

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

А Р А К Е Л Я Н
ГЕВОРК ГАЙКОВИЧ

УДК 539.12.001.1

СТРУКТУРА \mathcal{N} -МЕЗОННОГО МОРЯ НУКЛОНА
И ЕГО ВКЛАД В МЯГКИЕ И ЖЕСТКИЕ ПРОЦЕССЫ

01.04.02 - теоретическая и математическая физика

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Е р е в а н - 1984

Работа выполнена в Ереванском физическом институте

Научный руководитель - кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник
К.Г.Боресков

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник
Е.М.Левин (ЛИЯФ)

кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник
Н.Л.Тер-Исаакян (ЕрФИ)

Ведущая организация: Институт физики высоких энергий

Защита состоится 30 "октября" 1984г. в 14 часов на заседании Специализированного Совета Д.034.03.01 по присуждению ученой степени доктора физико-математических наук при Ереванском Физическом институте (375036, г.Ереван, ул.Маркаряна,2)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕрФИ

Автореферат разослан 28 "сентября" 1984 г.

Ученый секретарь
Специализированного Совета
кандидат физ.-мат. наук

В.А.Шахбазян

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертация посвящена теоретическому исследованию структуры \mathcal{N} -мезонного моря нуклона и его роли в образовании антикваркового моря в нуклоне. Рассмотрена роль \mathcal{N} -мезонного моря нуклона как в мягких (спектры нуклонных перезарядок и Δ -изобары), так и в различных жестких процессах (процесс Дрелла-Яна, образование частиц со скрытыми ароматами, частиц с большими поперечными импульсами).

Актуальность темы. Важной проблемой современной физики элементарных частиц при высоких энергиях является исследование механизма сильных взаимодействий. Фундаментальной теорией, претендующей на описание сильных взаимодействий, является квантовая хромодинамика (КХД).

На первоначальном этапе КХД, а именно ее теоретиковозмущенческий подход (ТВ КХД), являлась теорией жестких процессов, т.е. процессов, происходящих на малых (меньше радиуса конфайнмента) расстояниях. Однако реально взаимодействие на малых расстояниях сочетается со взаимодействием на больших расстояниях, описываемых периферическим механизмом.

Для дальнейшего плодотворного применения КХД требуется выход за рамки ТВ в область, где существенны эффекты конфайнмента. В этой области больших расстояний должна осуществляться сшивка объектов и понятий ТВ КХД с представлениями теорий, развитых ранее для описания периферических взаимодействий, таких как теория комплексных угловых моментов и др. Таким образом, общая тенденция в исследовании сильных взаимодействий состоит сейчас в теоретическом осмыслении явлений конфайнмента (анализ

модельных теорий поля, вычисления на решетках и т.д.) с одной стороны и в изучении взаимодействия в переходной области между большими и малыми расстояниями, установлении связей между ТВ КХД, оперирующей понятиями цветных объектов, и моделями мягких процессов, учитывающих взаимодействие на больших расстояниях в терминах бесцветных объектов с другой стороны.

Для количественного изучения переходной области между мягкими и жесткими процессами желательно иметь реалистическую модель, которая, во-первых, давала бы количественное описание максимально большой совокупности экспериментальных данных в широкой области энергий, во-вторых, удовлетворяла бы ряду общетеоретических требований (правильная асимптотика при высоких энергиях и др.) и, наконец, допускала бы экономную формулировку с использованием небольшого числа свободных параметров. Этим требованиям удовлетворяет развитая Боресковым, Кайдаловым и Пономаревым для описания эксклюзивных и инклюзивных реакций в широкой области энергий модель реджезованного однопионного обмена (OPER). Поэтому, проведенное в диссертации расширение области применимости модели OPER для описания периферического вклада в жесткие процессы и интерпретация этого вклада в терминах взаимодействия фундаментальных составляющих — кварков и глюонов, представляет не только теоретический, но и практический интерес.

Цели и задачи работы формулируются следующим образом:

I. Определение параметров формфакторов модели OPER из описания экспериментальных данных по спектрам нуклонных перезарядок и Δ^{++} -изобары в адрон-адронных столкновениях. Интерпретация рассматриваемого механизма, как проявление пионного

моря нуклона.

