

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P2-84-348

А.А.Бельков*, Ю.П.Иванов, С.Г.Коваленко

**СОВМЕСТНЫЙ КХД-АНАЛИЗ
УПРУГИХ И ГЛУБОКОНЕУПРУГИХ ПРОЦЕССОВ
ЛЕПТОН-НУКЛОННОГО РАССЕЯНИЯ**

Направлено в журнал "Ядерная физика"

* Институт физики высоких энергий,
Серпухов

1984

Применимость квантовой хромодинамики /КХД/ для описания процессов глубокоупругого рассеяния лептонов в настоящее время уже не вызывает сомнений. Однако извлечение из КХД-анализа этих процессов достоверных значений, например, параметра Λ , наталкивается на трудности. Дело в том, что для нахождения Q^2 -зависимости структурных функций по эволюционным уравнениям КХД требуется задать начальные условия, т.е. кварковые /валентные q_v и морские q_s / и глюонные / G / функции распределения во всем интервале $0 \leq x \leq 1$ при некотором $Q^2 = Q_0^2$. Обычно достигаемые в эксперименте значения не превышают $x_{\max} \approx 0,7$, поэтому для задания начальных условий во всем диапазоне x используются различные параметризации. Очевидно, что разные параметризации могут одинаково хорошо описывать экспериментальные данные, но различаться в области больших x , где данных нет. Между тем, как показано в ^{1/}, эта область вносит едва ли не определяющий вклад в эволюцию структурных функций по Q^2 . В результате неопределенность в выборе начальных условий в области больших x приводит к существенному произволу в нахождении эволюции по Q^2 , а следовательно, и в определении Λ . Устранить возникающий произвол можно лишь продвижением в область больших x . Препятствием для этого является тот факт, что область больших x - это область резонансов. Поэтому необходимо выделять из экспериментально измеренной структурной функции гладкую партонную компоненту, которая входит в эволюционные уравнения.

В связи со сказанным, информация о кинематической области больших x представляет исключительный интерес. Источником такой информации могут служить упругие и квазиупругие лептон-нуклонные процессы. Прежде всего важно найти адекватный подход для их описания. Мы будем использовать дуальный КХД-подход, предложенный в ^{2/}. В рамках этого подхода факторы и сечения рассматриваемых процессов выражаются через несинглетную /валентную/ компоненту кварковых распределений q_v , причем существенный вклад вносит именно область больших значений x . Дополнительная информация о распределении валентных кварков, полученная в дуальном подходе из анализа данных по упругому и квазиупругому рассеянию, приводит к заметным ограничениям на допустимый вид x -параметризации партонных распределений. В результате существенно снижаются ошибки при извлечении параметра Λ .

Проведем совместный анализ данных по глубокоупругому, упругому и квазиупругому лептон-нуклонному рассеянию. С целью исключения из анализа $1/Q^2$ -поправок к структурным функциям F_L , будем использовать высокоэнергетические данные $/Q^2 \geq 30 \text{ ГэВ}^2/$

по глубоконеупругому рассеянию, полученные коллаборацией EMC /3/ :

$$F_2(x, Q^2) = \frac{5}{18} x \Sigma(x, Q^2) + \frac{1}{6} x [u_v(x, Q^2) - d_v(x, Q^2)] \quad /1/$$

где $u_v(x, Q^2)$ и $d_v(x, Q^2)$ - несинглетные распределения u -и d -кварков в протоне, $\Sigma(x, Q^2)$ - синглетная комбинация кварковых распределений:

$$\Sigma(x, Q^2) = u_v(x, Q^2) + d_v(x, Q^2) + \sum_{q=1}^{n_f} [q_s(x, Q^2) + \bar{q}_s(x, Q^2)]$$

В настоящей работе мы рассмотрим случай фиксированного числа $n_f = 4$ и $SU(4)$ -симметрию активных кварковых ароматов. В качестве начальных условий эволюционных уравнений КХД для кварковых и глюонных распределений используем параметризацию модели /4/. Подробное описание применяемого нами метода решения этих уравнений дано в работе /5/. Приведенные ниже результаты получены исходя из эволюционных уравнений в следующем по α_s порядке теории возмущений /схема MS/.

