{ss} для pN - (сплошная кривая) и pA - (штриховые кривые) соударений при близких множественностях S -частиц. Штрих-пунктирные прямые представляют δ_{inc} для рассматриваемых соударений.

В пятой главе рассмотрены различные теоретические подходы к проблеме взаимодействий адронов и ядер с ядрами, выполнено систематическое сопоставление их предсказаний с полученными в работе экспериментальными данными, обсуждены области их применимости и способность систематизировать имеющийся экспериментальный материал.

В первой части главы рассмотрены физические основания различных современных моделей hA - и AB -взаимодействий и экспериментальные следствия из них; особое внимание уделено подходам, основанным на представлениях о составной структуре адронов. Описаны выполненные в работе оригинальные аналитические и численные (в основном, путем моделирования случайных звезд по методу Монте-Карло) расчеты и предложены характеристики hA - и AB -соударений, могущие оказаться критичными к постулатам ряда моделей. Описаны использовавшиеся в расчетах предположения и исходные параметризации. В заключение рассмотрен вопрос о влиянии фермиевского движения нуклонов на форму быстрых распределений в hA -соударениях и сделан вывод, что им можно пренебречь при обсуждении анализируемых в диссертации вопросов.

Вторая часть главы посвящена обсуждению модельных предсказаний для hA -соударений. Из анализа различных характеристик распределений по множественности следует, что несмотря на наименьшую чувствительность этих характеристик к выбору между различными теоретическими подходами, можно заключить, что:

1. Модели Готтфрида /8/ и фрагментационные /9/, правильно отражая качественные особенности n_s -распределений, не в состоянии количественно описать эти распределения в широкой области первичных энергий.

2. Модель коллективной трубки (МКТ) /10/ и однокластерные модели /11,12/ не описывают n_s - (или ν -, или A -) зависимости отношения $\langle n_s \rangle / D$.

3. Модели многократного рассеяния Капеллы-Крживицкого (МКК) /13/ и каскада лидирующей частицы (МКЛ), в которых, в первом приближении, флуктуации n_s обусловлены флуктуациями множественности во внутриядерных hN -соударениях и флуктуациями ν , описывают все основные особенности n_s -распределений во всей области изучаемых p_0 . Для количественного описания данных в рамках этих моделей существенен учет законов сохранения и флу-

ктуаций потерь энергии в многократных перерассеяниях. В частности, рост нормированной множественности R с p_0 объясняется в этих моделях именно действием законов сохранения.

При анализе данных по одночастичным распределениям установлено:

1. Модель партон-адронного каскада /2/, основанная на доминантности "верных" диаграмм реджеонного подхода, количественно противоречит опыту (рис.2,13). Поскольку это противоречие связано с представлением о невзаимодействии быстрых партонов в указанной модели, сделан вывод, что в рамках реджеонного подхода к hA -соударениям при рассматриваемых p_0 более существенную роль играют диаграммы многократного рассеяния.

2. Модели многократного рассеяния и гидродинамическая модель описывают качественные особенности η -распределений в центральной области hA -соударения (рис.2).

3. Известная "гипотеза универсальности" в МКТ должна приводить к росту дисперсии y -распределений рож-

денных частиц с увеличением n_g , ν и A , что противоречит данным эксперимента (рис.14); на этой основе сделан вывод, что гипотеза универсальности не выполняется в hA -соударениях. Показано, что в противоположность указанной модели, в гидродинамической модели, в которой $D(y)$ падает с n_g , ν и A , возможно количественное описание экспериментальных данных.

4. Спектры лидирующих частиц в пределах экспериментальных ошибок могут быть описаны как МКЛ (рис.3а), так и аддитивной кварковой моделью (АКМ) /3/. Что касается рожденных частиц, МКЛ в области фрагментации снаряда предсказывает $z(y) = 1$, что противоречит опыту. Поскольку это связано в модели с неучетом неупругих промежуточных состояний, противоречие

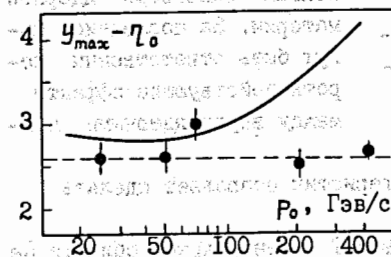


Рис.13. Зависимость величины $y_{max} - \eta_0$ от p_0 в pA -соударениях. Кривая - предсказание модели партон-адронного каскада /2/, прямая - согласно моделям многократного рассеяния.

