

Л-932



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1-83-710

ЛЮБИМОВ

Валентин Борисович

**КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ
В МНОЖЕСТВЕННОМ РОЖДЕНИИ ЧАСТИЦ
НА ЯДРАХ В КУМУЛЯТИВНОЙ ОБЛАСТИ**

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

Дубна 1983

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

БОРЕМОВ
Анатолий Васильевич

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

ЧЕРНОВ
Гилель Мордухович

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

ШЕБАНОВ
Владимир Антонович

Ведущее научно-исследовательское учреждение -
Институт физики высоких энергий, г. Алма-Ата

Защита диссертации состоится 29 марта 1984 г. в 10³⁰ час.
на заседании специализированного совета Д-047.01.02 при Лаборатории
высоких энергий Объединенного института ядерных исследований по адре-
су: г. Дубна, Московской области, Лаборатория высоких энергий ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ДВЭ ОИЯИ.
Автореферат разослан 24 февр. 1984 г.

Ученый секретарь
специализированного совета *Л.И. Лихачев* М.Ф. ЛИХАЧЕВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность изучения релятивистских адронов с ядрами состоит в том, что в них обнаруживается ряд явлений, не проявляющихся в физике низких энергий. К ним относится образование быстрых адронов в кинематических областях, запрещенных для свободных адрон-нуклонных соударений (кумулятивный эффект), возможность коллективного возбуждения ядерной материи (явление полного развала ядра мишени, ударные волны), масштабно-инвариантные свойства одночастичных распределений и т.д. Экспериментальные и теоретические исследования в этом направлении привели к возникновению и развитию новой области в физике высоких энергий - релятивистской ядерной физики. Для описания наблюдаемых особенностей стало необходимым рассматривать ядра не как многонуклонные, а как кварк-глюонные системы, т.е. возникла возможность единого описания адрон-адронных и адрон-ядерных взаимодействий на основе кварк-партоновых представлений о структуре элементарных объектов (как адронов, так и ядер). Изучение адрон-ядерных взаимодействий в кумулятивной области и, в особенности, корреляционных явлений в множественном рождении частиц в этих взаимодействиях - это прежде всего исследование роли кварковых и глюонных степеней свободы в атомных ядрах и, следовательно, новые возможности для понимания процессов множественной генерации адронов в высокоэнергичных адрон-ядерных взаимодействиях.

Цель работы - изучить корреляционные связи между процессами множественного рождения частиц в адрон-ядерных взаимодействиях и процессом кумулятивного рождения адронов в этих столкновениях;

- проанализировать инклюзивные спектры кумулятивных частиц в зависимости от их кумулятивного числа и квадрата поперечного импульса, в том числе и для событий, сопровождающихся испусканием нескольких кумулятивных адронов;

- получить сведения о корреляционных связях в событиях, сопровождающихся испусканием кумулятивных барионов и мезонов;

- исследовать явление полного развала ядра мишени на примере легкого ядра углерода и установить его возможную связь с кумулятивным эффектом;

- выделить и изучать характеристики и структуру лидирующих частиц в пион-нуклонных и пион-ядерных столкновениях и выяснить влияние на эффект лидирования взаимодействий кумулятивного типа.

Новизна работы заключается в том, что единой методикой проанализированы p - и L^- -углеродные взаимодействия кумулятивного типа ($P_p = 10$ ГэВ/с и $P_{L^-} = 40$ ГэВ/с), различающиеся по значениям

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

инвариантных удельных энергий (ϵ) в ≈ 30 раз. Причем данные по $J^{-12}C$ -столкновениям относятся к неисследованному значению $\epsilon \approx 290$.
Впервые:

- изучены свойства адрон-углеродных взаимодействий, сопровождающихся испусканием кумулятивных J -мезонов. В значительной степени это относится и к результатам анализа свойств столкновений с испусканием кумулятивных протонов;

- рассмотрены корреляции свойств адрон-углеродных взаимодействий с величинами, характеризующими степень кумулятивности события как по J -мезонам, так и по протонам. При этом обнаружено, что граница по переменной β° (кумулятивное число исследуемых адронов), где начинают проявляться особенности кумулятивного рождения адронов, лежит не при $\beta^\circ = 1$ (стандартное определение кумулятивного эффекта), а при $\beta^\circ \approx 0,6$ в случае испускания J -мезонов и при $\beta^\circ \approx 1,2$ - для испускания протонов. Установление границы для кумулятивных процессов дало возможность определить их сечения, получить данные о характеристиках процесса множественной генерации адронов в событиях кумулятивного типа, установить корреляционные связи между взаимодействиями, сопровождающимися испусканием кумулятивных нуклонов и J -мезонов;

- исследованы инвариантные инклюзивные сечения образования кумулятивных адронов в функции переменной β° и квадрата поперечного импульса, в том числе и для событий с рождением нескольких кумулятивных адронов. Последнее позволило получить сведения о поведении инклюзивных сечений образования кумулятивных струй;

- исследовано явление полного развала ядра мишени на примере легкого ядра углерода и экспериментально обнаружена его связь с кумулятивным эффектом. В частности, это относится к обнаруженной структуре в угловых распределениях протонов из событий с полным развалом ядра мишени, которая служит прямым указанием на возможное возникновение и развитие в ядре ударных волн;

- получены данные о свойствах лидирующих адронов в событиях кумулятивного типа, которые оказались не зависящими от степени кумулятивности события как по протонам, так и J -мезонам.

Научная и практическая ценность работы заключается в том, что на большом статистическом материале (~ 20 т. событий, найденных и обработанных на снимках с 2-метровой пропановой камеры) в условиях "4 π -геометрии" и при достаточно высоких точностях измерения импульсов и углов всех вторичных заряженных частиц выделены и изучены адрон-ядерные взаимодействия кумулятивного типа, установлены корреляционные связи между особенностями множественной генерации адронов и степенью кумулятивности события как по протонам, так и J -мезонам. Предложе-

на и разработана методика такого анализа. При этом получен ряд новых результатов, которые могут быть использованы и будут использоваться при планировании экспериментов как в ОИЯИ, так и в других институтах. Эти данные дают обширный фактический материал для развития теоретических подходов к трактовке механизма ядерных реакций при релятивистских энергиях как для "обычных" неупругих адрон-ядерных взаимодействий, так и взаимодействий, сопровождающихся испусканием кумулятивных адронов.

Публикации. В диссертацию вошли 25 работ, опубликованных в течение 1971-1983 гг. в журнале "Ядерная физика", "Болгарском физическом журнале", а также в виде препринтов и сообщений ОИЯИ и ИФВЭ (г. Серпухов). Список работ приводится в конце автореферата.

