

2-91-493

КИМ

Виктор Тимофеевич

УДК 539.17.01+
539.12.01

КВАРКОВАЯ СТРУКТУРА АДРОНОВ И ЯДЕР
В ЖЕСТКИХ ПРОЦЕССАХ

Специальность: 01.04.02 - теоретическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики
Объединенного института ядерных исследований и
в Отделе теоретической физики
Санкт-Петербургского института ядерной физики.

Научные руководители:

доктор физико-математических наук,
профессор
доктор физико-математических наук,
профессор

В.В. Анисович

А.В. Ефремов

Официальные оппоненты:

Доктор физико-математических наук
Доктор физико-математических наук

С.Б. Герасимов

Н.Н. Николаев

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

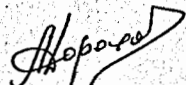
Институт экспериментальной и теоретической физики,
г. Москва

Защита диссертации состоится " " _____ 1991г. на заседа-
нии Специализированного совета К 047.01.01 Лаборатории теоре-
тической физики Объединенного института ядерных исследований,
г. Дубна, Московская область.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " " _____ 1991г.

Ученый секретарь совета,
кандидат физико-математических наук


А.Е. Дорохов

Актуальность проблемы. В настоящее время признано, что кван-
товая хромодинамика (КХД) является основой теории сильных вза-
имодействий. КХД, базирующаяся на принципах современной кван-
товой теории поля, входит наряду с моделью электрослабых взаимо-
действий в Стандартную модель как составная ее часть.

Одним из главных объектов изучения КХД в настоящее время
являются кварк-глюонные структурные функции адронов и ядер. Но
непосредственное их вычисление в рамках КХД затруднительно, так
как ее практически единственным регулярным методом является те-
ория возмущений, применимой благодаря асимптотической свободе
в области больших передач импульсов (малых расстояний). Однако,
КХД обладает замечательной особенностью - свойством фактори-
зации больших и малых расстояний в жестких процессах (глубоко-
неупругое рассеяние (ГНР) лептонов на адронах, адронные соуда-
рения с большими P_{\perp} и т.д.). Таким образом, используя хорошо
разработанные методы для вычислений процессов на малых рассто-
яниях, мы можем получать новую информацию для изучения кварк-
глюонной структуры адронов и ядер, т.е. сведения о больших рас-
стояниях, в жестких процессах.

Кварковая структура нуклона давно вызывала и продолжает вы-
зывать повышенный интерес. К тому же в последнее время появи-
лось много экспериментальных указаний и теоретических доводов,
свидетельствующих о кластеризации пары кварков в нуклоне в сра-
внительно компактный дикварк. Поэтому важной задачей является
феноменологический анализ наиболее ярких проявлений дикварковой
структуры нуклона с целью извлечения информации о наиболее ха-
рактерных свойствах дикварков (размер, спин, изоспин и т.п.). С
другой стороны, необходим поиск таких особенностей теории, ко-
торые способны объяснить эти и предсказать новые свойства.

С неослабевающим интересом продолжает обсуждаться вопрос
о кварковых степенях свободы в ядрах, о границах применимости
представлений традиционной протон-нейтронной модели. Особенно
часто связывают ответ на этот вопрос с так называемым EMC-
эффектом в ГНР на ядрах и процессами кумулятивного образова-
ния адронов. Некоторые специфические особенности кумулятивных

данных дают основания полагать, что мы имеем дело в этих процессах с ядерными флуктуациями - многокварковыми флуктуациями, которые дают жесткие спектры при $X > 1$.

В настоящее время исследование кварковой структуры адронов и ядер имеет особую актуальность в виду большого числа крупных экспериментальных программ: как действующих, так и планируемых в CERN, SLAC, ЛВЭ ОИЯИ, ИТЭФ, ИФВЭ, СЕБАФ и т.д.