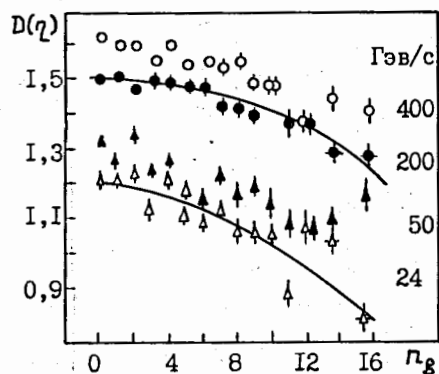


Рис.14. Зависимость стандартов η -распределений от n_g в pA -соударениях. Кривые - согласно гидродинамической модели.

лонами, типа обсужденных в /14/.

Анализ корреляционных характеристик позволяет сделать следующие выводы.

1. Величина коррелятора R_2 в МКТ в центральной области не зависит от ν и, следовательно, от A . Экспериментальные данные противоречат этому предсказанию модели. В рамках самой модели единственное возможное объяснение этому заключается в том, что центральная область быстрой даже при рассматриваемых нами P_0 (сотни Гэв/с) сильно "загрязнена" продуктами фрагментации мишени. Но если такое объяснение нарушения "универсальности" верно, это будет также означать, что даже при наивысших ускорительных энергиях модель все еще не имеет области своей применимости.

2. В рамках МКТ и МКП возможно количественное описание n_g , ν и A -зависимости инклюзивных корреляторов R_2 .

3. При взаимодействии с ядрами степень убывания азимутальных корреляций значительно сильнее, чем обусловленная простым ростом полной множественности вторичных частиц, т.е. единственной причиной, приводящей к ослаблению корреляций в hA -соударениях по сравнению с hN - в чисто коллективных моделях /10,11,12/. В моделях же многократного рассеяния имеется исто-

можно рассматривать как свидетельство того, что инклюзивные спектры содержат сведения об этих важных для теории состояниях.

5. В области фрагментации мишени заметный вклад дает механизм низкоэнергетического внутриядерного каскада, а также эффекты, обусловленные локальными свойствами ядерной материи. За последние могут быть ответственны короткодействующие эффекты между внутриядерными нук-

чник дополнительного ослабления корреляционных связей вторичных частиц в азимутальной плоскости - рождение частиц в процессах перерассеяния.

В третьей части главы 5 изложены результаты сопоставления экспериментальных данных по AB -соударениям с модельными расчетами и качественными предсказаниями. Установлено, что:

1. Каскадно-испарительная и простые суперпозиционные модели удовлетворительно описывают данные по множественности различных типов частиц из изучаемых соударений (рис.15,16);

2. модель внутриядерного каскада удовлетворительно воспроизводит угловые распределения b - и g -частиц и не описывает угловые распределения s' -частиц (рис.17): в модели заметно завышено число ливневых частиц, испускаемых в заднюю в л. с. полусферу. С другой стороны, простая модель многократного рассеяния, в которой пренебрегается вкладом перерассеяний рожденных частиц, неплохо согласуется с данными в рассматриваемой области. Тот факт, что каскадная модель противоречит данным в той кинематической области AB -соударения, где влияние собственно каскадных перерассеяний рожденных частиц должно было бы проявляться наиболее сильно, следует рассматривать как указание, что степень развития внутриядерных соударений в модели переоценивается уже при энергиях в несколько (2+4) Гэв/нуклон, и именно при таких E_0 начинают проявляться эффекты, связанные с увеличением времени формирования адронов конечного состояния. Этот вывод хорошо согласуется с наблюдающимся изменением характера азимутальных корреляций в разных областях фазового пространства AB -соударения и результатами, полученными для hA -соударений при высоких энергиях.

3. Корреляционные эффекты в AB -соударениях очень быстро уменьшаются с ростом A_c и в пределах ошибок опыта становятся нулевыми для $A_c \geq 10$, хотя в pN - и pA -соударениях при таких же и даже существенно больших $\langle n_g \rangle$ они четко выражены (рис.12). Это означает неприменимость к AB -соударениям при рассматриваемых энергиях моделей гидродинамического или однофайрболлоного типа. Модели многократного рассеяния качественно хорошо описывают появление в AB -взаимодействиях дополнительных, по сравнению с hN -, источников флуктуаций.