Апробации. Основные результаты работ, вошедших в основу диссертации, докладывались на сессиях АН СССР, ученом совете ОИЯИ, специализированных семинарах и симпозиумах, международных совещаниях стран-участниц ОИЯИ по обработке снимков с 2-метровой пропановой камеры ОИЯИ, семинарах ЛВЭ ОИЯИ, Лаборатории адронных взаимодействий НИИЯФ МГУ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, содержит 214 страниц машинописного текста, 61 рисунок, 28 таблиц и библиографию из 242 наименований.

Автор защищает:

1. Результаты проделанной работы по проведению облучения 2-метровой пропановой камеры ЛВЭ ОИЯИ пучком J -мезонов с импульсом 40 ГэВ/с и пучком протонов с импульсом 10 ГэВ/с, по измерению магнитного поля камеры, по получению и обработке ~ 20 т. событий.

2. Результаты анализа адрон-углеродных взаимодействий, сопровождающихся испусканием в заднюю полусферу лабораторной системы координат протонов и J -мезонов.

3. Метод и результаты анализа корреляционных связей свойств адрон-углеродных взаимодействий с величинами, характеризующими степень кумулятивности события по протонам и J -мезонам.

4. Результаты исследования инвариантных инклюзивных сечений образования кумулятивных J -мезонов в зависимости от кумулятивного числа β° и квадрата поперечного импульса P_{\perp}^2 , инклюзивных сечений образования кумулятивных протонов в функции β° и квадрата импульса P^2 , в том числе - для событий с разным числом кумулятивных адронов.

5. Метод выделения и результаты исследования $J^{-12}C$ -взаимодействий при 40 ГэВ/с с полным развалом ядра углерода и экспериментально

обнаруженную связь явления полного развала ядра мишени с кумулятивным эффектом.

6. Метод выделения и результаты исследования свойств лидирующих и "сохранившихся" π^- -мезонов в π^-I^2C -взаимодействиях при 40 ГэВ/с, результаты анализа поведения лидирующих адронов в событиях кумулятивного типа.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность проведенных исследований, дано обоснование необходимости экспериментального изучения корреляционных явлений в процессах кумулятивного типа, дан краткий обзор имеющихся теоретических построений по теме диссертации, формулируются цели и задачи описанных в диссертации исследований. Имеющиеся экспериментальные данные, так или иначе связанные с проблемами, затронутыми в диссертации, прореферированы во введениях каждой главы или, в случае необходимости, во введениях отдельных параграфов.

Работы, составляющие основу диссертации, выполнены на стереофотоснимках с 2-метровой пропановой камеры Лаборатории высоких энергий ОИЯИ, облученной пучком π^- -мезонов с импульсом 40 ГэВ/с на синхрофазотроне Института физики высоких энергий (г. Серпухов) и пучком протонов с импульсом 10 ГэВ/с на синхрофазотроне Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

В первой главе описаны основные моменты, связанные с облучением 2-метровой пропановой камеры пучками протонов и π^- -мезонов, измерениями магнитного поля камеры, методикой получения и обработки экспериментальной информации, дана краткая характеристика камеры.

Для экспозиции камеры был создан специальный кикер-магнит^{/1,2/}, который позволил с хорошей точностью дозировать интенсивность пучков частиц на камеру.

Проведена серия измерений магнитного поля камеры^{/3,4,5/}. Топология поля по трем его составляющим (H_x , H_y и H_z) снималась в ~ 15 т. точках с ошибкой, не большей 0,1%, при знании координаты каждой измеренной точки с точностью ± 2 мм.

Просмотр и отбор событий производился на столах БПС-1 и БПС-2. На стереофотоснимках из серии облучения камеры пучком π^- -мезонов при просмотре фиксировались все взаимодействия первичных частиц в пропане, затем по критериям, принятым для пропановых пузырьковых камер; события относились к топологии " π^-p ", " π^-n " и " π^-c ". Результаты по π^-I^2C -взаимодействиям, вошедшие в диссертацию, получены в основном при анализе событий топологии " π^-c ". Однако во многих случаях необходимо было знать полное число неупругих π^-I^2C -взаимодействий

(для нормировки, определения сечений и т.д.). Это число $N(\pi^-I^2c)$ определялось по формуле:

$$N(\pi^-I^2c) = N(\pi^-p) + N(\pi^-n) + \alpha N(\pi^-c), \quad (1)$$

где $N(\pi^-p)$, $N(\pi^-n)$ и $N(\pi^-c)$ - число событий топологии " π^-p ", " π^-n " и " π^-c " соответственно. Коэффициент α , определенный на основе нормировки числа всех событий, зарегистрированных в пропане, к полному сечению взаимодействий π^- -мезонов с молекулой пропана, оказался равным $\alpha = 0,44 \pm 0,03$. Всего из серии облучения камеры π^- -мезонами просмотрено ≈ 300 т. фотографий, причем, как правило, дважды, с эффективностью, близкой к единице. В последних публикациях, относящихся к теме диссертации^{/6+14/}, было использовано 8642 события топологии " π^-c " или ~ 20 т. неупругих π^-I^2C -взаимодействий.

На стереофотоснимках, полученных при облучении камеры пучком протонов с $P_p = 10$ ГэВ/с, осуществлялся поиск кумулятивных pI^2C -взаимодействий. Для этого в выбранном эффективном объеме камеры просматривались все взаимодействия первичных протонов в пропане и регистрировались события, сопровождающиеся пропусканием в интервал углов $\theta \geq 135^\circ$ задней полусферы (ЗП) лабораторной системы координат (ЛСК) либо протона с импульсом $P > 380$ МэВ/с, либо π^- -мезона с импульсом $P > 200$ МэВ/с. Всего из этой серии облучения камеры просмотрено ~ 60 т. фотографий и найдено 467 pI^2C -взаимодействий указанного типа^{/15/}.

Математическая обработка найденных событий производилась с помощью программы ГБОУИТ, созданной для быстродействующих ЭВМ типа CDC-1604A и БЭСМ-6. Анализ по определению точностей нахождения пространственных координат в камере, ошибок в определении параметров заряженных частиц и пр. был проведен на стереофотоснимках из серии облучения камеры пучком π^- -мезонов^{/16/}. Этот анализ показал, что точность восстановления координат в плоскости камеры $\sigma_{xy} = (0,0084 \pm 0,0007)$ см и по вертикальной оси $\sigma_z = (0,044 \pm 0,006)$ см. Точность в определении импульсов вторичных заряженных частиц по кривизне следа оказалась зависящей от длины следа частицы и ее импульса и составила в среднем $(13,9 \pm 0,3)\%$. Точность в определении углов этих частиц в плоскости камеры - $(0,0037 \pm 0,0001)$ рад, в вертикальной плоскости - $(0,0061 \pm 0,0001)$ рад.

