

И-20

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2-85-735

УДК 539.12.01

ИВАНОВ

Юрий Павлович

**КВАНТОВО-ХРОМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
ПРОЦЕССОВ ГЛУБОКОНЕУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ
ЛЕПТОНОВ НА НУКЛОНАХ**

**Специальность: 01.04.02 - теоретическая
и математическая физика**

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

Дубна 1985

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

П.С.Исаев

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

А.В.Ефремов

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

В.А.Петров

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Институт ядерных исследований АН СССР, Москва

Автореферат разослан " _____ " 1985 г.

Защита диссертации состоится " _____ " 1985 г.
на заседании Специализированного совета КО 47.01.01 Лаборатории
теоретической физики Объединенного института ядерных исследований,
г. Дубна, Московская область.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук

В.И.Кураев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Являясь на сегодняшний день по существу единственной приемлемой теорией сильных взаимодействий, квантовая хромодинамика (КХД) все еще далека от завершения. Ситуация такова, что получить четкие количественные предсказания для физических процессов, исходя только из лагранжиана КХД, практически невозможно. Причиной этого является принципиальное отличие КХД от других калибровочных теорий, например, электрослабого взаимодействия, в которых фундаментальными полями, входящими в лагранжиан, являются поля физически наблюдаемых частиц, причем малость константы связи позволяет обходиться методами теории возмущений (ТВ). КХД задает вид взаимодействия между цветными кварками и глюонами, в то время как реально наблюдаемыми являются их бесцветные комбинации - адроны. Ожидается, что такая структура теории связана с ростом константы сильной связи α_s на малых расстояниях, приводящим, в свою очередь, к неприменимости методов ТВ. Проблема конфайнмента ("запирание" кварков в адроны) остается пока нерешенной проблемой.

Таким образом, несомненно важную роль приобретают вопросы проверки тех предсказаний КХД, которые, с одной стороны, являются достаточно обоснованными в рамках теории, а с другой - имеют непосредственный выход на эксперимент. Незавершенность теории приводит к необходимости использования модельных и феноменологических представлений. Возникающие феноменологические параметры (выражаемые, в принципе, через константы лагранжиана КХД) трактуются как новые константы, а их численные значения извлекаются из анализа экспериментальных данных.

Основным расчетным методом, несмотря на интенсивное развитие непertурбативных подходов, результаты которых пока далеки от конкретных приложений, остается метод теории возмущений. Применимость метода ТВ ограничена областью малости бегущей константы связи $\alpha_s(Q^2)$, что выделяет процессы глубоконеупругого рассеяния с точки зрения проверки предсказаний КХД. Основанием для этого служит возможность факторизации вкладов, обусловленных малыми и большими расстояниями, т.е. разбиение, например, структурной функции глубоконеупругого рассеяния (зависящей в общем случае как от больших Q^2 , так и от малых q^2 импу-

льсных инвариантов) на непертурбативную часть, содержащую информацию о больших расстояниях (малые Q^2), и часть, соответствующую взаимодействию на малых расстояниях (большие Q^2), где применимость КХД гарантируется асимптотическим поведением константы связи ($\alpha_s \rightarrow 0$ при $Q^2 \rightarrow \infty$). Такой подход позволяет по известной при некотором Q_0^2 структурной функции определить ее значения при любых других Q^2 (Q_0^2 и Q^2 должны лежать в области, где соответствующие α_s малы). Эта Q^2 -зависимость имеет явный вид в представлении моментов, а для самих распределений (x -представление) эволюция по Q^2 дается интегродифференциальными уравнениями.

Выполнение соотношений указанного вида между структурными функциями при различных Q^2 , т.е. наличие вычисляемой по ТВ Q^2 -эволюции, и является объектом экспериментальной проверки. Другими словами, речь идет о проверке предсказываемого КХД нарушения скейлинга в поведении структурных функций.