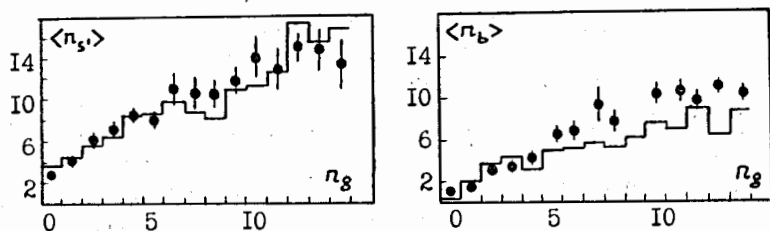


Рис.15. Примеры зависимостей $\langle n_i(n_j) \rangle$ в ^{14}NEm -соударениях. Гистограммы - расчет по каскадной модели.

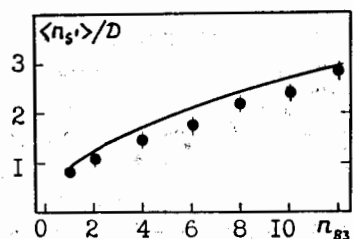


Рис.16. Зависимость величины $\langle n_s \rangle / D(n_s)$ от n_{B3} в ^{12}CEm -соударениях. Кривая - согласно модели суперпозиции.

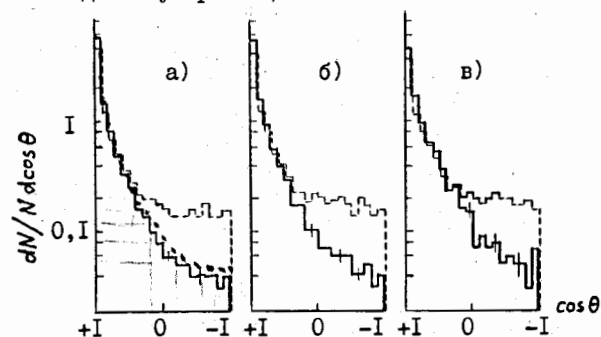


Рис.17. Угловые спектры s' -частиц для ^{12}CEm -соударений (а) и для событий с $n_h > 6$ (б) и $n_h \geq 28$ (в). Пунктирные гистограммы - расчет по каскадной модели.

В заключительном разделе пятой главы проведено общее обсуждение пределов применимости существующих моделей соударений с ядрами.

1. Существующая совокупность экспериментальных данных позволяет с достаточной уверенностью отвергнуть в области рассмотренных энергий ряд модельных подходов к рождению на ядрах вследствие большого числа невоспроизводимых этими моделями характеристик. К их числу относятся, в частности, модель внутриядерного каскада, модель Готтфрида, чисто дифракционные модели, однокластерные модели, модель коллективной трубки, модель партон-адронного каскада для hA -соударений и гидродинамические и однофайрбольные модели для AB -соударений.

2. До тех пор, пока не затрагиваются корреляционные явления, к числу наиболее привлекательных подходов, описывающих значительную совокупность данных, можно отнести разработанные в количественном отношении статистико-гидродинамические модели и модели многократного рассеяния, особенно явно учитывающие составную структуру взаимодействующих адронов. При этом конкретные реализации этих моделей вовсе не обязательно описывают всю совокупность имеющихся данных.

Однако результаты сравнительного корреляционного анализа hN -, hA - и AB -соударений, по-видимому, показывают, что реальная физическая картина рождения частиц в hA - и AB -соударениях связана с многократными перерассеяниями. Возможность статистического описания в центральной области hA -соударения может быть отражением того обстоятельства, что статистическая картина при высоких энергиях приближенно применима в отдельных перерассеяниях, т.е. на более элементарном "кварковом" уровне. Что касается AB -соударений, то здесь статистическое описание может возникнуть как результат усреднения по большому числу элементарных соударений.

Возможно также, что два обсуждаемых подхода к описанию hA - и AB -соударений не являются полностью альтернативными и реальная ситуация имеет многокомпонентный характер.

3. В hA -соударениях наибольшие трудности в рамках статистических подходов возникают в области фрагментации снаряда, где явно существенную роль играют эффекты, связанные с состав-

ной структурой адронов. Все существующие модели АВ-соударений испытывают значительные трудности при количественном описании явлений в области фрагментации ядра-мишени, где явно значительную роль играют низкоэнергетический каскад и локально-коллективные свойства ядерной материи.