Выбрана эффективная область для регистрации "звезд" как в случае облучения камеры пучком π^- -мезонов^{/16/}, так и в случае облучения пучком протонов^{/17/}.

Во второй главе рассмотрены результаты, относящиеся к фрагментации ядра углерода на π^- -мезоны под действием π^- -мезонов с $P_{\pi^-} = 40$ ГэВ/с и протонов с $P_p = 10$ ГэВ/с [7+12, 14, 15, 18, 19]. Глава состоит из трех частей. В первой части (§ 2.2) представлены данные по общим свойствам π^- - ^{12}C - и p - ^{12}C -взаимодействий, сопровождающихся испусканием в ЗП π^- -мезонов. Обнаружено, что вероятность π^- - ^{12}C -столкновений (без квазинуклонных взаимодействий), имеющих в ЗП π^- -мезоны, приблизительно в 3 раза больше вероятности для π^- - p -столкновений; вероятность испускания в ЗП двух и более π^- -мезонов приблизительно на порядок больше, чем в π^- - p -столкновениях. В событиях с π^- -мезонами в ЗП наблюдается уменьшение импульсов всех π^- -мезонов (на $\approx 20\%$) и рост их множественности (на $\approx 20\%$) по сравнению с обычными π^- - ^{12}C - и p - ^{12}C -взаимодействиями, т.е. существуют корреляционные связи между процессами, приводящими к испусканию в ЗП π^- -мезонов, и свойствами всех остальных π^- -мезонов. В то же время корреляционные связи между процессами, приводящими к испусканию в ЗП протонов и π^- -мезонов, отсутствуют. Последнее следует из данных по средней множественности протонов в событиях с π^- -мезонами в ЗП и по соотношениям между вероятностями испускания в ЗП из π^- - ^{12}C -взаимодействий протонов и π^- -мезонов.

Во второй части главы II (§ 2,3) рассмотрены корреляционные связи между свойствами адрон-углеродных взаимодействий и параметрами, которые характеризуют процесс фрагментации ядра углерода на π^- -мезоны. В первом варианте анализа корреляционных связей в качестве такого параметра выбрано значение наибольшего кумулятивного числа ($\beta^{\circ \max}$) в каждом из рассматриваемых событий:

$$\beta^{\circ \max} = \max \{ \beta_i^{\circ} \}, \quad (2)$$

где $\beta_i^{\circ} = (E_i - p_{iz}) / m_0$ - кумулятивное число i -го π^- -мезона в событии (здесь m_0 - атомная единица массы, E_i и p_{iz} - энергия и проекция импульса i -го π^- -мезона на ось реакции в ЛСК). Этот вариант анализа проведен для π^- - ^{12}C -взаимодействий при $P_{\pi^-} = 40$ ГэВ/с с рождением, по крайней мере, двух π^- -мезонов. Во втором варианте анализа, проведенном как для π^- - ^{12}C -, так и для p - ^{12}C -взаимодействий, изучены свойства этих событий в зависимости от значения величины

$$\beta^{\circ} = \frac{N_{\pi^-}}{\sum_{i=1}^{N_{\pi^-}} \beta_i^{\circ}}, \quad (3)$$

где N_{π^-} - число π^- -мезонов, испущенных в рассматриваемом событии в ЗП.

Найдено, что наиболее четко корреляционные связи с величиной $\beta^{\circ \max}$ проявляются на свойствах пионов "сопровождения" и практи-

чески незаметны на свойствах вторичных протонов. Причем по всем рассмотренным характеристикам (средний импульс в ЛСК, средний угол испускания в ЛСК, средняя быстрота, средняя множественность) проявляются две области по $\beta^{\circ \max}$ с границей при $\beta^{\circ \max} \approx 0,6$: область с $\beta^{\circ \max} < 0,6$, характеризующаяся резкими изменениями всех характеристик этих пионов по мере роста $\beta^{\circ \max}$, и область с $\beta^{\circ \max} > 0,6$, где эти изменения незаметны. События, попадающие в область с $\beta^{\circ \max} > 0,6$, следует отнести к взаимодействиям кумулятивного типа. Эти события характеризуются большей множественностью вторичных заряженных пионов, большими углами испускания в ЛСК и меньшими значениями их средних импульсов.

Наличие двух областей во втором варианте анализа (по β°) проявляется, в основном, на различии свойств π^+ и π^- -мезонов. Свойства π^+ -мезонов отличаются от свойств π^- -мезонов в событиях некумулятивного типа и совпадают для событий с кумулятивными π^- -мезонами. В первом приближении свойства всех заряженных пионов "сопровождения" можно считать не зависящими от значения величины β° .

С использованием результатов анализа свойств π^- - ^{12}C -взаимодействий в зависимости от значения величин $\beta^{\circ \max}$ и β° , найденных по π^- -мезонам, определено сечение "пионных" кумулятивных π^- - ^{12}C -взаимодействий. Оно оказалось равным $(12,2 \pm 0,4)$ мб или составляет $(6,8 \pm 0,2)\%$ от сечения неупругих π^- - ^{12}C -взаимодействий при $P_{\pi^-} = 40$ ГэВ/с.

В третьей части второй главы (§ 2.4) приведена информация о проведении инклюзивных сечений образования кумулятивных π^- -мезонов в π^- - ^{12}C -взаимодействиях в зависимости от переменных β° и P_{\perp}^2 . Значение параметра $\langle \beta^{\circ} \rangle$ при параметризации сечений образования всех π^- -мезонов, испущенных в ЗП, зависимостью вида $\sim \exp(-\beta^{\circ} / \langle \beta^{\circ} \rangle)$, оказалось равным: $\langle \beta^{\circ} \rangle = 0,141 \pm 0,004$. Зависимость от кумулятивного числа β° инвариантных инклюзивных сечений образования одиночных π^- -мезонов, испущенных в ЗП (для них $\langle \beta^{\circ} \rangle = 0,143 \pm 0,004$), оказалась практически одинаковой с зависимостью для π^- -мезонов, испущенных в ЗП в составе струи π^- -мезонов всех знаков (в этом случае $\langle \beta^{\circ} \rangle = 0,130 \pm 0,005$). Зависимость сечений от P_{\perp}^2 в кумулятивной области существенно отличается от зависимости сечений в некумулятивной области. Так, при аппроксимации P_{\perp}^2 -зависимости выражением вида $\sim \exp(-P_{\perp}^2 / \langle P_{\perp}^2 \rangle)$ для параметра $\langle P_{\perp}^2 \rangle$ получаются значения:

$$\begin{aligned} \langle P_{\perp}^2 \rangle &= (0,034 \pm 0,002) (\text{ГэВ/с})^2 \text{ для } \pi^- \text{-мезонов с } \beta^{\circ} < 0,5, \\ \langle P_{\perp}^2 \rangle &= (0,18 \pm 0,02) (\text{ГэВ/с})^2 \text{ для } \pi^- \text{-мезонов с } \beta^{\circ} > 0,5. \end{aligned}$$