2. Вычисление кварк-глюонной структуры \mathcal{N} -мезонного моря нуклона, используя информацию о структурных функциях \mathcal{N} -мезона. Описание экспериментальных данных по распределению антикварков в протоне.

3. Применение модели OPER для описания экспериментальных данных по процессам образования массивных лептонных пар в NN-столкновениях.

4. Анализ вклада \mathcal{N} -мезонного моря нуклона в процессы рождения мезонов со скрытыми ароматами ($\varphi, \eta/\psi, \psi', \gamma$) в NN-столкновении.

5. Анализ вклада \mathcal{N} -мезонного моря нуклона в процессы рождения \bar{p}, p -барионов, K^\pm, π^\pm, π^0 -мезонов с большими поперечными импульсами в pp-столкновениях.

Научная новизна работы. В диссертации впервые построена реалистическая модель \mathcal{N} -мезонного моря нуклона, структура которого характеризуется введенной универсальной функцией $w_{\mathcal{N}/N}(x_{\mathcal{N}})$. Эта функция имеет смысл плотности вероятности найти \mathcal{N} -мезон с долей импульса $x_{\mathcal{N}}$ в нуклоне.

В рамках единого подхода, используя универсальную функцию $w_{\mathcal{N}/N}(x_{\mathcal{N}})$, получено описание как мягких процессов — инклюзивных спектров нуклонных перезарядок и Δ^{++} -изобары, так и описание периферического вклада в жесткие процессы в NN-столкновениях.

Исследована кварк-глюонная структура \mathcal{N} -мезонного моря нуклона. Показано, что основным источником антикварков в нуклоне является облако виртуальных \mathcal{N} -мезонов.

Предложен новый метод анализа вкладов механизмов жесткого

рассеяния элементарных составляющих в нуклон-нуклонных столкновениях, не использующий явного вида сечений элементарных субпроцессов и функций фрагментации партонов в адроны. Применение метода продемонстрировано на примере рождения мезонов со скрытыми ароматами и адронов с большими p_T в NN -столкновениях.

Практическая ценность. Результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы при теоретических и экспериментальных исследованиях в области физики сильных взаимодействий.

Сформулированная модель \mathcal{M} -мезонного моря нуклона с реалистическими значениями параметров может быть также использована для исследования различных смежных вопросов, например, получения информации о структурной функции \mathcal{M} -мезона из данных по глубоконеупругому рассеянию лептонов на нуклоне, изучение структуры антикваркового моря в ядрах и т.п.

Вычисленные в диссертации распределения составляющих - кварков и глюонов - в пионном море нуклона могут быть использованы для формулировки начальных условий при расчете КХД-эволюции антикварковых и глюонных распределений.

Предлагаемые в диссертации способы получения дополнительной экспериментальной информации о механизмах жестких процессов (ассоциированное рождение частиц со скрытыми ароматами в разных кинематических областях, рождение адронов с большими p_T пучками разного кваркового состава и др.) могут стимулировать постановку соответствующих экспериментов. Ввиду того, что предлагаемая модель ориентирована на область, промежуточную между мягкими и жесткими процессами, ряд предлагаемых экспериментов может быть выполнен при энергиях ускорителя ИФВЭ.

Предложенная феноменологическая параметризация экспериментальных данных по жестким процессам в πN -столкновениях может быть использована для предсказания зависимости сечений этих процессов от различных кинематических переменных в широкой области энергий, для расчета эффективности экспериментальных установок и т.п. Полученные предсказания для сечения $\frac{d\sigma}{dy} \Big|_{y=0}$ реакций $NN \rightarrow AX$ ($A = \varphi, \eta/\psi, \psi', \Upsilon$) при энергии $\sqrt{s} = 540$ ГэВ, могут быть проверены в планируемых экспериментах на $\bar{p}p$ встречных кольцах ЦЕРНа, а также на других проектируемых ускорителях на сверхвысокие энергии.

