

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 539.172.1

A-23

1-86-656

АГАКИШИЕВ

Гейдар Нусрат оглы

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОНУКЛОННЫХ
УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 4,2 ГэВ/с НА НУКЛОН

Специальность: 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1986

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:
кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

ГАСПАРЯН Анатолий
Павлович

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник
кандидат физико-математических наук
доцент

ТИТОВ Александр
Иванович

ПОНОСОВ Александр
Клементьевич

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Научно-иссле-
довательский институт ядерной физики МГУ, Москва.

Защита диссертации состоится "11" декабря 1986 г.
в 10⁰⁰ час. на заседании Специализированного совета
Д-047.01.02 при Лаборатории высоких энергий Объединенного инсти-
тута ядерных исследований, Дубна Московской области, лаборато-
рия высоких энергий ОИЯИ, конференц-зал.

Автореферат разослан "6" ноября 1986 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Ученый секретарь Специализированного совета

М.Ф. Лихачев

М.Ф. Лихачев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Интерес к релятивистской ядерной физике, проявляемый в настоящее время, обусловлен надеждой получить информа-
цию о строении ядерной материи не только на нуклонном, но и на квар-
ковом уровне. В связи с этим обсуждаются вопросы о многокварковых
образованиях в ядрах, движении цветного кварка сквозь ядерное веще-
ство, фазовых переходах ядерной материи и т.п.

Так как наиболее ярко эффекты, присущие ядро-ядерным взаимодей-
ствиям, должны проявляться в многонуклонных столкновениях, то с экс-
периментальной точки зрения наиболее эффективно изучение именно та-
ких взаимодействий. Основным источником экспериментальной информации
в области релятивистской ядерной физики служат процессы множествен-
ного рождения, составляющие подавляющую часть сечения взаимодействия
ядер. Многие характеристики процесса соударения релятивистских ядер
удовлетворительно описываются в рамках моделей, рассматривающих столк-
новение ядер как суперпозицию адрон-адронных взаимодействий. Разли-
чия между предсказаниями таких моделей и экспериментальными наблюде-
ниями могут служить указанием на существование необычных процессов и
явлений.

Цель работы состояла в изучении характеристик многонуклонных
СС-взаимодействий при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон в инклюзивном,
полуинклюзивном и корреляционном подходах, в сравнении эксперименталь-
ных данных, полученных методикой 2-метровой пропановой камеры, с
аналогичными данными о $d\sigma$, $Ne\sigma$, СС-неупругих столкновениях и пред-
сказаниями каскадно-испарительной модели.

Новизна и научная ценность работы. Впервые проведен детальный
анализ многонуклонных углерод-углеродных взаимодействий (CC_{MN}) при
импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон на статистике ~ 1400 событий; изучены
распределения по множественности вторичных частиц, одночастичные ин-
клюзивные спектры P -мезонов и протонов.

Впервые в CC_{MN} -взаимодействиях исследована зависимость характе-
ристик вторичных частиц от числа взаимодействующих протонов в собы-
тии. Изучена конфигурация CC_{MN} -событий в импульсном пространстве.
Впервые в этих событиях изучены азимутальные корреляции вторичных
протонов с большими поперечными импульсами.

Все полученные данные сравнивались с предсказаниями дубненской версии каскадно-испарительной модели (ДКМ). Показано, что модель, в основном, удовлетворительно воспроизводит экспериментальные данные. Существенные расхождения наблюдаются лишь при больших поперечных импульсах.

Полученные экспериментальные данные и проведенный в диссертации сравнительный анализ результатов важны как для проверки существующих, так и для разработки новых теоретических моделей множественного рождения частиц при высоких энергиях.

Практическая ценность полученных результатов состоит в том, что они могут быть использованы при планировании новых экспериментов по исследованию взаимодействий адронов и ядер с ядрами при высоких энергиях.

Апробация работ. Основные результаты диссертации представлялись на Международных конференциях по физике высоких энергий и структуре ядра в Париже (1982 г.), Мичигане (1982 г.), Казимирже (1983 г.), Лейпциге (1984 г.), Гейдельберге (1984 г.), а также докладывались на семинарах ЛВЭ ОИЯИ и совещаниях международного сотрудничества по исследованиям на двухметровой пропановой пузырьковой камере ЛВЭ ОИЯИ.