Получены сведения о фрагментации ядра углерода на медленные π^- -мезоны с $P < 110$ МэВ/с (§ 2.5). Найдено, что в $\pi^- I^2C$ -взаимодействиях при $P_{\pi^-} = 40$ ГэВ/с такие π^- -мезоны наблюдаются со значительно большей вероятностью (приблизительно на порядок), чем в $\pi^- p$ -столкновениях при той же энергии первичного π^- -мезона.

Третья глава диссертации, в которой изложены результаты по фрагментации ядра углерода на протоны 13,15,20 , построена по тому же принципу, что и 2-я глава. В первой части (§ 3.2) рассмотрены общие свойства $\pi^- I^2C$ - и $p I^2C$ -взаимодействий, сопровождающихся испусканием в ЗП ЛСК протонов. Найдены вероятности $\pi^- I^2C$ -соударений с испусканием в ЗП числа протонов $N_{p\pi} = 1, 2, 3$ и 4 (они равны соответственно $(14,9 \pm 0,4)\%$, $(2,8 \pm 0,2)\%$, $(0,32 \pm 0,06)\%$ и $(0,1 \pm 0,1)\%$. Соотношения между этими вероятностями дает возможность сделать вывод о независимом испускании разного числа протонов в ЗП.

Средние характеристики заряженных пионов в событиях, имеющих протоны в ЗП, оказались такими же, как и во всех $\pi^- I^2C$ - и $p I^2C$ -взаимодействиях. В то же время в этих событиях наблюдаются изменения свойств остальных протонов, особенно четко это видно на результатах по множественности этих протонов. Соответствующие данные приведены в таблице I в виде отношений (η) характеристик π^- -мезонов и протонов (средние множественности - \bar{n} , средние импульсы - \bar{P} и средние углы испускания - $\bar{\theta}$ в ЛСК) в событиях, сопровождающихся испусканием протонов в ЗП, к соответствующим характеристикам для всех $\pi^- I^2C$ - и $p I^2C$ -взаимодействий.

Таблица I

Характеристика	η для π^- -мезонов		η для протонов	
	$\pi^- I^2C$	$p I^2C$	$\pi^- I^2C$	$p I^2C$
\bar{n}	$1,01 \pm 0,01$	$0,99 \pm 0,05$	$1,46 \pm 0,03$	$1,57 \pm 0,07$
\bar{P}	$1,03 \pm 0,03$	$1,02 \pm 0,06$	$0,97 \pm 0,01$	$1,05 \pm 0,03$
$\bar{\theta}$	-	$1,01 \pm 0,06$	-	$0,86 \pm 0,02$

Во второй части третьей главы (§ 3.3 и 3.4) рассмотрена зависимость свойств адрон-углеродных взаимодействий от параметров, характеризующих процесс фрагментации ядра углерода на протоны. Как и в случае кумулятивного рождения π^- -мезонов, проанализированы корреляционные связи свойств $\pi^- I^2C$ -взаимодействий с величиной β°_{max} , определенной в данном случае по протонам. Зависимость свойств адрон-углеродных взаимодействий от величины β° , найденной для протонов, испущенных в ЗП, рассмотрена на примере $p I^2C$ -столкновений. Обнару-

жено, что наиболее четко корреляционные связи с величиной β°_{max} проявляются на свойствах протонов "сопровождения" и незаметны на свойствах вторичных π^- -мезонов. Причем по всем характеристикам протонов "сопровождения" ($\bar{P}, \bar{\theta}, \bar{n}$) выделяются две области по значениям переменной β°_{max} : область с $\beta^{\circ}_{max} \leq 1,2$, которая характеризуется резкими изменениями свойств этих протонов по мере роста β°_{max} , и область с $\beta^{\circ}_{max} > 1,2$, где эти изменения незаметны. Область с $\beta^{\circ}_{max} > 1,2$ целиком находится в интервале значений переменной β° , запрещенных элементарной кинематикой, поэтому события в этой области следует отнести к взаимодействиям кумулятивного типа.

В первом приближении не обнаружено зависимости характеристик рассмотренных вторичных частиц (протонов, π^{\pm} -мезонов и быстрых положительных частиц с импульсом $P > 1$ ГэВ/с), образованных в $p I^2C$ -взаимодействиях, от значения величины β° , найденной для протонов.

В $\pi^- I^2C$ -взаимодействиях, имеющих кумулятивный протон, в $\approx 12\%$ случаев наблюдается испускание кумулятивных π^- -мезонов, причем эта доля одинакова в пределах ошибок для событий, попадающих в разные интервалы по β°_{max} , определенной по протонам. Это означает независимость испускания двух типов кумулятивных адронов (протонов и пионов), что подтверждается характером корреляционных связей в событиях с кумулятивными протоном и π^- -мезоном.

При выборе границы по переменной β° для кумулятивного рождения протонов, равной $\beta^{\circ}_p = 1,2$, для сечений $\pi^- I^2C$ -взаимодействий, сопровождающихся испусканием кумулятивных протонов, получается значение $\sigma = (11,5 \pm 0,4)$ мб. Это сечение в пределах ошибок совпадает с сечением $\pi^- I^2C$ -взаимодействий с рождением кумулятивных пионов. К такому же результату приводит анализ зависимости инвариантных инклюзивных сечений образования кумулятивных протонов и π^- -мезонов от переменной $\varphi' = \beta^{\circ} - \alpha B$ (§ 3.5) с параметром $\alpha \approx 0,7$ для $\pi^- I^2C$ -взаимодействий и $\alpha \approx 1$ для $p I^2C$ -столкновений (B - барионное число кумулятивного адрона).