Апробация работы. Результаты, полученные в диссертации, докладывались на сессиях ОЯФ АН СССР (Москва, 1978, 1980г.г.), I рабочем семинаре "Процессы с большими поперечными импульсами в адронных взаимодействиях", Протвино, 1978г., II Международном семинаре по множественному рождению, Казимеж, Польша, 1979г., IV и V конференциях молодых ученых ЕРФИ (Нор-Амберд, 1979; Севан, 1981г.), представлялись на XX Международную конференцию по физике высоких энергий, Медисон, США, 1980г., докладывались на семинарах ЕРФИ и ИТЭФ в 1978 - 1984 г.г.

Публикации. По результатам диссертации опубликовано восемь работ, список которых приводится в конце автореферата.

Структура диссертации. Диссертация состоит из Введения, четырех глав, заключения, содержит 146 страниц машинописного текста, включая 57 рисунков, 6 таблиц и список литературы из 183 наименований.

II. КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во Введении обсуждается актуальность проблемы, рассмотренной в работе, дается обзор теоретических моделей, в которых исследовались мягкие и жесткие процессы, сформулированы задачи исследования и кратко излагается содержание диссертации.

В первой главе проводится анализ данных по спектрам нуклонных перезарядок и Δ^{++} -изобары в NN и πN -столкновениях в модели OPER.

§1 носит вводный характер. В нем обсуждается роль описания инклюзивных спектров нуклонов и Δ -изобары в определении параметров в модели.

В §2 модель OPER формулируется для описания спектров нуклонов и Δ -изобары в NN и πN -столкновениях. Определяются двухпараметрические формфакторы (в отличие от используемых ранее трехпараметрических). Приводятся значения параметров формфакторов.

В §3 обсуждается вероятностная трактовка механизма π -мезонного обмена. Вводится универсальная функция

$$w_{N\pi^*R}(x_\pi) = \frac{x_\pi}{16\pi^2} \int_{-\infty}^{x_\pi(x_\pi)} g_{N\pi^*R}^2(t) G_R^2(t) dt \quad (I)$$

имеющая смысл плотности вероятности найти π -мезон типа K ($K = +, -, 0$) с долей импульса x_π при диссоциации нуклона на π -мезон и систему R , где $R = N, \Delta$ или πN -система с массой $m_R > m_\Delta$. В терминах функции $w(x_\pi)$ сечение любого процесса в NN -столкновениях связано с сечением соответствующего процесса в πN -столкновениях соотношением

$$\sigma^{NN}(x) = \sum_K \int_0^x w_{\pi^*N}(x_\pi) \sigma^{\pi^*N}(x/x_\pi) dx_\pi \quad (2)$$

где

$$w_{\pi^*N}(x_\pi) = \sum_R w_{N\pi^*R}(x_\pi) \quad (3)$$

- полная вероятность найти π -мезон типа K с долей импульса x_π в нуклоне.

В §4 предсказания модели OPER сравниваются с экспериментальными данными по реакциям $pp \rightarrow nx$; $pn \rightarrow px$; $\pi^+n \rightarrow px$.

В §5 проводится анализ поведения спектров нуклонных перезарядок в области больших x и малых p_\perp . Показано, что ppP -механизм дает вклад лишь при $x \geq 0,99$.

В §6 вычисления модели сравниваются со спектрами Δ^{++} -изобары в πN и pN -столкновениях и с данными по спектрам протонов от распада Δ^{++} -изобары.

Во второй главе рассматривается модель, в которой структура протона на больших расстояниях определяется периферическими флуктуациями с испусканием виртуального π -мезона. С точки зрения партонной модели это означает, что источником антикварков в протоне является его π -мезонное море. Поэтому распределение антикварков в протоне можно вычислить, зная распределение π -мезонов в нуклоне и структурную функцию π -мезона.

Показано, что несмотря на различную кинематику в процессах глубоконеупругого рассеяния лептонов, Дрелла-Яна и образования частиц с большими поперечными импульсами формулы, связывающие распределения антикварков в нуклоне и пионе одинаковы

для различных жестких процессов.