Обычно используемые для анализа экспериментальных данных эволюционные уравнения отвечают асимптотическому случаю $Q^2 \rightarrow \infty$. Достоверность результатов такого анализа зависит, естественно, от величины неучтенных эффектов. К ним относятся: высшие α_s -поправки, эффекты кварковых масс и степенные $1/Q^2$ -поправки высших ($\tau > 2$) твистов. Первые два вычисляются по ТВ, последние имеют непертурбативную природу, что привносит в анализ феноменологические параметры типа h_{τ}^2 , характеризующие величину матричных элементов высших твистов. Намечившийся за последнее время определенный прогресс в понимании первой степенной $1/Q^2$ -поправки хотя и не является окончательным, но может служить отправной точкой для детальных феноменологических исследований.

К сожалению, степенные поправки не исчерпывают списка неопределенностей, характерных для современного состояния вопроса проверки КХД в процессах глубоконеупругого рассеяния. Помимо неоднозначностей теоретического плана, приводящих к появлению в предсказаниях феноменологических параметров (задающих структурные функции в начальной точке Q_0^2 , параметры высших твистов h_{τ}^2 и т.п.), к снижению достоверности результатов КХД-анализа приводит также и отсутствие экспериментальных данных при больших x (достигнутые на эксперименте $0,05 \leq x \leq 0,7$). Необходимая для нахождения Q^2 -эволюции асимптотическая область $x \rightarrow 1$ фактически определяется путем экстраполяции структурных функций $F(x, Q^2)$ из области измеренных x в точку $x=1$. Результаты экстраполяции зависят, естественно, от выбранной формы параметризации структурных функций (модельная зависимость). Обычно указанную модельную неоднозначность ассоциируют с проверкой КХД предсказаний на языке моментов структурных функций. Однако и при нахождении эволюции по Q^2 в x -представлении полностью исключить неизмеренные области по Q^2 не удастся

(исключается область только малых x : для вычисления моментов необходимы $x \in [0, 1]$, а в эволюционные уравнения для структурных функций при некотором x входят $x \in [x, 1]$).

Цель работы:

- рассмотрение применимости безмассовых эволюционных уравнений для описания Q^2 -эволюции в области достигнутых Q^2 ;
- изучение влияния высших степенных $1/Q^2$ -поправок в области умеренных передач по Q^2 на результаты анализа, полученные в приближении ведущего твиста ($\tau=2$);
- определение фундаментальных и феноменологических параметров КХД из анализа Q^2 -зависимости структурных функций глубоконеупругого лептон-нуклонного рассеяния;
- исследование неоднозначностей КХД-анализа и поиск методов их устранения.

Научная новизна и практическая ценность работы

На основе развитого в диссертации метода решения эволюционных уравнений с учетом кварковых масс (как в представлении моментов, так и в x -представлении) выяснены области применимости обычно используемых для анализа безмассовых уравнений с фиксированным числом кварковых ароматов.

Исследовано влияние высших α_s - и $1/Q^2$ -поправок на результаты КХД-анализа структурных функций глубоконеупругого рассеяния лептонов на нуклонах.

Дана новая формулировка предсказаний КХД в виде, позволяющем уменьшить (в любую требуемую степень) вклад асимптотических областей $x \rightarrow 0$ и $x \rightarrow 1$. Основу развитого метода составляют т.н. "локализованные" моменты.

Предложено использовать упругие и квазиупругие лептон-нуклонные процессы, формфакторы которых в рамках дуального КХД-подхода связаны с кварковыми функциями распределения, в качестве источника недостающей информации о кинематической области x вблизи 1.

Для защиты выдвигаются следующие основные результаты:

1. Проведен анализ существующих экспериментальных данных по структурным функциям глубоконеупругого рассеяния лептонов на нуклонах как в лидирующем, так и в следующем за ним порядке по бегущей константе связи α_s . Получены оценки на фундаментальный КХД-параметр Λ .
2. Показана необходимость учета высших степенных $1/Q^2$ -поправок в области умеренных передач ($Q^2 \leq 30 \text{ ГэВ}^2$). Получены оценки на

феноменологический параметр k^2 первой твистовой $1/Q^2$ -поправки.