Цель работы. Выявление теоретических и экспериментальных закономерностей, связанных с нетривиальной дикварковой структурой нуклона и кварк-глюонными структурными функциями ядер, в особенности в кумулятивной области, а именно:

1. Рассмотреть ядерные структурные функции в рамках подхода, где их эволюция связывается с эволюцией структурных функций свободного нуклона. Изучить следствия такого подхода для процессов кумулятивного адронобразования, процессов ГНР на ядрах и т.д.

2. Исследовать роль дикварков в образовании барионов с большими P_{\perp} в нуклонных соударениях.

Найти механизм аномального рождения дейтронов с большими P_{\perp} в pp -соударениях.

Выяснить возможную связь между дикварковой структурой нуклона и проблемой знакопеременного поведения высших твистов в ГНР.

Научная новизна и ценность работы. В диссертации рассмотрен подход к ядерным структурным функциям, который позволяет связать их Q^2 -эволюцию с Q^2 -эволюцией структурных функций свободного нуклона. В рамках этого подхода анализ ЕМС-эффекта указывает на существование в ядрах коллективного жесткого кваркового моря. На основе этого подхода были предсказаны жесткие спектры кумулятивных K^- -мезонов и антипротонов. Наблюденное недавно явление суперскейлинга для кумулятивных адронов находится в согласии с этим предсказанием.

Показано, что деформация глюонного распределения в ядре может приводить к подавлению выхода J/Ψ -частиц в соударениях ультра-релятивистских ионов. Этот вопрос тесно связан с поисками кварк-глюонной плазмы на ядерных коллайдерах.

Извлечена из данных по кумулятивным протонам информация

о высокоимпульсной компоненте нуклонного распределения в дейтроне. Для сравнения различных моделей для этого распределения предложено изучать корреляции двух протонов в релятивистских dp -соударениях.

Найдено, что КХД-эволюция ядерных структурных функций может устранить возможное противоречие между данными ГНР в кумулятивной области при больших Q^2 и кумулятивным адронорждением в области фрагментации ядра. Причем важную роль при $X > 1$ играют степенные Q^2 -поправки в имеющемся сейчас кинематическом диапазоне X и Q^2 .

Проведен КХД-анализ для структурных функций ГНР в следующем лидирующем порядке в рамках как схемно-инвариантного подхода так и \overline{MS} -схемы с учетом степенных поправок. Последние позволяют согласовать величину A_{KHD} в нейтринных данных и в ГНР с заряженными лептонами. Полученная близость значений $A_{\overline{MS}}$ в обоих методах свидетельствует о хорошей применимости теории возмущений в ГНР.

Впервые проведен анализ сильного нарушения скейлинга для p/π^+ -отношения в pp -соударениях с большими P_{\perp} . Полученные результаты указывают на дикварковую структуру нуклона.

Предложен механизм аномально большого выхода дейтронов с большими P_{\perp} в pp -соударениях путем двойного кварк-дикваркового подпроцесса.

Известно, что в ГНР вклад высших твистов может менять в два-три раза значение A_{KHD} , причем знак их вклада зависит от кинематической области и от процесса. В диссертации показано, что в предположении инстантонного характера взаимодействия сил, связывающих два кварка в дикварк, естественно разрешается проблема знакопеременного поведения высших твистов в ГНР.

Апробация работы. Результаты, представленные в диссертации, неоднократно докладывались и обсуждались на семинарах Лаборатории теоретической физики, Лаборатории высоких энергий и Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, Отдела теоретической физики ЛИЯФ АН СССР, на семинарах ИФВЭ, ИТЭФ, ФИАН, НИИЯФ МГУ, на рабочих совещаниях по предельной фрагментации ядер (ИТЭФ, 1986; ЕРФИ, 1988), на сессиях ОЯФ АН СССР, на XXIV

Международной конференции по физике высоких энергий (Мюнхен, 1988), на Международных семинарах по проблемам физики высоких энергий (Дубна, 1988 и 1990), на Международном семинаре по проблемам квантовой теории поля (Дубна, 1990), на Международном семинаре по релятивистской ядерной динамике (Владивосток, 1991) и др.