В §1 обсуждается применение модели OPER к жестким процессам, возможность, в рамках такого подхода, оценить вклад π -мезонного обмена в различные жесткие процессы в NN -столкновениях.

В §2 рассмотрена связь между процессами глубоконеупругого рассеяния лептонов на нуклоне и π -мезоне в рамках модели OPER. Получено выражение для распределения антикварков в нуклоне

$$\bar{q}^N(x) = \sum_K \int_0^x w_{\pi^*N}(x_{\pi^*}) \bar{q}^{\pi^*K}(x/x_{\pi^*}) dx_{\pi^*} \quad (4)$$

где $w_{\pi^*N}(x_{\pi^*})$ определяется выражением (3), а $\bar{q}^{\pi^*K}(x)$ - функция распределения антикварков в π -мезоне типа K ($K = +, -, 0$).

В §3 рассматривается связь между процессами образования массивных лептонных пар (процесс Дрейл-Яна) в πN и NN -столкновениях в модели OPER. Используя партонные параметризации сечений соответствующих процессов в πN и NN -столкновениях получена формула для распределения антикварков в нуклоне, совпадающая с (4).

В §4 в рамках рассматриваемой модели рассмотрена связь между сечениями образования адронов с большими поперечными импульсами p_T в πp и pp -столкновениях. Получены соотношения между распределениями элементарных составляющих (кварков, антикварков и глюонов) в пионе и в пионном море протона, аналогичные формуле (4).

В §5 рассматривается вероятностная интерпретация полученных соотношений. Приведены численные расчеты поведения функций

$w_{\pi^*N}^R = \sum_K w_{N,\pi^*K}^R$, описывающих вероятность диссоциации налетающего нуклона на π -мезон и нуклон, π -мезон и Δ -изобару, π -мезон и πN -систему с $m > m_\Delta$, также полную плотность вероятности $w_{\pi^*N}(x_{\pi^*})$. Вычисления показывают, что вклад большой массы несуществен при описании жестких процессов.

В §6 партонная структура пионного моря в нуклоне обсуждается количественно. Проводится сравнение с экспериментальными данными по антикварковым и глюонным распределениям в нуклоне.

В третьей главе в рамках модели OPER проводится подробное описание процессов образования массивных ($M > 4$ ГэВ) лептонных пар в πN и NN -столкновениях.

В §1 приведен краткий обзор экспериментальных данных и их теоретической интерпретации в рамках ЮД.

В §2 выписаны формулы, описывающие сечение рождения массивных лептонных пар в NN -столкновениях, выраженные через соответствующие сечения в πN -столкновениях и функцию вероятности $w_{\pi^*N}(x_{\pi^*})$ (3). Обсуждается перекрытие диаграмм π -мезонного обмена, дающих вклад в рассматриваемые процессы.

В §3 анализируются данные по рождению массивных лептонных пар в πN -столкновениях и их параметризация в терминах кварк-партонной модели. Обсуждается зависимость сечения от массы пары M , скейлинговой переменной $\sqrt{\tau}$, быстроты пары y , поперечного импульса пары p_T , а также зависимость среднего поперечного импульса пары $\langle p_T \rangle$ от энергии \sqrt{s} .

В §4 проведено описание экспериментальных данных по образованию лептонных пар в NN -столкновениях используя рассмотренную в предыдущем параграфе параметризацию сечений в πN -

столкновениях.

В четвертой главе рассматривается вклад π -мезонного моря нуклона в процессы адророждения мезонов со скрытыми ароматами (φ , η/ψ , ψ' , Υ) и процессы образования частиц с большими p_T в pp -столкновениях.

В §1 обсуждается возможность применения рассмотренной в предыдущих главах модели к описанию процессов, в которых механизм кварк-антикварковой аннигиляции не является доминирующим (рождение φ , η/ψ , Υ -мезонов, частиц с большими p_T). Кратко обсуждаются сложности, связанные со стандартным КХД-анализом этих процессов.

В §2 рассматривается образование мезонов со скрытыми ароматами в πN -столкновениях. Предлагается феноменологическая параметризация сечений реакций $\pi N \rightarrow AX$ ($A = \varphi, \eta/\psi, \psi', \Upsilon$). Проводится сравнение предложенной параметризации с экспериментальными данными.