Публикации. Основное содержание работы опубликовано в журналах "Ядерная физика", Phys.Rev.D, Z.Phys.C, в препринтах, сообщениях ОИЯИ и в материалах вышеупомянутых международных конференций.

Объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Текст содержит 78 страниц, включая 9 таблиц и 29 рисунков. Список литературы содержит 44 наименования.

Автор защищает:

1. Результаты методического анализа отобранных многонуклонных СС-взаимодействий при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон.
2. Результаты сравнительного анализа одночастичных инклюзивных спектров Π -мезонов и протонов в СС_{МН}-взаимодействиях и в $d\text{C-}$, HeC- , СС-неупругих столкновениях, а также спектров, рассчитанных в ДКМ.
3. Полученные зависимости характеристик вторичных частиц от числа взаимодействующих протонов в событии для $d\text{C-}$, HeC- , СС- и СС_{МН}-взаимодействий.
4. Проведенное исследование конфигурации вторичных частиц в импульсном пространстве для СС_{МН}-взаимодействий.
5. Результаты анализа корреляций вторичных протонов с большими поперечными импульсами в азимутальной плоскости.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении отмечается актуальность исследования процессов множественного рождения частиц в многонуклонных ядерных столкновениях при высоких энергиях, сформулирована основная цель работы и приведено краткое содержание диссертации.

В первой главе диссертации описываются методические вопросы получения и обработки экспериментальной информации.

Экспериментальный материал был получен с помощью двухметровой пропановой пузырьковой камеры, размещенной в магнитном поле напряженностью $H \approx 15$ кГс. Камера экспонировалась в пучках протонов и легких релятивистских ядер d , ${}^4\text{He}$ и ${}^{12}\text{C}$ на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон. В диссертации приводятся общие характеристики камеры, системы фотографирования и пучков ядер.

Просмотр стереоснимков проводился на просмотрных столах БПС-1 и БПС-2. Отобранные события измерялись затем на полуавтоматах типа ПУОС и САМЕТ, работающих на линии с ЭВМ БЭСМ-4. Пространственное восстановление измеренных событий производилось с помощью программы геометрической реконструкции ГЕОФИТ на ЭВМ СРС-6500. После проверки качества измерения треков и идентификации вторичных частиц события записывались на ленту суммарных результатов. Точность определения параметров вторичных частиц оказалась равной:

$$\begin{aligned} \langle \Delta P/P \rangle &= (11,5 \pm 0,3)\% , \\ \langle \Delta \text{tg} \alpha \rangle &= (0,0103 \pm 0,0002) , \\ \langle \Delta \beta \rangle &= (0,0063 \pm 0,0003) \text{ рад} , \end{aligned}$$

где p - импульс частицы, $\text{tg} \alpha$ - тангенс глубинного угла, β - азимутальный угол.

Определены следующие критерии отбора многонуклонных СС-взаимодействий: в событии нет стриппинговых частиц с зарядом, превышающим единицу; число однозарядных стриппинговых частиц не превышает двух; суммарный заряд события больше семи. Стриппинговыми мы считаем частицы, вылетающие под углом $\theta < 4^\circ$ с импульсом $P > 3$ ГэВ/с.

Проанализированы методические причины появления событий с суммарным зарядом вторичных частиц $Q > 12$ и показано, что в таких событиях не наблюдается искажения распределений.

Рассмотрены вопросы идентификации вторичных частиц. Разработана процедура выделения барионов из общего набора положительных частиц. Сделана оценка примеси дейтронов среди протонов. Показано, что примесь дейтронов среди частиц с $P_1 > 1$ ГэВ не превышает 16%.

Во второй главе диссертационной работы описаны результаты анализа многонуклонных углерод-углеродных взаимодействий в инклюзивном подходе.

Изучены распределения по множественности вторичных частиц. В таблице приведены средние значения, квадраты дисперсий и отношения этих величин для распределений по множественности, а также расчеты по ДКМ.