В анализ включены данные по электромагнитному формфактору протона $G_{Mp}(Q^2)$ /6/ и сечения $\frac{d\sigma}{dQ^2}$ процессов $\nu_\mu p \rightarrow \mu^- p$, $\bar{\nu}_\mu p \rightarrow \mu^+ p$ /7/, связанных с формфакторами $F_{V, M, A}(Q^2)$. В рамках дуального подхода /2/ рассматриваемые упругие формфакторы выражаются через резонансные структурные функции $\bar{w}_2^{эл}(Q^2)$ и $\bar{w}_2^{сл}(Q^2)$, которые определяются валентными распределениями $u_v(x, Q^2)$ и $d_v(x, Q^2)$, входящими в /1/:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{w}_2^{эл} \\ \bar{w}_2^{сл} \end{array} \right\} (Q^2) = Z T_2(Q^2) \int_{a_+(Q^2)}^1 dx x \left\{ \begin{array}{l} \frac{4}{9} u_v(x, Q^2) + \frac{1}{9} d_v(x, Q^2) \\ 2 \cos^2 \theta_c u_v(x, Q^2) \end{array} \right\} \quad /2/$$

где Z - нормировочная константа, а $T_2(Q^2)$ и $a_+(Q^2)$ - кинематические факторы, учитывающие средний поперечный импульс кварков в нуклоне p_T и интервал дуальности $\Delta / \Delta = 0,232$ ГэВ, что соответствует охвату нуклонного пика вплоть до ближайшего резонанса Δ_{33} /. Явный вид T_2 , a_+ и связи \bar{w}_2 с формфакторами и сечениями показан в приложении. При использовании формул /1/ и /2/ в области малых Q^2 ($\sim p_T^2$) необходимо производить замену $Q^2 \rightarrow Q^2 + p_T^2$ в $q_v(x, Q^2)$ и $\alpha_s(Q^2)$ /"вымораживание" кварк-глюонной константы связи/.

Свободными параметрами при анализе данных являются: набор параметров $\{a\}$, определяющих распределения по x в точке нормировки Q_0^2 ; параметр Λ , фиксирующий $\alpha_s(Q^2)$, а также Z и p_T . Неза-

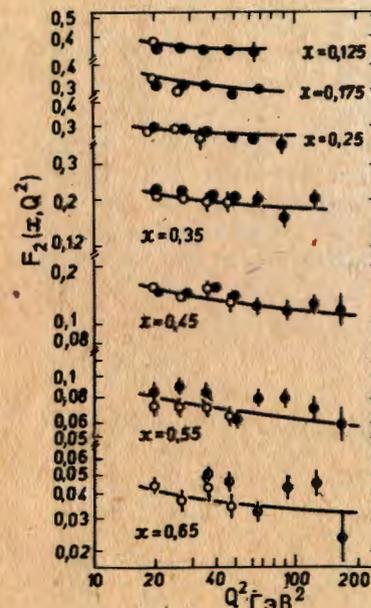
висимая обработка данных по F_2 приводит к достаточно большим ошибкам / $\sim 40\%$ /:

$$\Lambda = 400_{-150}^{+170} \text{ МэВ}, \quad /3/$$

величина которых в значительной мере обусловлена выбранной формой параметризации, а не точностью экспериментальных данных. Такой анализ показывает, что даже существенное / $\sim 2+3$ раз/ увеличение количества, либо точности экспериментальных данных с x , лежащими в том же интервале, может практически не изменить величину ошибки Λ .

Добавление данных по упругим процессам должно снизить произвол в выборе параметризации x -зависимости и уменьшить величину ошибки в определении Λ , что подтверждается непосредственным

анализом данных: $\Lambda = 480_{-120}^{+80}$ МэВ. Ошибка Λ уменьшилась фактически вдвое, хотя общее число данных за счет упругих процессов возросло лишь на $\sim 40\%$. О жесткости ограничений, налагаемых упругими процессами на форму x -зависимости функций распределения, говорит, в частности, тот факт, что далеко не при всех значениях $\{a\}$ и Λ , допустимых для описания данных по F_2 , удается описать G_{Mp} и $d\sigma/dQ^2$. Так, значения $\{a\}$ и Λ , найденные нами из анализа только F_2 /3/, не подходят для этой цели. Лишь совместный анализ позволяет дать корректное описание данных как по глубоконеупругому, так и по упругому рассеянию /см. рис.1, рис.2, рис.3/.