Публикации. Результаты диссертации опубликованы в 9 печатных работах в советской и зарубежной печати.

Объем работы. Диссертация состоит из введения и четырех глав основного содержания, заключения и приложения. Объем диссертации 93 страницы, 8 рисунков. Список библиографии содержит 77 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель работы и кратко изложено содержание диссертации.

Первая глава диссертации посвящена введению в проблематику изучения ядерных структурных функций в ГНР и в кумулятивном образовании адронов.

Рассмотрен подход к КХД-эволюции ядерных структурных функций, где она связана в лидирующем твисте с КХД-эволюцией структурных функций свободного нуклона. В этом подходе, ядро как релятивистская система связанных кварков и глюонов обладает дополнительным коллективным кварковым и глюонным морем, которое отсутствует в свободных нуклонах. При этом происходит перекачка импульса ($\sim \Delta_A \simeq \epsilon_A/m_N$) от валентных кварков к этому дополнительному морю. При анализе экспериментального ЕМС-отношения структурных функций ядра и свободного нуклона оказывается, что это коллективное море кварков обладает специальным свойством, а именно, распределение этого моря $O_A(X)$ по X имеет такую же жесткость, что и распределение валентных кварков V_A :

$$O_A(X) \simeq \Delta_A \cdot V_A(X) \quad (1)$$

Таким образом, распределение морских кварков в ядре при $X > 1$, когда обычное нуклонное море вымирает, должно иметь тот же наклон по скейлинговой переменной X , что и распределение валентных кварков. Как прямое следствие этого факта, мы немедленно получаем подобие спектров "морских" (K^-, \bar{p}) и "валентных" (p, K^+, π^\pm) частиц в кумулятивной области при достаточно больших X , где доминирует механизм кварковой фрагментации ядра. Для ядерных структурных функций при $X > 1$ используется модель кварковых флюктонов — современный вариант ядерных "флюктонов Блохинцева".

Недавние данные BCDMS в ГНР при $X \geq 1$ и $Q^2 = 60 \div 150 \text{ ГэВ}^2$ показывают сильную разницу в наклонах ядерных структурных функций по сравнению с данными по кумулятивному образованию адронов. Расчеты по Q^2 -эволюции ядерной структурной функции $F_2(X, Q^2)$ в следующем за лидирующем приближении КХД с учетом степенных Q^2 -поправок показывают возможность согласования этих данных.

Показано, что отличие глюонных распределений в ядре и свободном нуклоне может приводить подавлению выхода J/Ψ -частиц в столкновениях ультрарелятивистских ионов при больших E_\perp .

Во второй главе делается попытка выделения высокоимпульсной компоненты нуклонного распределения в дейтроне. Для этого рассмотрены процессы кумулятивного образования нуклонов на дейтроне. Предложено изучение корреляций двух протонов в таких реакциях для получения более детальной информации о величине высокоимпульсной компоненты в дейтроне.

Третья глава диссертации посвящена описанию параметризации структурных функций ГНР, в следующем за лидирующем приближении КХД, методом, не зависящем от схемы перенормировки. Проведенный КХД-анализ новых данных ГНР с учетом степенных Q^2 -поправок в этом методе, а также в рамках стандартной \overline{MS} -схемы указывает на близость значений $\Lambda_{\overline{MS}}$. Отмечается важность учета степенных Q^2 -поправок: массовых поправок и высших твистов.