Таблица. Средние значения и дисперсии распределений по множественности частиц в многонуклонных СС-взаимодействиях

Тип частиц	ch	+	p	Π^-
$\langle n \rangle$	$16,50 \pm 0,12$	$13,67 \pm 0,08$	$10,68 \pm 0,07$	$2,92 \pm 0,05$
$\langle n \rangle$ ДКМ	16,93	14,06	10,86	2,87
D^2	$12,86 \pm 0,61$	$5,23 \pm 0,25$	$4,40 \pm 0,21$	$2,40 \pm 0,12$
D^2 ДКМ	13,47	5,11	4,58	2,62
$\langle n \rangle / D^2$	$1,28 \pm 0,05$	$2,61 \pm 0,11$	$2,43 \pm 0,16$	$1,22 \pm 0,07$
$(\langle n \rangle / D^2)$ ДКМ	1,25	2,75	2,37	1,10

Проведен совместный анализ распределений по множественности в СС_{МН}- и dC-, HeC-, СС-неупругих взаимодействиях. Обнаружена линейная зависимость между средней множественностью Π^- -мезонов и средним числом взаимодействующих протонов в этих столкновениях, что согласуется с представлением о взаимодействии ядер как суперпозиции нуклон-нуклонных соударений.

Впервые в многонуклонных СС-взаимодействиях получены инклюзивные распределения вторичных Π^- -мезонов и протонов по импульсу, углу вылета, продольной скорости в лабораторной системе, косинусу угла вылета в системе центра масс нуклон-нуклонного взаимодействия и квадрату поперечного импульса. Проведено сравнение экспериментальных спектров с расчетами по ДКМ, аналогичными распределениями для dC-, HeC- и СС-неупругих взаимодействий. Показано, что ДКМ в целом удовлетворительно воспроизводит наблюдаемые спектры, хотя несколько завышает вероятность фрагментационных процессов, особенно в ядре-мишени.

На рис.1 показано распределение протонов и Π^- -мезонов по продольной скорости. В спектр протонов не включены протоны из областей фрагментации сталкивающихся ядер. Из рис.1а видно, что распределение протонов имеет плато в центральной области скоростей. Возможно, это свидетельствует о наличии нескольких источников протонов, движущихся с разными скоростями.

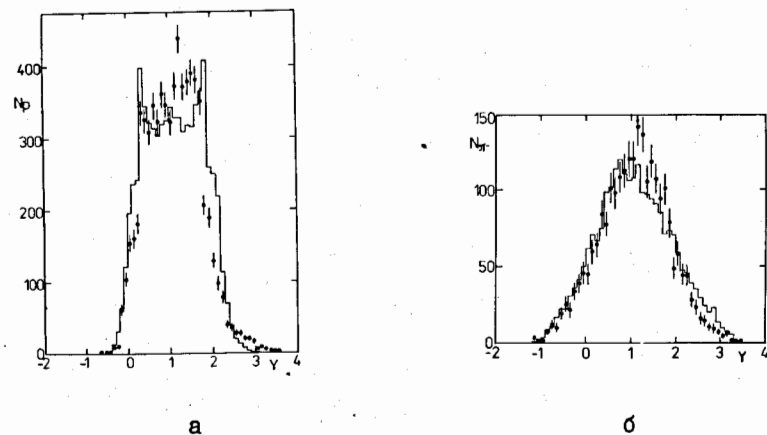


Рис.1. Распределение вторичных протонов (а) и Π^- -мезонов (б) по скорости в лабораторной системе координат для СС_{МН}-взаимодействий.

Обнаружено, что средний импульс и средний поперечный импульс Π^- -мезонов совпадают в СС_{МН}- и dC-, HeC-, СС-неупругих взаимодействиях, в то время как средний импульс протонов растет с ростом атомного веса снаряда. Средний поперечный импульс протонов в HeC- и СС_{МН}-столкновениях в пределах ошибок один и тот же, а для протонов из СС-неупругих взаимодействий - меньше.