В § 3.5 (третья часть главы III) приводятся также результаты анализа инклюзивных спектров всех вторичных протонов, образованных в $\pi^- I^2C$ -взаимодействиях, в функции квадрата их импульса. Эти спектры аппроксимируются суммой двух экспонент. Низкоэнергичная часть спектров (с $P^2 < 0,1$ (ГэВ/с)²) относится, в основном, к испарительным протонам и имеет параметр наклона (B_1), существенно больший параметра наклона для высокоэнергичной части спектров (B_2). Параметр B_2 в пределах ошибок не зависит от общей множественности протонов и для протонов, испущенных в ЗП, имеет значение $B_2 = (14,4 \pm 0,8)$ (ГэВ/с)⁻²,

которое в пределах ошибок совпадает с параметром, полученным для протонов с импульсом $P \geq 0,4$ ГэВ/с, испущенных из p ^{12}C -взаимодействий в интервал телесных углов $\theta \geq 135^\circ$ (для них $V = (15,2 \pm 1,1) (\text{ГэВ/с})^{-2}$). Полученные значения параметров для высокоэнергичной части спектров протонов, испущенных в ЗП, оказались близкими к опубликованным данным для фрагментации ядра углерода на протоны под действием π^- -мезонов, протонов и γ -квантов в области энергий, больших 1 ГэВ.

Исследовано явление полного развала ядра (ПРЯ) мишени на примере легкого ядра углерода π^- -мезонами с $P_\pi = 40$ ГэВ/с и его связь с кумулятивным эффектом. Эти результаты суммированы в четвертой главе диссертации и опубликованы в ^{6,9,12,14,19,21/}. Использовалось два критерия отбора таких событий. Первый критерий (отбор событий с числом протонов $N_p \geq 4$) аналогичен применявшемуся в фотоэмульсионных работах по изучению процесса ПР сравнительно тяжелых ядер (Ag , Br и Pb). При использовании только этого критерия для вероятности ПРЯ углерода получено значение $W_1 = (2,7 \pm 0,2)\%$, которое в пределах ошибок совпадает с результатами, полученными в фотоэмульсионных работах. Методические возможности пропановой камеры позволили использовать дополнительный, не применявшийся ранее, второй критерий отбора событий с ПРЯ мишени по суммарному заряду вторичных частиц:

$$\sum Q \equiv N_p + N_{\pi^+} - N_{\pi^-} \geq 4$$

(здесь N_{π^+} и N_{π^-} - число π^+ - и π^- -мезонов в событии). В результате использования двух критериев одновременно для вероятности ПРЯ углерода получено значение $W = (7,0 \pm 0,3)\%$.

Как видно из таблицы II, где приведены отношения средних характеристик π^\pm -мезонов и протонов (\bar{n} , \bar{p} , $\bar{\theta}$, ξ - доля рассматриваемых

Таблица II

Характеристика	Тип частицы		
	π^+	π^-	p
\bar{n}	$1,44 \pm 0,03$	$1,09 \pm 0,04$	$2,42 \pm 0,18$
\bar{p}	$0,81 \pm 0,05$	$0,78 \pm 0,07$	$0,91 \pm 0,08$
$\bar{\theta}$	$1,21 \pm 0,03$	$1,30 \pm 0,04$	$1,02 \pm 0,02$
ξ	$1,52 \pm 0,18$	$1,38 \pm 0,20$	$0,97 \pm 0,06$

частиц, испущенных в ЗП) в событиях с ПРЯ углерода к соответствующим характеристикам во всех неупругих π^- ^{12}C -взаимодействиях, события с ПРЯ углерода характеризуются следующими особенностями:

а) свойства идентифицированных протонов в событиях с ПРЯ углерода и всех π^- ^{12}C -взаимодействиях в пределах ошибок не отличаются друг от друга, за исключением средних множественностей;

б) события с ПРЯ углерода отличаются от всех неупругих π^- ^{12}C -взаимодействий по свойствам π^- -мезонов. Характер этих отличий такой же, как и в случае взаимодействий, имеющих кумулятивные π^- -мезоны.

Изучены угловые распределения протонов в событиях с ПРЯ углерода, в которых, как оказалось, намечается максимум в районе углов испускания $\theta \approx 60^\circ$. Этот максимум проявляется более четко, если отбор событий "усилить" требованием к множественности π^- -мезонов (отбирать события с множественностью π^- -мезонов, большей среднего значения), требованием преимущественного испускания протонов в переднюю полусферу ЛСК, а также не очень существенным ограничением импульсов исследуемых протонов.

Обнаруженная структура угловых распределений протонов оказывается в значительной степени связанной с взаимодействиями, сопровождающимися испусканием кумулятивных π^- -мезонов.

В пятой главе рассмотрена проблема лидирования в пион-нуклонных и пион-углеродных взаимодействиях при 40 ГэВ/с ^{22+25/} и приводятся данные о поведении лидирующих адронов в π^- ^{12}C и p ^{12}C -взаимодействиях кумулятивного типа ^{9,10,12+15/}.

При анализе спектров продольных импульсов лидирующих частиц (частиц с максимальным импульсом в каждом событии) в системе центра инерции пион-нуклон (сци) показано, что среди них можно выделить т.н. "сохранившиеся" π^- -мезоны, которые уносят значительную долю ($>30\%$) первичного импульса и испускаются в пределах узкого конуса вперед со средней множественностью $\bar{n} \approx 0,2$ и средним импульсом в сци $\bar{p} \approx 3,0$ ГэВ/с.

По всем рассмотренным характеристикам (спектры, средние импульсы, средние углы вылета) не наблюдается существенной разницы между свойствами лидирующих и "сохранившихся" частиц в пион-нуклонных и пион-углеродных взаимодействиях.

Рассмотрен круг вопросов, относящихся к т.н. эффекту "ядерной прозрачности" для высокоэнергичных адронов по данным для π^- ^{12}C -взаимодействий. Для этого изучены корреляции свойств быстрых частиц, выбранных в узком конусе вперед в зависимости от числа испущенных в столкновении медленных протонов N_p . Если для средних множественностей и средних углов вылета этих частиц характерна независимость от N_p , то средние импульсы имеют тенденцию к уменьшению по мере роста N_p , хотя этот эффект и незначителен.

На основе модели кластерного типа и с использованием экспериментальной информации о числе γ -квантов (с $E_\gamma > 5$ ГэВ и $E_\gamma > 10$ ГэВ) сделаны конкретные оценки сечения взаимодействия лиди-

ружких адронов в ядре. Оно оказалось значительно меньшим, чем сечение взаимодействия адрона с нуклоном ($\sim 0,1 \text{ бПН}$).

В $J^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях рассмотрены свойства лидирующих адронов в зависимости от значения величины $\beta^{\circ}_{\text{max}}$, найденной как по J -мезонам, так и по протонам. Для событий, сопровождающихся испусканием в ЗП нескольких J -мезонов, получены данные о свойствах лидирующих адронов в зависимости от кумулятивного числа β° (форм. 3) этих J -мезонов.