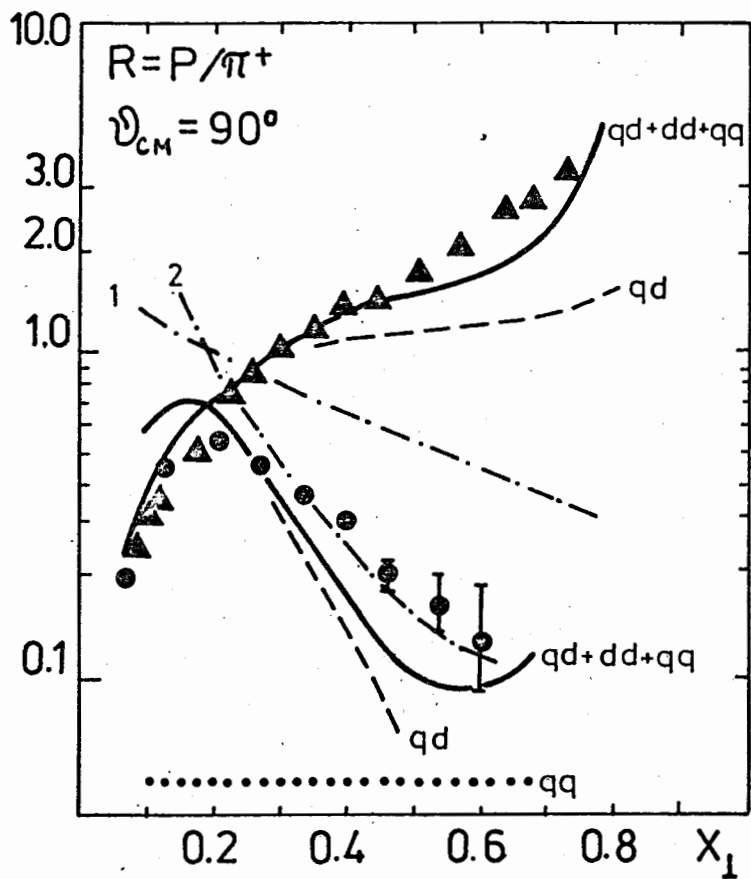


Рис. 1. Инклюзивное отношение выходов протонов и π^+ -мезонов pp -соударениях. Данные: \blacktriangle – ИФВЭ, 70 ГэВ; \bullet – FNAL, 300 ГэВ. Кривые показывают вклады различных кварковых и дикварковых подпроцессов. Кривыми 1 и 2 показаны расчеты в модели Стокгольмского дикварка при энергиях 70 ГэВ и 300 ГэВ соответственно.

В четвертой главе рассматривается динамическая роль дикварков в жестких процессах. Показано, что простая дикварковая модель способна описать не только характерные особенности сильного нарушения скейлинга инклюзивного p/π^+ -отношения pp -соударениях,

но и абсолютные инклюзивные выходы как одиночных так и симметричных пар протонов при больших P_{\perp} . Извлеченный при этом формфакторный параметр оказался близок к параметру Стокгольмской модели, но поведение дикваркового распределения существенно различается при малых X (см. Рис. 1).

Оказалось возможным описать удивительно большой выход дейтронов с большими P_{\perp} в pp -соударениях путем двойного кварк-дикваркового подпроцесса. Для проверки этого механизма предложено изучать азимутальные корреляции пар протонов.

Рассмотрена связь высших твистов в ГИР с дикварковой моделью. Показано, что возможная инстантонная природа дикварка способна объяснить знакопеременное поведение вклада высших твистов в опытных данных.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

В приложения вынесены некоторые подробности расчетов.

Основные результаты диссертации, выдвигаемые на защиту:

1. Рассмотрен достаточно общий КХД-подход к ядерным структурным функциям, где они связываются со структурными функциями свободного нуклона. В рамках этого подхода при анализе ЕМС-эффекта было найдено, что в ядре должно существовать жесткое коллективное кварковое море. Недавние экспериментальные данные в кумулятивной области подтверждают нетривиальные следствия такого коллективного моря.

2. Учет логарифмических и степенных Q^2 -поправок в ядерных структурных функциях позволяет согласовать недавние данные глубоконеупругого рассеяния при $X > 1$ с данными по кумулятивному адронобразованию.