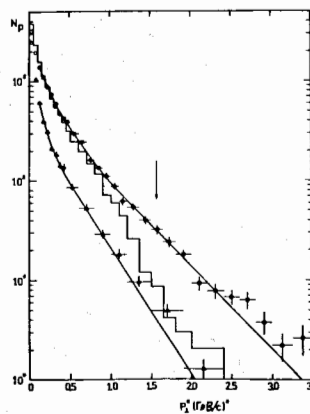


Рис.2. Распределение по квадрату поперечного импульса протонов из dC- (\blacktriangle) и СС_{МН}- (\bullet) взаимодействий. Гистограмма - расчет по ДКМ. Линии - результат аппроксимации экспериментальных точек функцией вида (1).

На рис.2 показано распределение протонов по квадрату поперечного импульса в СС_{МН}-взаимодействиях (кружки) и в dC-неупругих столкновениях (треугольники). Гистограмма представляет результаты расчета по ДКМ. Стрелкой показана кинематическая граница для NN-взаимодействий. Как

видно из рис.2, модель не описывает экспериментальные данные для CC_{MN} в области $P_{\perp} > 1$ ГэВ/с. Сплошная линия - результат аппроксимации экспериментальных спектров суммой двух экспонент:

$$N = A \exp(-aP_{\perp}^2) + B \exp(-bP_{\perp}^2). \quad (I)$$

Наклоны экспонент для CC_{MN} -столкновений оказались равны:

$$a = (5,6 \pm 0,5) (\text{ГэВ/с})^{-2}, \quad b = (1,9 \pm 0,1) (\text{ГэВ/с})^{-2}.$$

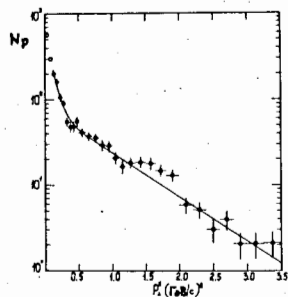


Рис.3. Распределение по квадрату поперечного импульса протонов, испущенных в CC_{MN} -взаимодействиях в области, кинематически запрещенную для NN -столкновений. Сплошная линия - результат аппроксимации экспериментальных точек функцией вида (I).

На рис.3 показано распределение по P_{\perp}^2 протонов, испущенных в область, кинематически запрещенную для NN -столкновений. Сплошной линией показан результат аппроксимации суммой двух экспонент (I). Наклоны экспонент: $a = (10,8 \pm 1,5) (\text{ГэВ/с})^{-2}$, $b = (1,2 \pm 0,1) (\text{ГэВ/с})^{-2}$. Малая величина наклона второй экспоненты, возможно, свидетельствует об образовании протонов с большими поперечными импульсами в жестких процессах. Вклад таких процессов в образование протонов за кинематической границей NN -взаимодействий оценивается нами в $\sim 70\%$.

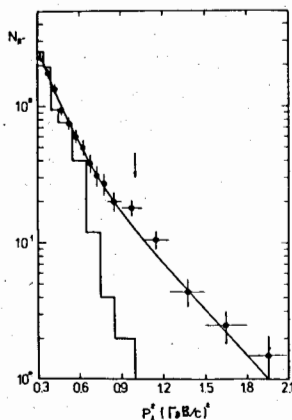


Рис.4. Распределение Π^- -мезонов в CC_{MN} -взаимодействиях по квадрату поперечного импульса. Гистограмма - результат расчета по ДКМ. Сплошная линия - результат аппроксимации экспериментальных точек функцией вида (I).

На рис.4 приведено распределение по квадрату поперечного импульса Π^- -мезонов, образовавшихся в столкновениях ядер d , He , C с ядрами углерода и тантала при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон. Все имеющиеся данные для увеличения статистики объединены. Гистограмма - соответствующая сумма расчетов ДКМ для CC_{MN} - и StA -взаимо-

действий. Сплошная линия показывает результат аппроксимации экспериментальных точек суммой двух экспонент (I) со следующими наклонами: $a = (7,1 \pm 1,5) (\text{ГэВ/с})^{-2}$, $b = (2,5 \pm 0,6) (\text{ГэВ/с})^{-2}$. Каскадная модель не описывает экспериментальные данные для Π^- -мезонов при больших P_{\perp} .