4. Для АВ-соударений каскадные и коллективные эффекты должны быть выражены в областях фрагментации как мишени, так и снаряда. Т.к. в условиях данного эксперимента $A_m \gg A_c$, эти эффекты более выражены в области фрагментации мишени. Все существующие модели АВ-соударений испытывают значительные трудности в описании явлений в указанных областях фазового объема; в частности, каскадная модель существенно переоценивает степень развития каскадного процесса для рожденных частиц, а модели суперпозиционного типа, по-видимому, не могут дать последовательное описание характера межгрупповых корреляций между вторичными частицами.

В Заключении представлено краткое изложение основных результатов работы:

1. Выполнено систематическое и единообразное (фотометод) исследование множественного рождения частиц практически во всей области существующих ускорительных энергий. Полная статистика составила более 30 тысяч неупругих событий; использовались первичные частицы и ядра: p (21, 24, 50, 67, 200 и 400 Гэв/с), π^- (50 и 200 Гэв/с), 2H , 4He , ^{12}C (4,5 Гэв/с), ^{14}N (3,0 Гэв/с/нуклон).

2. При экспериментальном исследовании hA -взаимодействий:

- определены в широком диапазоне первичных энергий A -зависимости полных и дифференциальных множественностей различных типов вторичных частиц, их флуктуации в разных кинематических областях, корреляции между ними, аналитические аппроксимации и скейлинговые свойства, зависимость от типа снаряда. При этом, в частности, установлено, что:

" ν -скейлинг" нарушается в рассматриваемой области P_0 , точный КНО-скейлинг нарушается в такой же мере, как и в

hN -взаимодействиях, вид КНО-функции зависит от массового числа мишени.

- изучены одночастичные распределения различных типов "рожденных" частиц и их основные характеристики в зависимости от P_0 , A , типа адрона-снаряда и кинематической области взаимодействия. При этом, в частности, впервые обнаружена и проанализирована бимодальность спектров псевдобыстрот в π^+A -соударениях большой энергии, впервые установлены свойства релятивистских протонов отдачи, получена "полная" картина энергораспределения между разными типами вторичных частиц.

- получены детальные сведения о корреляционных явлениях (вдоль "продольной" оси соударения и в поперечной плоскости) между вторичными частицами в зависимости от типа соударения, P_0 и A . При этом, в частности, обнаружены квазидинамические корреляции короткодействующего характера, обнаружено уменьшение величины двухчастичного коррелятора с A в центральной области быстрот, обнаружено различие корреляционных связей между различными типами частиц, впервые исследован механизм компенсации поперечных импульсов инклюзивных частиц.

3. При экспериментальном исследовании АВ-соударений:

- установлен ряд новых эмпирических закономерностей процесса неупругого соударения релятивистских ядер, относящихся к множественностям различных типов вторичных частиц, их распределений и корреляций, зависимости от массовых чисел снаряда и мишени и числа провзаимодействовавших нуклонов снаряда, угловых распределений и их характеристик, различных корреляционных явлений вдоль продольной оси и в поперечной плоскости соударения. При этом, в частности, установлено существенное влияние различных "геометрических" факторов на характеристики конечного состояния, обнаружено изменение скейлинговых свойств распределений по множественности в АВ-соударениях, отмечено качественное подобие нормированных спектров по псевдобыстротам в hA - и АВ-соударениях;

- измерены относительные вероятности различных каналов фрагментации легких ядер снарядов и импульсное распределение фрагментов, установлено нарушение принципа факторизации для полных сечений фрагментации.

4. Значительная часть результатов была получена впервые:

- в hA -соударениях - все данные о свойствах релятивистских протонов отдачи, бимодальность распределений по псевдобыстродам, данные о характере компенсации поперечных импульсов;

- в AB -соударениях - данные анализа многочастичных явлений при "рождении" частиц и фрагментации ядер, обнаружение специфических корреляций между ливневыми частицами и продуктами фрагментации мишени, обнаружение зависимости характера азимутальных корреляций от продольных характеристик частиц;

- данные сравнительного анализа корреляционных связей в hN -, hA - и AB -соударениях.

5. Впервые апробирован или применен к hA - или AB -соударениям ряд методов анализа, в частности: корреляционные функции, прежде всего для поиска ядерных ударных волн в AB -соударениях; характеристики внутри- и междугрупповых азимутальных корреляций, характеристики механизма компенсации поперечных импульсов частиц.