3. Этот же подход способен объяснить также часть наблюдаемого эффекта подавления J/Ψ -частиц в столкновениях ультрарелятивистских ионов.

4. Предложено изучение корреляций двух протонов в релятивистских dp -соударениях для получения информации о высокоимпульсной компоненте нуклонного распределения в дейтроне.

5. Проведен КХД-анализ для структурных функций ГНР в следующем за лидирующем порядке в рамках как схемно-инвариантного подхода так и \overline{MS} -схемы с учетом степенных поправок. Последние позволяют согласовать величину $\Lambda_{\text{КХД}}$ в нейтринных данных и в ГНР с заряженными лептонами.

6. В диссертации найдено объяснение сильного нарушения скейлинга в образовании протонов с большими P_{\perp} в рамках дикваркового рассеяния, доминирование этого механизма в последствии было подтверждено корреляционными данными.

7. Предложен механизм аномально большого выхода дейтронов с большими P_{\perp} в pp -соударениях путем двойного кварк-дикваркового подпроцесса.

8. Показано, что в предположении инстантонного характера взаимодействия сил, связывающих два кварка в дикварк, естественно разрешается проблема знакопеременного поведения вклада высших твистов в глубоконеупругом рассеянии.

Результаты диссертации опубликованы в работах :

- [1] Kim V.T., — Diquarks and Dynamics of Large- P_{\perp} Baryon Production,
Mod. Phys. Lett. **A3** (1988) 909
- [2] Kim V.T., — Diquarks as Source of Large- P_{\perp} Baryon Production in Nucleon Collisions,
Preprint JINR E2-87-75 (1987) Dubna
- [3] Efremov A.V., Kim V.T., — Diquarks Role in Large- P_{\perp} Deuteron and H-dihyperon Production in Hard Nucleon Collisions,
Preprint JINR E2-87-74 (1987) Dubna

[4] Kim V.T., — Инстантонная Природа Дикварка и Нарушение Скейлинга в Глубоконеупругом Рассеянии,
Труды 4-й Школы МГУ, Квантовая Теория Поля и Физика Высоких Энергий, Ужгород, Октябрь 1989, изд. МГУ, Москва (1989) сс.206-209

[5] Efremov A.V., Kaidalov A.B., Kim V.T., Lыkasov G.I., Slavyn N.V., — Кумулятивное Образование Адронов в Кварковых Моделях Фрагментации Флуктонов,
Ядерная Физика **47**, (1988) 1364,
Preprint JINR E2-87-355 (1987) Dubna

[6] Efremov A.V., Kim V.T., Шмаков С.Ю., Ужнинский В.В., — Ядерные Структурные Функции и Подавление Выхода J/ψ -мезонов при Соударении Ядер,
Ядерная Физика **50** (1989) 888,
Preprint JINR E2-88-498 (1988) Dubna, представлено на XXIV Межд. конф. по физике выс. энергий, Август 1988, Мюнхен

[7] Efremov A.V., Kanafin A.B., Kim V.T., — Two-Proton Correlations in Relativistic dp -Collisions,
Zeit. Phys. **A338** (1991) 247,
Preprint JINR E2-90-368 (1990) Dubna

[8] Kim V.T., Kotikov A.V., — Renormalization-Scheme-Invariant QCD-Analysis for Nonsinglet Structure Functions of Deep Inelastic Scattering,
Preprint US-FT/15-90 (1990) Santiago de Compostela

[9] Kim V.T., — QCD-Evolution of Nuclear Structure Functions at Large X,
Proc. X International Seminar on High Energy Physics Problems, September 21-25, 1990, Dubna,
'High Energy Physics, Relativistic Nuclear Physics and QCD', Ed.: A. M. Baldin, V. V. Burov and L. P. Kaptari, pp. 232-236, World Scientific (1991) Singapore

Рукопись поступила в издательский отдел
12 ноября 1991 года.