Третья глава посвящена изучению корреляционных явлений в соударениях релятивистских ядер с ядрами:

Проанализированы множественности пионов, средние значения импульса $\langle P \rangle$, продольной скорости $\langle Y \rangle$, угла вылета $\langle \Theta \rangle$ в лабораторной системе координат и поперечного импульса $\langle P_{\perp} \rangle$ Π^- -мезонов и протонов в зависимости от Q - числа взаимодействующих протонов в dC -, HeC -, CC - и CC_{MN} -соударениях. Число взаимодействующих протонов определялось по суммарному заряду всех вторичных частиц, за исключением спекторов. Показано, что $\langle n_{\pi^-} \rangle$ для взаимодействий, несимметричных по атомному весу сталкивающихся ядер, растет линейно до $Q \approx 1,5 A_p$ (A_p - атомный вес налетающего ядра) и далее выходит на плато. Для "симметричных" столкновений $\langle n_{\pi^-} \rangle$ растет линейно во всем интервале изменения Q . Экспериментальные данные по $\langle n_{\pi^+} \rangle$ для всех взаимодействий ложатся на одну прямую. Дубненская версия каскадной модели удовлетворительно воспроизводит зависимости $\langle n \rangle$, $\langle P \rangle$, $\langle Y \rangle$ и $\langle \Theta \rangle$ от Q для Π^- -мезонов и протонов. В то же время, как видно из рис.5, существенные различия с моделью наблюдаются для зависимости среднего поперечного импульса вторичных частиц от Q . Эти расхождения могут быть обусловлены как несовершенством модели, не учитывающей взаимодействие каскадных частиц между собой, так и наличием необычных, например коллективных, механизмов взаимодействия.

Конфигурация многонуклонных CC -соударений в импульсном пространстве изучалась с помощью величины $R = \frac{2}{\pi} \frac{\sum_i P_{\perp}^i}{\sum_i P_{\parallel}^i}$, где n - число заряженных частиц в событии, P_{\perp}^i и P_{\parallel}^i - поперечный и продольный импульсы i -й частицы. $n = 1$ для сферической конфигурации события и $n = 0$ для события, вытянутого вдоль оси взаимодействия. На рис.6 показана зависимость от поперечной энергии $E_{\perp} = \sum_i (\sqrt{P_{\perp}^i + m_i^2} - m_i)$ (m_i - масса i -й частицы), связанной с прицельным параметром взаимодействия: чем больше E_{\perp} , тем меньше прицельный параметр. Наблюдаемая зависимость свидетельствует о том, что форма событий ближе к сферической, чем к продольной конфигурации. Однако даже при самых больших E_{\perp} (или малых прицельных параметрах) ядра углерода остаются довольно прозрачными друг для друга.

На рис.7 представлено распределение по разности азимутальных углов $\Delta \varphi$ между протонами с $P_{\perp} > 0,7$ ГэВ/с в CC_{MN} -столкновениях. В виде гистограммы приведен результат расчета по ДКМ. Видно существ-