6. Выполнено количественное и качественное сопоставление предсказаний большого числа теоретических подходов к hA - и AB -соударениям с экспериментальными данными, дан критический анализ этих моделей и установлены пределы их применимости.

В Приложениях к диссертации описана процедура выделения когерентных дифракционных реакций и приведены результаты исследования процесса фрагментации легких ядер-снарядов.

Основные результаты работы опубликованы в статьях:

1. К.Г.Гуламов, Г.М.Чернов, Б.С.Юлдашев, Труды IV Международного семинара по проблемам физики высоких энергий: "Множественные процессы", ОИЯИ, Д1, 2-9224, Дубна, 1975, стр. 233-257.
2. К.Г.Гуламов, В.Ш.Навотный, Н.С.Скрипник, Л.П.Чернова, Г.М.Чернов, "Множественные процессы при высоких энергиях", ФАН, Ташкент, 1976, стр. 78-119.
3. S.A.Azimov, K.G.Gulamov, U.G.Gulyamov, L.P.Chernova, G.M.Chernov, V.Sh.Navotny, V.I.Petrov, N.S.Scripnik, T.P.Trofimova, "Multiparticle production on nuclei at very High

Energies", IAEA-SMR-21, ed. G.Bellini et al., ICTP, Trieste, 1977, p.83-131.

4. S.A.Azimov, K.G.Gulamov, G.M.Chernov and U.G.Gulyamov, Proc.of the First Workshop on ultrarelativistic nuclear Collisions, ed.L.Schroeder and M.Gyulassy, Berkeley, 1979.
5. S.A.Azimov, G.M.Chernov, K.G.Gulamov, J.Phys.: Nucl.Phys., 4, 1978, p.813-834.
6. К.Г.Гуламов, У.Г.Гулямов, Г.М.Чернов, ЭЧАЯ, 9, 1978, 554-602.
7. С.А.Азимов, К.Г.Гуламов, Г.М.Чернов, Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий: "Множественное рождение частиц и предельная фрагментация ядер", ОИЯИ, Д1, 2-12036, Дубна, 1978, стр. 415-429.
8. З.В.Анзон, ..., К.Г.Гуламов, ..., Г.М.Чернов (Алма-Ата-Ленинград-Москва-Ташкент сотрудничество), ЯФ, 22, 736, 1975.
9. S.A.Azimov, K.G.Gulamov, L.P.Chernova, G.M.Chernov, V.I.Petrov, N.S.Scripnik, "Inelastic Proton-Nucleus Interactions in the Energy range 20-200 GeV", paper A6-3(446) contributed to the XVIII Intern.Conf.High energy Physics, Tbilisi, 1976.
10. С.А.Азимов, К.Г.Гуламов, В.И.Петров, Н.С.Скрипник, Т.П.Трофимова, Л.П.Чернова, Г.М.Чернов, Письма в ЖЭТФ, 24, 316, 1976.
11. В.Г.Воинов, ..., К.Г.Гуламов, ..., Г.М.Чернов (Алма-Ата-Дубна-Ленинград-Москва-Ташкент сотрудничество), Письма в ЖЭТФ, 24, 107, 1976.
12. К.К.Гудима, К.Г.Гуламов, У.Г.Гулямов, Ш.З.Насыров, Л.Н.Свечникова, В.Д.Тонеев, Г.М.Чернов, ОИЯИ, P2-10220, Дубна, 1976.
13. Е.С.Басова, А.И.Бондаренко, К.Г.Гуламов, У.Г.Гулямов, Ш.З.Насыров, Л.Н.Свечникова, Г.М.Чернов, Письма в ЖЭТФ, 24, 257, 1976.
14. K.G.Gulamov, S.A.Azimov, A.I.Bondarenko, V.I.Petrov, R.V.Ruzimatov, N.S.Scripnik, G.M.Chernov, Z.Phys. A280, 107, 1977.
15. С.А.Азимов, А.И.Бондаренко, К.Г.Гуламов, Р.В.Рузиматов, Н.С.Скрипник, Г.М.Чернов, ЯФ, 26, 346, 1977.
16. К.Г.Гуламов, В.В.Ужинский, ЯФ, 26, 1095, 1977.
17. Z.V.Anzon, ..., K.G.Gulamov, ..., G.M.Chernov (Alma-Ata - Gatchina-Moscow-Tashkent collaboration), Lebedev Institute preprint N* 102, Moscow, 1977.