В $p^{12}\text{C}$ -взаимодействиях свойства лидирующих адронов рассмотрены в зависимости от кумулятивного числа β° протона или J -мезона, испущенных в интервал углов $\theta \gtrsim 135^{\circ}$.

В результате оказалось, что лидирующие J^{+} - и J^{-} -мезоны в $J^{-12}\text{C}$ -столкновениях, сопровождающихся испусканием кумулятивного протона или J -мезона, отличаются по значениям их средней множественности и средних импульсов. В событиях с испусканием нескольких J -мезонов в ЗП свойства лидирующих J^{+} - и J^{-} -мезонов совпадают. Во всех случаях не наблюдается зависимости свойств лидирующих адронов от значения величин $\beta^{\circ}_{\text{max}}$ и β° , найденных для кумулятивных протонов и J -мезонов.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

За период с 1971 г. по 1982 г. с участием автора:

а) проведено облучение двухметровой пропановой камеры Лаборатории высоких энергий ОИЯИ пучком J -мезонов с импульсом 40 ГэВ/с на синхрофазотроне Института физики высоких энергий (г. Серпухов) и пучком протонов с импульсом 10 ГэВ/с на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ. Для получения оптимальных режимов облучения камеры создан специальный кикер-магнит.

б) Проведено несколько серий измерений магнитного поля двухметровой пропановой камеры по трем его составляющим (H_x, H_y, H_z) в ~ 15 т. точках с ошибкой не хуже 0,1%.

в) Просмотрено ≈ 300 т. стереофотоснимков, полученных при облучении камеры пучком J -мезонов, отобрано по критериям, которые стали уже стандартными, и измерено ~ 20 т. неупругих $J^{-12}\text{C}$ -взаимодействий.

г) Просмотрено ≈ 60 т. стереофотоснимков, полученных при облучении камеры пучком протонов, на которых найдено и измерено 467 $p^{12}\text{C}$ -взаимодействий, сопровождающихся испусканием в интервал углов, близких к 180° лабораторной системы координат, по крайней мере, одного протона с импульсом $P > 380$ МэВ/с или J -мезона с импульсом $P > 200$ МэВ/с.

Вся экспериментальная информация с помощью стандартных программ записана на магнитных лентах суммарных результатов (DST) для быстродействующих ЭВМ типа CDC-1604A, CDC-6500 и БЭСМ-6. На основе этой информации:

1. Проанализированы свойства $J^{-12}\text{C}$ - и $p^{12}\text{C}$ -взаимодействий, сопровождающихся испусканием в заднюю полусферу (ЗП) лабораторной системы координат (ЛСК) протонов и J -мезонов. Этот анализ показал:

а) По данным для $J^{-12}\text{C}$ -взаимодействий вероятность испускания протонов в ЗП ЛСК с импульсами $P = (140 \pm 700)$ МэВ/с ($W = (18,1 \pm 0,5)\%$) в $\approx 1,3$ раза больше вероятности испускания в ЗП J^{\pm} -мезонов (с импульсами $\gtrsim 100$ МэВ). Из детальных соотношений между найденными вероятностями следует независимость испускания в ЗП разного числа протонов, что, вообще говоря, не имеет места для J -мезонов.

б) В событиях, сопровождающихся испусканием в ЗП ЛСК J -мезонов, в сравнении с "обычными" $J^{-12}\text{C}$ - и $p^{12}\text{C}$ -взаимодействиями наблюдаются изменения свойств всех J -мезонов, свойства вторичных протонов при этом остаются неизменными. В событиях с протонами в ЗП эти изменения относятся к свойствам протонов и не касаются свойств J -мезонов. Такой характер корреляционных связей в части, относящейся к множественности вторичных протонов, подтверждается данными других экспериментов.

в) Из данных по множественности протонов, испущенных в ЗП ЛСК из событий, имеющих в ЗП J -мезоны, следует, что корреляционные связи между процессами, приводящими к испусканию в ЗП протонов и J -мезонов, отсутствуют. Этот вывод подтверждается результатами по соотношению между соответствующими вероятностями и имеет место для рождения кумулятивных протонов и J -мезонов.

г) Процесс множественной генерации J -мезонов в событиях, имеющих адроны в ЗП, характеризуется одинаковыми свойствами как по J^{+} , так и по J^{-} -мезонам, причем эти свойства не зависят от ароматов частиц, испущенных в ЗП ЛСК, и их кумулятивного числа β° .

2. Рассмотрены корреляции свойств неупругих $J^{-12}\text{C}$ -взаимодействий со значением наибольшего кумулятивного числа ($\beta^{\circ}_{\text{max}}$), найденного по всем вторичным J -мезонам или протонам в каждом из рассматриваемых событий. Обнаружено:

а) Наиболее четко корреляционные связи с величиной $\beta^{\circ}_{\text{max}}$, найденной по J -мезонам, проявляются на свойствах пионов "сопровождения" и практически незаметны на свойствах вторичных протонов. По всем рассмотренным характеристикам пионов "сопровождения" в зависимости от значения величины $\beta^{\circ}_{\text{max}}$ выделяются две области с границей при $\beta^{\circ}_{\text{max}} \approx 0,6$. Область с $\beta^{\circ}_{\text{max}} > 0,6$ является областью кумулятивного

рождения π -мезонов. Таким образом, граница, где начинают проявляться особенности кумулятивного рождения π -мезонов, лежит не при значении $\beta^0 = 1$ (стандартное определение кумулятивного эффекта), а ниже при $\beta^0 \approx 0,6$.

б) Корреляционные связи с величиной β_{max}^0 , найденной по протонам, проявляются на свойствах протонов "сопровождения" и незаметны на свойствах вторичных π -мезонов. По всем рассмотренным характеристикам протонов "сопровождения" выделяется область кумулятивного образования протонов с границей при $\beta_{max}^0 \approx 1,2$, т.е. граница по переменной β^0 , где начинают проявляться особенности кумулятивного рождения протонов, лежит при значениях $\beta^0 \approx 1,2$.

в) При выборе границы по переменной β^0 для кумулятивного рождения π -мезонов, равной $\beta^0 = 0,6$, и для кумулятивного рождения протонов - $\beta^0 = 1,2$ для сечений образования кумулятивных протонов и π -мезонов в $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях получается совпадающее в пределах экспериментальных ошибок значение $\sigma \approx 12$ мб. Вывод о равенстве сечений взаимодействий с рождением кумулятивных протонов и π -мезонов подтверждается анализом инвариантных инклюзивных сечений образования кумулятивных адронов по переменной $Q = \beta^0 - \alpha B$, где B - барионное число кумулятивного адрона, α - параметр, близкий к единице.