3. Определена погрешность извлекаемых значений КХД-параметров при использовании безмассовых эволюционных уравнений для анализа экспериментальных данных по структурным функциям в области Q^2 вблизи порогов рождения тяжелых кварков.

4. Получены эволюционные уравнения для локализованных моментов, т.е. величин, основной вклад в которые дают $x \in [x_{min}, x_{max}] \subset [0, 1]$. Область и степень локализации могут быть выбраны произвольно.

5. На основе развитого метода локализованных моментов продемонстрировано существенное влияние асимптотической области $x \rightarrow 1$ на результаты КХД-анализа.

6. Продемонстрирована эффективность использования упругих и квазиупругих лептон-нуклонных процессов в качестве источника информации об области $x \sim 1$ при анализе существующих экспериментальных данных по структурным функциям глубоконеупругого рассеяния. Показано, что совместный анализ указанных процессов приводит к заметному снижению модельной неопределенности КХД-анализа.

Апробация диссертации

Основные материалы диссертации докладывались на семинарах Лаборатории теоретической физики, Лаборатории ядерных проблем, Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований и теоретического отдела Института физики высоких энергий (Протвино), на рабочих совещаниях по программе физических исследований на установке "Нейтронный детектор ИФВЭ-ОИЯИ", на сессиях ОЯФ АН СССР, на всесоюзных конференциях и совещаниях, представлялись на международные конференции.

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 10 работ.

Объем работ

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Содержит 92 страницы машинописного текста, 18 рисунков и одну таблицу. Библиографический список литературы включает 148 ссылок и 159 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дан обзор современного состояния КХД-теории глубоконеупругих процессов. Обсуждаются трудности теории, приводящие к появ-

лению феноменологических параметров, снижающих достоверность проверки статуса КХД в этих процессах. Кратко изложено содержание диссертации.

Первая глава посвящена теоретическим основам описания процессов глубоконеупругого рассеяния лептонов на нуклонах ($eN \rightarrow e'X$) в рамках КХД.

В §1 приведены основные понятия и соотношения КХД подхода для описания структурных функций $F(x, Q^2)$ глубоконеупругих процессов.

В §2 рассматриваются эволюционные уравнения КХД в лидирующем и в следующем за ним порядке по бегущей константе сильной связи α_s в приближении ведущего твиста ($\tau = 2$).

В §3 исследуется влияние массовых эффектов (массы мишени M и масс кварков m_q) на Q^2 -зависимость структурных функций. Проанализирована применимость безмассовых уравнений с фиксированным числом активных кварковых ароматов N_f (§2) в области передач по Q^2 , содержащей пороги рождения тяжелых кварков.

В §4 рассматриваются некоторые свойства первой степенной $1/Q^2$ -поправки ($\tau = 4$), служащие основой для дальнейших детальных феноменологических исследований (гл.2).

Вторая глава посвящена вопросам сравнения с экспериментом предсказаний КХД для Q^2 -зависимости структурных функций глубоконеупругих процессов и определению на этой основе параметров теории.

В §1 обсуждается выбор необходимых начальных условий для эволюционных уравнений КХД, т.е. функций распределения кварков $f_q(x)$ и глюонов $f_g(x)$. Приведены основные положения статистической партонной модели с реджевской асимптотикой, предсказания которой для кварк-глюонных распределений используются в дальнейшем для анализа.

В §2 дано краткое описание используемого способа решения эволюционных уравнений КХД, в основе которого лежит вариационный метод пробных функций.

В §3 содержатся результаты, полученные при анализе экспериментальных данных по структурным функциям глубоконеупругого рассеяния в приближении ведущего твиста ($\tau = 2$). Обсуждается влияние глюонных распределений и α_s -поправок на извлекаемое из анализа значение фундаментального КХД-параметра Λ .