В §3 проводится качественное обсуждение механизма образования мезонов со скрытыми ароматами в адрон-адронных столкновениях. Обсуждаются различные механизмы рождения частиц со скрытыми ароматами: i) - с нарушением правила Окубо-Цвейга-Идауки (ОЦИ); ii) - рождение без нарушения правила ОЦИ.

В §4 приведено описание данных по образованию φ , η/ψ , ψ' и Υ -мезонов в pN -столкновениях. Сделаны оценки на вклады сечений кварк-антикварковой аннигиляции и глюон-глюонного слияния в сечения образования мезонов со скрытыми ароматами, вычисленные в рассматриваемой модели. Приведенный анализ показывает, что вклад π -мезонного обмена описывает основную часть этих сечений, следовательно вклад gg -слияния не явля-

ется доминирующим. Этот вывод не совпадает с анализом адророждения η/ψ и Υ -мезонов в ТВ КХД, что, по-видимому, указывает на существенную роль области больших расстояний в процессе адронизации тяжелых кварков.

В §5 анализируется вклад π -мезонного моря нуклона в процессы рождения частиц с различным кварковым составом (\bar{p} , p, K^\pm, π^\pm, π^0) с большими p_T в pp -столкновениях. Проводится сравнение с экспериментальными данными в области $I < p_T < 7$ ГэВ/с. Обсуждаются вклады механизмов жесткого рассеяния морских кварков и глюонов в различных кинематических областях.

III. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. В рамках модели OPERC модифицированными двухпараметрическими формфакторами, определяющими сход η -мезона с массовой поверхностью, получено описание большого количества экспериментальных данных по спектрам нуклонных перезарядок в pp , pn и π^+n -столкновениях, а также данных по образованию Δ^{++} -изобары в πp , pp и $\bar{p}p$ -столкновениях и спектрам протонов от распада Δ^{++} -изобары. Анализ рассматриваемых данных позволил фиксировать значения параметров формфакторов, определяющих их поведение в области $|t| \leq 0,6$ (ГэВ/с)².

2. Проведен анализ поведения спектров нуклонных перезарядок вблизи кинематической границы ($X \rightarrow I$, p_\perp мало). Получены оценки на вклад трехрежеонной $pp\bar{p}$ -вершины при $p_\perp = 0$ и $X \rightarrow I$.

3. Исследована структура η -мезонного облака нуклона, характеризуемая вероятностью $w_{\pi/N}(x_\pi)$ найти в нуклоне η -мезон с импульсом x_π . Функция $w_{\pi/N}(x_\pi)$, универсальная

как для мягких, так и для жестких процессов, определяется вершинными функциями диссоциации нуклона на пион и нуклон, пион и Δ -изобару, пион и πN -систему с большой массой, а также соответствующими формфакторами.

4. Рассмотрена партонная структура π -мезонного моря нуклона. Используя функцию $\omega_{\pi/N}(x_\pi)$, а также данные по структурной функции π -мезона получены формулы для распределения морских антикварков в нуклоне, описывающие имеющиеся экспериментальные данные. Показано, что в рассматриваемой модели глюоны, содержащиеся в пионном облаке, несут только четвертую часть всего импульса глюонов в нуклоне.

5. В рамках рассматриваемой модели, используя партонные выражения для параметризации процесса Дрелла-Яна в πN -столкновениях, получено описание зависимости сечений рождения массивных ($M > 4$ ГэВ) лептонных пар в NN -столкновениях от массы пары M , скейлинговой переменной $\sqrt{x} = M/\sqrt{s}$, скорости пары y и поперечного импульса пары p_\perp .

Из сравнения с данными по процессу Дрелла-Яна в NN -столкновениях и распределению антикварков в протоне фиксированы значения параметров формфакторов π -мезона, определяющих их поведение при больших значениях квадрата массы виртуального π -мезона t ($|t| \geq 0,6$ (ГэВ/с)²). Из данных по спектрам нуклонов и Δ -изобары эти параметры определяются со значительной неопределенностью.