3. Исследованы инвариантные инклюзивные сечения образования кумулятивных адронов (ρ) в $\pi^{-12}\text{C}$ - и в $p^{12}\text{C}$ -взаимодействиях. Найдено:

а) Зависимость ρ от кумулятивного числа β^0 имеет экспоненциальный вид ($\sim \exp - \beta^0 / \langle \beta^0 \rangle$) как для образования кумулятивных π -мезонов, так и протонов, с параметром $\langle \beta^0 \rangle$, близким к универсальной константе ($\langle \beta^0 \rangle = 0,14$), характеризующей инвариантные инклюзивные сечения в широком диапазоне первичных энергий. Этот результат подтверждает, в частности, наличие режима предельной фрагментации ядер при наших значениях инвариантных удельных энергий ($\epsilon = 10$ для $p^{12}\text{C}$ -столкновений и $\epsilon = 286$ для $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействий).

б) По данным для $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействий зависимость ρ от квадрата поперечного импульса (P_1^2) π^- -мезонов, испущенных в ЗП, меняет режим вблизи границы кумулятивной области (при $\beta^0 \approx 0,5$). Таким образом, зависимость сечений от P_1^2 может служить еще одним признаком, выделяющим кумулятивную область. Смена режима свидетельствует о том, что нет полной факторизации зависимости сечений от β^0 и P_1^2 во всем рассмотренном интервале переменных β^0 для π^- -мезонов, испущенных в ЗП.

в) По данным для $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействий зависимость ρ от переменной β^0 одиночных π^- -мезонов, испущенных в ЗП, практически совпадает с зависимостью для π^- -мезонов, испущенных в ЗП в составе струи π -мезонов всех знаков. Этот факт согласуется с гипотезой о мягкой адронизации кварков и служит подтверждением возможности извлечения кварк-партоновых структурных функций из данных по кумулятивному эффекту.

г) Получено подтверждение универсальности для зависимости инвариантных инклюзивных сечений образования кумулятивных протонов от квадрата их импульсов.

4. Исследовано явление полного развала ядра (ПРЯ) мишени на примере легкого ядра углерода под действием π^- -мезонов с $P_{\pi^-} = 40$ ГэВ/с. Найдено, что эти явления происходят с вероятностью, вдвое большей общепринятой, которая получена при помощи фотоэмульсионной методики для ПР сравнительно тяжелых ядер Ag , Br и Pb . Из анализа событий с ПРЯ углерода следует:

а) события с ПРЯ углерода и все $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействия характеризуются одинаковыми свойствами протонов по всем характеристикам (кроме множественности) и различаются по свойствам вторичных π -мезонов. Характер этих отличий такой же, как и для событий, сопровождающихся испусканием кумулятивных π -мезонов.

б) Угловое распределение протонов из событий с ПРЯ углерода имеет структуру с максимумом, соответствующим углу конуса Маха для ударных волн. Такая же структура угловых распределений наблюдается для протонов из взаимодействий, сопровождающихся испусканием кумулятивных π -мезонов.

Таким образом, вся совокупность полученных фактов указывает на тесную связь явлений ПРЯ мишени с кумулятивным эффектом.

5. Рассмотрена проблема лидирования в неупругих адрон-углеродных взаимодействиях и изучены свойства лидирующих частиц. Показано:

а) По всем рассмотренным характеристикам не наблюдается существенной разницы между свойствами лидирующих частиц в пион-нуклонных и пион-ядерных взаимодействиях, т.е. ядро для лидирующих частиц оказывается практически прозрачным. Это подтверждается результатами анализа свойств быстрых частиц в зависимости от числа зарегистрированных в событии медленных протонов, а также конкретными оценками сечения взаимодействия лидирующих адронов в ядре.

Таким образом, вся совокупность полученных данных по лидирующим адронам позволяет заключить, что эффект лидирования практически не искажается ядром и поэтому свойства лидирующих адронов несут информацию о первичном акте взаимодействия налетающего адрона в ядре.

б) Во всех случаях ($\pi^{-12}\text{C}$ - и $p^{12}\text{C}$ -взаимодействий) не наблюдается зависимости свойств лидирующих адронов от значения величин β_{max}^0

и β^0 , найденных как по протонам, так и по J^0 -мезонам. Этот результат согласуется с представлением о том, что лидирующие частицы образуются из кварков-спектаторов, проходящих сквозь ядро без взаимодействия, а кумулятивная частица является сигналом о жестком соударении других кварков налетающего адрона.

Вою совокупность данных по корреляционным явлениям в множественном рождении частиц на ядрах в кумулятивной области трудно понять в рамках моделей, так или иначе основанных на представлении о существовании в ядре квазичастиц нуклонов.

Ситуация осложняется еще и тем, что ряд обнаруженных эффектов либо вообще не обсуждается в теоретических работах (возможное существование границы кумулятивных процессов, отличной от чисто кинематической для столкновений элементарных адронов, их связь с эффектом лидирования, явлением ПРЯ мишени и пр.), либо им мало уделяется внимания. Последнее относится к таким фундаментальным вопросам, как связь кумулятивных явлений с процессом множественной генерации адронов, вопросам связи между процессами образования кумулятивных барионов и мезонов и т.д. По-видимому, наиболее правильный путь для понимания имеющейся в настоящее время экспериментальной информации — это кварк-партоные представления о структуре сталкивающихся объектов и рассмотрение процесса жесткого рассеяния их конститuentов.

Материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. А.Н.Алеев, Н.А.Галаяев, ... В.Б.Любимов и др. "Применение кикер-магнита при дозировке числа частиц на пузырьковые камеры". ИФВЭ, ОП 71-106, Серпухов, 1971.
2. У.Г.Гулямов, В.Г.Колесник, ... В.Б.Любимов и др. "Импульсный безжелезный магнит для дозировки заряженных частиц высоких энергий на пузырьковые камеры". ОИЯИ, 13-6186, Дубна, 1972.
3. А.Ц.Абдурахимов, Ш.В.Иногамов, ... В.Б.Любимов и др. "Измерение магнитного поля в магните 2-метровой пропановой пузырьковой камеры ОИЯИ". ОИЯИ, 13-6448, Дубна, 1972.
4. А.Ц.Абдурахимов, Н.Ангелов, ... В.Б.Любимов и др. "Таблицы измеренных значений магнитного поля для пропановой пузырьковой камеры ТПК-500 ЛВЭ ОИЯИ", ОИЯИ, Б2-13-6657, Дубна, 1972.
5. В.А.Беляков, С.А.Долгий, ... В.Б.Любимов и др. "Распределение индукции магнитного поля и оптические константы двухметровой пропановой пузырьковой камеры". ОИЯИ, Р13-11045, Дубна, 1977.
6. А.И.Аношин, В.Б.Любимов и др. "Структура угловых распределений протонов, испущенных из событий с полным развалом ядра углерода J^0 -мезонами с $P_{\perp} = 40$ ГэВ/с". ОИЯИ, Р1-80-332, Дубна, 1980; ЯФ, 1981, т. 33, с. 164.