18. В.Г.Воинов, ..., К.Г.Гуламов, ..., Г.М.Чернов (Алма-Ата - Дубна-Ленинград-Москва-Ташкент сотрудничество), ЯФ, 25, 782, 1977.
19. В.Г.Воинов, ..., К.Г.Гуламов, ..., Л.П.Чернова (Алма-Ата - Дубна-Ленинград-Москва-Ташкент сотрудничество), ЯФ, 25, 1003, 1977.
20. Z.V.Anzon, ..., K.G.Gulamov, ..., V.I.Petrov (Alma-Ata-Gatchina-Moscow-Tashkent collaboration), paper A6-50(208) contributed to the XVIII Intern.Conf.High Energy Physics, Tbilisi, 1976; preprint HEPI 44-77, Alma-Ata, 1977.
21. S.A.Azimov, G.M.Chernov, K.G.Gulamov, V.Sh.Navotny, N.S.Scripnik, Proc.VII Intern.Conf.High Energy Phys. and Nuclear Str., Zurich, 1977, Abstract volume, p.156.
22. Z.V.Anzon, ..., K.G.Gulamov, ..., V.I.Petrov (Alma-Ata-Gatchina-Moscow-Tashkent collaboration), Nucl.Phys., B129, 205, 1977.
23. У.Г.Гулямов, Р.А.Бондаренко, К.Г.Гуламов, Т.П.Трофимова, Л.П.Чернова, Г.М.Чернов, ДАН УзССР, 3, 22, 1977.
24. L.P.Chernova, G.M.Chernov, K.G.Gulamov, U.G.Gulyamov, T.P.Trofimova, Proc.VII Intern.Conf.High Energy Phys. and Nuclear Struc., Zurich, 1977, Abstract volume, p.132.
25. G.M.Chernov, K.G.Gulamov, U.G.Gulyamov, Sh.Z.Nasyrov, L.N.Svechnikova, Nucl.Phys., A280, 478, 1977.
26. К.Г.Гуламов, У.Г.Гулямов, Ш.З.Насыров, Л.Н.Свечникова, Г.М.Чернов, ДАН УзССР, 2, 20, 1977.
27. Р.А.Бондаренко, К.Г.Гуламов, У.Г.Гулямов, Ш.З.Насыров, Л.Н.Свечникова, Г.М.Чернов, Известия АН УзССР, серия физ-мат.наук, 5, 60, 1977.
28. E.S.Basova, G.M.Chernov, K.G.Gulamov, U.G.Gulyamov, "Multi-particle Production on Nuclei at Very High Energies" IAEA-SMR-21, ed.G.Bellini et al., Trieste, 1977, p.463.
29. G.M.Chernov, K.G.Gulamov, U.G.Gulyamov, Sh.Z.Nasyrov, L.N.Svechnikova, ibid, p.477.
30. G.M.Chernov, K.G.Gulamov, L.N.Svechnikova, E.S.Basova, U.G.Gulyamov, Sh.Z.Nasyrov, Proc.VII Intern.Conf.High Energy Phys. and Nuclear Str., Zurich, 1977, Abstract volume, p.170.