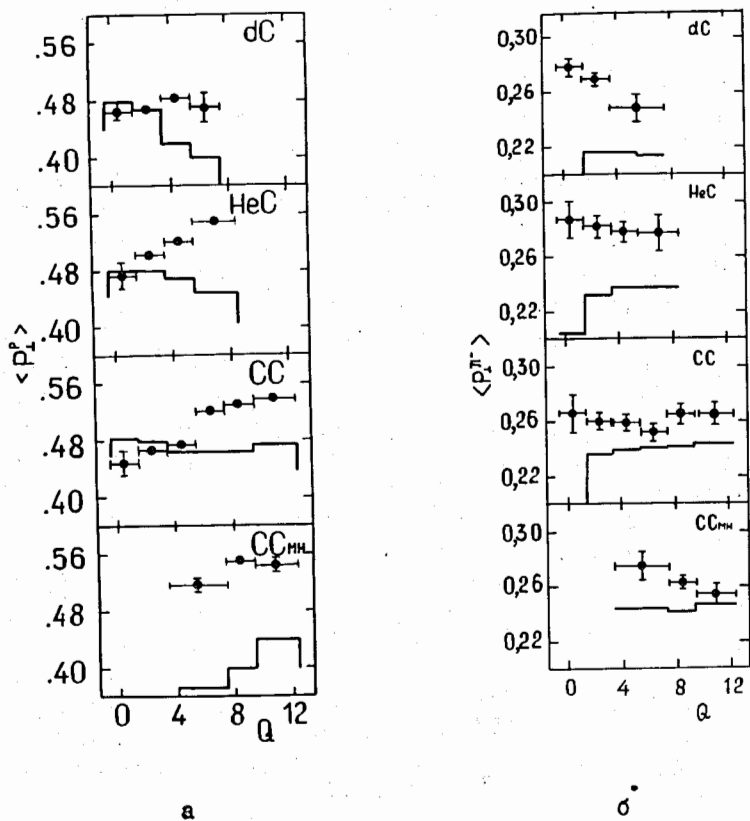


Рис.5. Зависимости среднего поперечного импульса (в ГэВ/с) протонов (а) и π -мезонов (б) от числа взаимодействующих протонов в АС-столкновениях. Гистограммы – расчет по ДКМ.

венное различие в поведении распределений по величине $\Delta\varphi$ для экспериментальных и генерированных событий. В модели отчетливо наблюдается кинематическая компенсация в испускании частиц в противоположном направлении ($\Delta\varphi \sim 180^\circ$). В экспериментальном распределении по сравнению с теоретическим наблюдается существенный избыток протонов в области разностей азимутальных углов, близкой к 120° . Это может свидетельствовать о том, что, в отличие от модели, где рождение частиц с большими p_T происходит в результате взаимодействия двух нуклонов, на опыте такие протоны в заметной доле событий образуются в результате столкновения нуклонов с кластерами, имеющими резонансную природу.

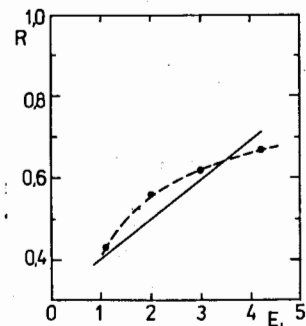


Рис.6. Зависимость отношения R от поперечной энергии (в ГэВ) для CC_{MH} -взаимодействий. Сплошная линия – расчет по ДКМ.

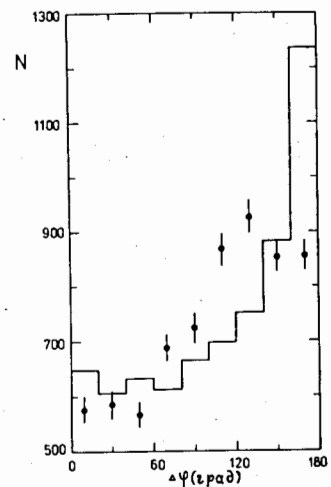


Рис.7. Распределение по разности углов в азимутальной плоскости протонов с $p_T > 0,7$ ГэВ/с в CC_{MH} -столкновениях.

Для проверки изложенного предположения были исследованы спектры эффективных масс двух протонов с $p_T > 0,5$ ГэВ/с и разностью азимутальных углов $\Delta\varphi$ в интервале $(120 \pm 60)^\circ$ для тех событий, в которых число таких протонов равнялось 3 и 4. В распределениях наблюдаются нерегулярности, которые могут свидетельствовать о резонансной структуре спектра. Однако малое количество событий не позволяет пока сделать однозначный вывод об их существовании.

С целью поиска двухнуклонных ассоциаций проведен анализ спектра эффективных масс двух протонов с импульсами $0,2 \text{ ГэВ/с} < p < 0,5 \text{ ГэВ/с}$. Эти частицы останавливаются в камере, и это позволяет проводить исследования с высокой степенью разрешения по эффективной массе. На рис.8 показан суммарный спектр для π C-столкновений при импульсе 40 ГэВ/с и (p, d, He, C)C-взаимодействий при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон. Сплошная линия – результат аппроксимации спектра суммой фона (получен перемешиванием из разных событий) и трех брейт-вигнеровских распределений.

Получены указания на существование узких дипротонных резонансов с массами в области 1926, 1964 и 2026 МэВ/с² и ширинами, соответственно, 11, 32 и 32 МэВ/с² (ширины аппаратурные).