В §4 приведены результаты, полученные при КХД-анализе с учетом первой степенной $1/Q^2$ -поправки ($\tau = 4$). Установлено, что пренебрежение этим эффектом в области умеренных Q^2 (вплоть до 30 ГэВ²) может привести к противоречиям. Дана оценка степени влияния этой поправки на результаты анализа в диапазоне существующих экспериментальных данных.

Третья глава посвящена исследованию неоднозначности КХД-анализа структурных функций глубокоэластичного рассеяния, связанной с отсутствием экспериментальных данных в области больших x .

В §1 развит метод локализованных моментов, позволяющий существенно ослабить (в любую требуемую степень) влияние асимптотических областей $x \rightarrow 0$ и $x \rightarrow 1$. Основой метода является введение в рассмотрение производных по индексу от обычных моментов, что делает возможным формулировку предсказаний КХД для величин с ослабленной асимптотической зависимостью. Обсуждаются другие способы введения такого подавления.

В §2 на основе проведенного с использованием метода локализованных моментов (§1) исследования степени достоверности параметров, получаемых при анализе только в области измеренных x ($\leq 0,7$), продемонстрирована важность области $x \sim 1$, где нет экспериментальных данных.

В §3 рассматривается возможный способ получения информации об асимптотической области x вблизи 1 из упругих и квазиупругих лептон-нуклонных процессов, в основе которого лежит дуальный КХД-подход, позволяющий связать формфакторы двухчастичных процессов с кварковыми функциями распределения. Приведены основные соотношения дуального КХД-подхода и результаты совместного анализа упругих, квазиупругих и глубокоэластичных процессов.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертации.

Результаты диссертации опубликованы в работах

1. Иванов Ю.П., Исаев П.С. КХД анализ данных по глубокоэластичному рассеянию лептонов. ЯФ, 1983, т.38, с.744.
2. Бедняков В.А., Златев И.С., Иванов Ю.П., Исаев П.С., Коваленко С.Г. Логарифмическое и степенное нарушение скейлинга в глубокоэластичном рассеянии лептонов. КХД анализ данных. ЯФ, 1984, т.40, с.770.
3. Иванов Ю.П., Коваленко С.Г. КХД правила сумм конечно-энергетического типа. Препринт ОИЯИ, P2-83-342, Дубна, 1983.
4. Иванов Ю.П., Коваленко С.Г. Модельно-независимая формулировка предсказаний КХД в глубокоэластичном рассеянии. ЯФ, 1984, т.40, с.1277.
5. Бедняков В.А., Буянов С.А., Иванов Ю.П., Исаев П.С., Коваленко С.Г. Твистовые эффекты и кварк-кварковые корреляции в нуклоне. О возможности экспериментального изучения на нейтринном детекторе ИВВЭ-ОИЯИ. Сообщение ОИЯИ, P2-84-163, Дубна, 1984.
6. Бельков А.А., Иванов Ю.П., Коваленко С.Г. Двухчастичные лептон-нуклонные процессы в дуальном КХД подходе. ЯФ, 1984, т.40, с.1301.

7. Бельков А.А., Иванов Ю.П., Коваленко С.Г. Совместный КХД-анализ упругих и глубокоэластичных процессов лептон-нуклонного рассеяния. Препринт ОИЯИ, P2-84-348, Дубна, 1984.
8. Бельков А.А., Иванов Ю.П., Коваленко С.Г. О совместном КХД-анализе глубокоэластичных и двухчастичных лептон-нуклонных процессов. Препринт ИВВЭ, ОИЯИ 85-75, Серпухов, 1985.
9. Иванов Ю.П. Численный метод решения эволюционных уравнений КХД. Сообщение ОИЯИ, P2-85-557, Дубна, 1985.
10. Иванов Ю.П. Эффекты кварковых масс в эволюционных уравнениях КХД и функции распределения тяжелых кварков. Препринт ОИЯИ, P2-85-602, Дубна, 1985.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 октября 1985 года.