31. Э.Скжипчак, ..., К.Г.Гуламов, ..., Г.М.Чернов (Варшава-Дубна-Кошице-Ленинград-Москва-Ташкент сотрудничество), ЯФ, 25, 777, 1977.
32. С.А.Азимов, А.И.Бондаренко, К.Г.Гуламов, В.И.Петров, Г.М.Чернов, ДАН УзССР, 2, 26, 1977.
33. С.А.Азимов, А.И.Бондаренко, К.Г.Гуламов, Н.С.Скрипник, Г.М.Чернов, ЯФ, 27, 1011, 1978.
34. E.G.Boos, ..., K.G.Gulamov, ..., T.P.Trofimova (Alma-Ata-Gatchina-moscow-Tashkent collaboration), Nucl.Phys., B137, 37, 1978.
35. S.A.Azimov, G.M.Chernov, K.G.Gulamov, V.Sh.Navotny, N.S.Scripnik, Phys.Lett., 73B, 339, 1978.
36. S.A.Azimov, G.M.Chernov, K.G.Gulamov, V.Sh.Navotny, N.S.Scripnik, Phys.Lett., 73B, 500, 1978.
37. E.G.Boos, ..., K.G.Gulamov, ..., T.P.Trofimova (Alma-Ata-Gatchina-Moscow-Tashkent collaboration), Nucl.Phys., B143, 232, 1978.
38. А.И.Бондаренко, К.Г.Гуламов, В.И.Петров, Г.М.Чернов, ДАН УзССР, 6, 39, 1978.
39. Р.А.Бондаренко, К.Г.Гуламов, В.И.Петров, Т.П.Трофимова, Л.П.Чернова, Г.М.Чернов, Известия АН УзССР, сер.физ-мат.наук, 2, 51, 1978.
40. E.S.Basova, G.M.Chernov, K.G.Gulamov, U.G.Gulyamov, V.G.Rakhimbaev, Z.Phys., A287, 393, 1978.
41. А.Марин, ..., К.Г.Гуламов, ..., Л.Н.Свечникова, (Бухарест-Варшава-Дубна-Кошице-Ленинград-Москва-Ташкент сотрудничество), ЯФ, 29, 105, 1979.
42. S.A.Azimov, L.P.Chernova, G.M.Chernov, K.G.Gulamov, V.Sh.Navotny, V.I.Petrov, Z.Phys., A291, 189, 1979.
43. А.И.Бондаренко, К.Г.Гуламов, У.Г.Гулямов, Ш.З.Насыров, Л.Н.Свечникова, Г.М.Чернов, Известия АН УзССР, сер.физ-мат.наук, 2, 73, 1979.
44. К.Г.Гуламов, У.Г.Гулямов, Т.П.Трофимова, Г.М.Чернов, ДАН УзССР, 4, 28, 1979.
45. S.A.Azimov, G.M.Chernov, K.G.Gulamov, Proc.VII Intern.Conf.High Energy Phys, Nucl.Str., Zurich, 1977, Abs. vol., p.144.
46. С.А.Азимов, А.И.Бондаренко, К.Г.Гуламов, В.Ш.Навотный, В.И.Петров, Л.П.Чернова, Г.М.Чернов, ЯФ, 30, 1033, 1979.

47. Е.С.Басова, К.Г.Гуламов, У.Г.Гулямов, Б.Г.Рахимбаев, Г.М.Чернов, ДАН УзССР, 5, 37, 1979.
48. Е.С.Басова, К.Г.Гуламов, У.Г.Гулямов, Г.М.Чернов, ЯФ, 30, 1599, 1979.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА.

- I. Е.Н.de Groot, Phys.Lett., 57B, 159, 1975.
2. Н.Н.Николаев, Препринт ИТФ им.Л.Д.Ландау №18, 1975.
3. N.N.Nikolaev et al., ТН 2575 - CERN, Geneva, 1978.
4. С.А.Азимов и др., ЯФ, 23, 987, 1976.
5. A.Amsden et al., Phys.Rev.Lett., 35, 905, 1975.
6. H.G.Baumgardt et al., Z.Phys., A273, 359, 1975.
7. К.К.Гудима, В.Д.Тонеев, ЯФ, 27, 658, 1978.
8. K.Gottfried, Phys.Rev.Lett., 32, 957, 1974.
9. P.M.Fishbane, J.S.Trefil, Phys.Rev., D9, 168, 1974;
A.Subramanian, TIFR-BC-72-12, Bombay, 1972;
S.Lal et al., Prog.Theor.Phys., 59, 831, 1978.
10. Y.Afek et al., Multipart.Prod.on Nuclei at Very High Energ.,
eds. G.Bellini et al., IAEA-SMR-21, Trieste, 1977, p.591;
Phys.Lett., 78B, 329, 1978;
S.Fredriksson, Nucl.Phys., B111, 167, 1976.
L.Bergstrom, S.Fredriksson, Phys.Lett., 78B, 337, 1978.
11. О.В.Жиров, Э.В.Шуряк, ЯФ, 28, 485, 1978.
12. Б.Н.Калинкин, В.Л.Шмонин, JINR , E2-9137, Дубна, 1975;
HEPI 55-77, Алма-Ата, 1977;
13. A.Capella, A.Krzywicki, Phys.Lett., 67B, 84, 1977.
14. L.L.Frankfurt, M.I.Strikman, INPI-415, Leningrad, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 апреля 1980 года.