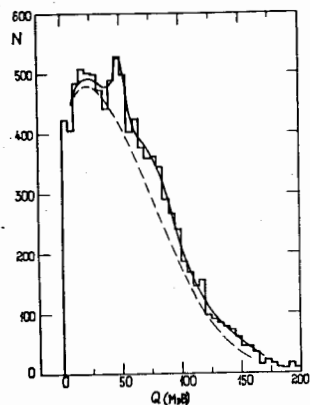


Рис.8. Суммарный спектр эффективных масс пар протонов с импульсами $(0,2 < P < 0,5)$ ГэВ/с в Π^+ -взаимодействиях с импульсом 40 ГэВ/с и в (p, d, He, C) -столкновениях с импульсом 4,2 ГэВ/с на нуклон. Штриховая линия — фон, полученный перемешиванием протонов из разных событий. Сплошная линия — результат аппроксимации суммой фона и трех брейт-вигнеровских распределений.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы:

1. Предложены и проанализированы критерии отбора многонуклонных CC -взаимодействий. Разработана методика выделения барионов из общего числа положительных частиц для взаимодействий изотопически-симметричных ядер. Сделана оценка доли дейтронов и тритонов среди зарегистрированных однозарядных барионов.

2. Впервые проведен анализ широкого набора инклюзивных характеристик вторичных частиц в CC -многонуклонных соударениях. Показано, что дубненская версия каскадно-испарительной модели удовлетворительно описывает инклюзивные одночастичные распределения. Значительные расхождения с моделью наблюдаются для протонов с большими поперечными импульсами. В распределении по квадрату поперечного импульса протонов, выходящих за кинематический предел для нуклон-нуклонных взаимодействий, впервые наблюден малый наклон $(1,2 \pm 0,1)$ ГэВ/с⁻², свидетельствующий о проявлении в ядро-ядерных взаимодействиях жестких процессов.

3. Исследованы зависимости средних значений импульсов, продольных быстрот, углов вылета в лабораторной системе координат и поперечных импульсов пионов и протонов от числа взаимодействующих протонов для dC -, HeC -, CC -и CC_{MN} -соударений. Наблюден существенное расхождение с ДКМ в описании поведения среднего поперечного импульса вторичных частиц.

4. Показано, что даже при самых малых прицельных параметрах ядра углерода остаются довольно прозрачными друг для друга.

5. При анализе азимутальных характеристик протонов в CC_{MN} -взаимодействиях впервые наблюден проявление многочастичных корреляций протонов с большими поперечными импульсами.

6. Исследованы спектры эффективных масс медленных протонов. Получены указания на существование узких дипротонных резонансов.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. N.Akhababian, ..., N.N.Agakishiev et al. Peripheral and central nucleus-nucleus collisions at 4,2 GeV/c per nucleon. JINR, E1-82-510, Dubna, 1982; Z.Phys.C, 1983, 16, 307.
2. Н.Ахабабян, ..., Г.Н.Агакишиев и др. Инклюзивные характеристики многонуклонных CC -взаимодействий при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон. ОИЯИ, PI-82-536, Дубна, 1982; ЯФ, 1983, 38, 152.
3. Г.Н.Агакишиев, А.П.Гаспарян, Р.А.Кватадзе. Поиск узких особенностей в спектрах эффективных масс двух и трех протонов методикой 2-метровой пропановой камеры. ОИЯИ, I-84-103, Дубна, 1984.
4. N.N.Agakishiev et al. Investigation of correlation phenomena in nucleus-nucleus interactions at 4,2 GeV/c per nucleon. JINR, E1-84-448, Dubna, 1984.
5. Г.Н.Агакишиев, А.П.Гаспарян, Е.Н.Кладнищкая, М.И.Соловьев. Корреляционные явления в многонуклонных CC -взаимодействиях при 4,2 ГэВ/с на нуклон. ОИЯИ, PI-84-551, Дубна, 1984; ЯФ, 1985, 41, 1562.
6. Г.Н.Агакишиев и др. Анализ поведения Π^- -мезонов и протонов, рожденных в ядро-ядерных взаимодействиях при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон в зависимости от числа протонов, принявших участие во взаимодействии. ОИЯИ, PI-86-370, Дубна, 1986; Phys.Rev.D, 1986, 34, 692.

Рукопись поступила в издательский отдел
3 октября 1986 года.