7. А.П.Гаспарян, В.Б.Любимов и др. "Образование медленных J^0 -мезонов в J^0 - J^0 -взаимодействиях при $P_{\perp} = 40$ ГэВ/с". ОИЯИ, Р1-80-359, Дубна, 1980.
8. Ю.Иорданова, В.Б.Любимов и др. "Рождение частиц с большими поперечными импульсами во взаимодействиях J^0 -мезонов с нуклонами и ядрами при 40 ГэВ/с". ОИЯИ, Р1-80-606, Дубна, 1980; Болгар. физ. журн., 1981, т. 8, № 2, с. 121.
9. А.И.Аношин, В.Б.Любимов и др. "Изучение корреляций в J^0 - J^0 -взаимодействиях при $P_{\perp} = 40$ ГэВ/с в кумулятивной области". ОИЯИ, Р1-80-716, Дубна, 1980.
10. А.И.Аношин, А.М.Балдин, В.Б.Любимов, М.И.Соловьев. "Свойства J^0 - J^0 -взаимодействий в зависимости от кумулятивного числа J^0 -мезонов, испущенных в заднюю полусферу лабораторной системы координат". ОИЯИ, 1-81-214, Дубна, 1981.
11. А.И.Аношин, А.М.Балдин, В.Б.Любимов и др. "Инвариантные инклюзивные сечения образования кумулятивных J^0 -мезонов в J^0 - J^0 -взаимодействиях при $P_{\perp} = 40$ ГэВ/с в зависимости от их кумулятивного числа и поперечного импульса. Сечения образования кумулятивных струй". ОИЯИ, Р1-81-678, Дубна, 1981; ЯФ, 1982, т. 36, с. 685.
12. А.И.Аношин, А.М.Балдин, В.Б.Любимов и др. "Корреляционные явления в множественном рождении частиц на ядрах в кумулятивной области". ОИЯИ, В1-82-352, Дубна, 1982.
13. В.Б.Любимов и др. "Корреляции в адрон-ядерных взаимодействиях, сопровождающихся испусканием кумулятивных протонов". ОИЯИ, Р1-82-363, Дубна, 1982.
14. А.И.Аношин, А.М.Балдин, В.Б.Любимов и др. "Изучение корреляций в J^0 - J^0 -взаимодействиях при $P_{\perp} = 40$ ГэВ/с в кумулятивной области". ЯФ, 1982, т. 36, с. 409.
15. Г.А.Агакишиев, Д.Армутлийски, ... В.Б.Любимов и др. "Свойства p - и p^0 -взаимодействий при $P_{\perp} = 10$ ГэВ/с, сопровождающихся испусканием кумулятивных протонов и J^0 -мезонов". ОИЯИ, Р1-83-327, Дубна, 1983.
16. А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов, ... В.Б.Любимов и др. "Исследование некоторых методических вопросов, связанных с обработкой событий, зарегистрированных в 2-метровой пропановой пузырьковой камере ОИЯИ". ОИЯИ, 1-6967, Дубна, 1973.
17. Н.Ангелов, Н.Ахабабян, ... В.Б.Любимов и др. "Некоторые методические вопросы, связанные с обработкой событий, образованных релятивистскими ядрами p , d , He и C в пропановой пузырьковой камере". ОИЯИ, 1-12424, Дубна, 1979.

18. Н.Ангелов, А.И.Аношин, ... В.Б.Любимов и др. "Анализ $\Lambda^{-12}\text{C}$ - и Λ^{-p} -взаимодействий с испусканием адронов в заднюю полусферу лабораторной системы координат при $P_{\Lambda^{-}} = 40$ ГэВ/с". ОИЯИ, Р1-11951, Дубна, 1978; ЯФ, 1979, т. 29, с. 1227.
19. А.И.Аношин, В.Б.Любимов и др. "Изучение $\Lambda^{-12}\text{C}$ -взаимодействий при $P_{\Lambda^{-}} = 40$ ГэВ/с, сопровождающихся испусканием кумулятивных Λ^{-} -мезонов". ОИЯИ, Р1-12425, Дубна, 1980; ЯФ, 1980, т. 31, с. 668.
20. Н.Ангелов, А.И.Аношин, ... В.Б.Любимов и др. "Изучение реакции $\Lambda^{-} + {}^{12}\text{C} \rightarrow p + \dots$ при $P_{\Lambda^{-}} = 40$ ГэВ/с". ОИЯИ, I-12108, Дубна, 1979; ЯФ, 1979, т. 30, с. 400.
21. Н.Ангелов, А.И.Аношин, В.Б.Любимов и др. "Полный развал ядра углерода Λ^{-} -мезонами с импульсом 40 ГэВ/с". ОИЯИ, Р1-11258, Дубна, 1978; ЯФ, 1978, т. 28, с. 684.
22. Б.Н.Калинкин, В.Б.Любимов и др. "О свойствах "лидирующих адронов", образованных в процессах множественного рождения". ОИЯИ, Р2-8760, Дубна, 1975; ЯФ, 1975, т. 23, с. 1064.
23. А.И.Аношин, В.Б.Любимов и др. "Взаимодействие Λ^{-} -мезонов с ядрами углерода при $P_{\Lambda^{-}} = 40$ ГэВ/с и эффект "Ядерной прозрачности" для высокоэнергичных адронов". ОИЯИ, I-10803, Дубна, 1977, ЯФ, 1978, т. 27, с. 1240.
24. А.И.Аношин, В.Б.Любимов и др. "Свойства лидирующих мезонов, образованных во взаимодействиях Λ^{-} -мезонов с ядрами углерода и нуклонами при $P_{\Lambda^{-}} = 40$ ГэВ/с". ОИЯИ, I-10804, Дубна, 1977; ЯФ, 1978, т. 27, с. 1001.
25. Н.Ангелов, А.И.Ахабабян, ... В.Б.Любимов и др. "Изучение инклюзивных спектров вторичных заряженных частиц, образованных в $\Lambda^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/с". ОИЯИ, Р1-11293, Дубна, 1978; ЯФ, 1978, т. 28, с. 688.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 октября 1983 года