6. Составлена компиляция данных о сечениях образования ψ , ψ/ψ и Υ -мезонов в πN и NN -столкновениях. Приведена феноменологическая параметризация, описывающая x -зависимость сечений процессов $\pi N \rightarrow AX$ ($A = \psi, \psi/\psi, \psi', \Upsilon$),

а также энергетическую зависимость сечений $B \frac{d\sigma}{dy} |_{y=0}$.

7. Используя параметризации сечений мезонов со скрытыми ароматами в πN -столкновениях в рамках рассматриваемой модели с полученными значениями параметров формфакторов, вычислен вклад π -мезонного моря в образование ψ , ψ/ψ , ψ' и Υ -мезонов в NN -столкновениях.

8. Предложен метод оценки относительной величины вкладов $q\bar{q}$ и $g\bar{g}$ -рассеяния в жестких процессах на основе полученной информации о партонной структуре пионного облака и величине вклада механизма π -мезонного обмена. Метод иллюстрирован на примере процесса образования ψ/ψ -мезона в pp -столкновениях.

9. В рамках модели OPER вычислен вклад π -мезонного моря в процессы образования частиц различных кварковых составов ($\bar{p}, p, K^\pm, \pi^\pm, \pi^0$) с большими поперечными импульсами в pp -столкновениях в интервале $1 < p_\perp < 7$ ГэВ/с, используя феноменологическую параметризацию соответствующих сечений в πp -рассеянии.

В области $x_\pi \lesssim 0,1$ модель описывает экспериментальные данные и сливается с периферическим механизмом. Однако, теоретическая зависимость от x_π более резкая, чем экспериментальная, и в области $x_\pi \gtrsim 0,2$ вклад пионного моря перестает быть доминирующим.

10. Показано, что из анализа данных по рождению частиц различного кваркового состава с большими p_\perp в pp -столкновениях, используя информацию о вкладе π -мезонного механизма можно выделить кинематическую область, в которой доминирует механизм глюон-глюонного рассеяния.

IV. ПУБЛИКАЦИИ

1. Аракелян Г.Г., Боресков К.Г. Процессы с большими p_T в pp и $p\bar{p}$ -столкновениях. - ЯФ, 1979, т.30, вып.6, с.1619-1625.

2. Аракелян Г.Г., Боресков К.Г. Рождение массивных лептонных пар в $p\bar{p}$ и pp -столкновениях. - ЯФ, 1980, т.31, вып.6, с.1578-1592.

3. Аракелян Г.Г., Боресков К.Г., Кайдалов А.Б. Распределение антикварков в пионе и нуклоне. - ЯФ, 1981, т.33, вып.2, с.471-480.

4. Аракелян Г.Г., Григорян А.А. Инклюзивные спектры Δ^{++} -изобары в адрон-адронных столкновениях. - ЯФ, 1981, т.34, вып.5, с.1338-1346.

5. Аракелян Г.Г., Григорян А.А. Инклюзивные реакции с перезарядкой нуклонов и модель OPERA. - ЯФ, 1982, т.36, вып.1, с.211-219.

6. Аракелян Г.Г., Боресков К.Г. Вклад π -мезонного моря нуклона в распределения антикварков и в сечение рождения массивных лептонных пар. - Препринт ИТЭФ - 50, 1984, 42 с.

7. Аракелян Г.Г., Боресков К.Г., Турбинер А.В. Роль π -мезонного моря нуклона в процессах образования мезонов со скрытым ароматом (ψ , ψ/ψ , Υ). - Препринт ИТЭФ - 69, 1984, 36 с.

8. Аракелян Г.Г., Боресков К.Г. Вклад пионного моря нуклона в процессы рождения частиц с большими p_T . - Препринт ИТЭФ - 77, 1984, 32 с.

Подписано в печать 19.09.84г. Формат 60x84/16

Офсетная печать.

.Тираж 170 экз.

Зак.тип. № 778. ВФ - II922

Отпечатано в Ереванском физическом институте
Ереван 36, Маркарян 2