Несколько слов о самом значении Λ . Эволюционные уравнения, используемые при анализе данных по глубоконеупругому рассеянию, соответствуют фиксированному числу кварковых ароматов n_f , что оправдано для Q^2 , лежащих вдали от порогов рождения кварков. Значительная часть данных по упругому рассеянию лежит как раз в пороговой области, для рассмотрения которой необходим учет массовых эффектов в эволюционных уравнениях КХД. Пока такой учет в следующем по α_s порядке проведен лишь для самой бегущей константы /8/.

Рис.1. Структурная функция F_2 глубоконеупругого рассеяния мюонов на водороде.

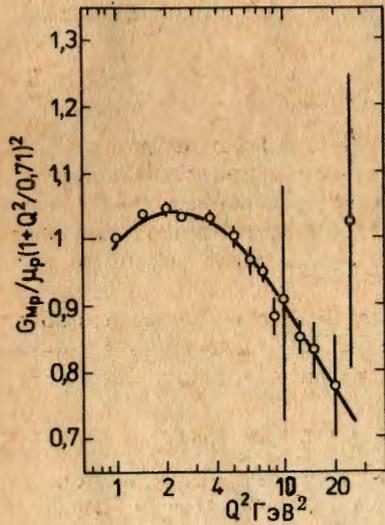


Рис.2. Электромагнитный форм-фактор G_{Mp} .

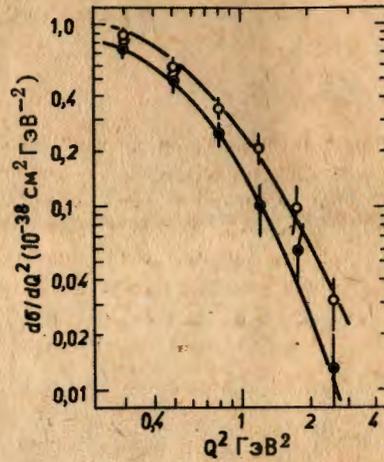


Рис.3. Дифференциальные сечения $d\sigma/dQ^2$ рассеяния $\nu_n p \rightarrow \mu^- p$ (○) и $\bar{\nu}_\mu p \rightarrow \mu^+ p$ (●).

Итак, совместный анализ данных по глубоконеупругому, упругому и квазиупругому лептон-нуклонному рассеянию позволяет существенно снизить произвол в выборе параметризаций x -зависимости функций распределения и приводит к заметному уменьшению неопределенностей в КХД-анализе структурных функций. Мы использовали, в основном, данные по рассеянию заряженных лептонов. Еще большего повышения точности можно достичь при анализе нейтринных процессов. Это связано с тем, что упругие процессы в рамках рассматриваемого нами подхода налагают ограничения только на валентные распределения. В распределениях кварков моря и глюонов остается произвол. Исключением является структурная функция F_3 глубоконеупругого $(\bar{\nu})N$ -рассеяния, связанная только с несинглетной компонентой кварковых распределений, и, следовательно, не содержащих этих неопределенностей.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Входящие в \bar{W}_2 величины T_2 и a_+ имеют вид:

$$T_2(Q^2) = \frac{M}{K(Q^2)} \left(1 + \frac{4M^2}{Q^2} + \sqrt{1 + \frac{4M^2}{Q^2}} \right), \quad a_+(Q^2) = \frac{Q^2 \cdot K(Q^2)}{M(\nu_+ + \sqrt{\nu_+^2 + Q^2})}$$

где

$$K(Q^2) = 1 + \frac{p_T^2}{Q^2} \left(1 + \frac{1}{1 + Q^2/p_T^2} \right), \quad \nu_+(Q^2) = \frac{(M + \Delta)^2 - M^2 + Q^2}{2M}$$

Электромагнитные и слабые формфакторы протона связаны с \bar{W}_2 следующим образом:

$$G_{Ep}(Q^2) = \frac{G_{Mp}(Q^2)}{\mu_p} = \left[\frac{r}{2M \left(1 + \frac{Q^2}{4M^2} \mu_p^2 \right)} \bar{W}_2^{\text{эл}}(Q^2) \right]^{1/2},$$

$$F_M(Q^2) = \frac{\mu_p - \mu_n - 1}{r} G_{Ep}(Q^2), \quad F_V(Q^2) = \left(1 + \frac{Q^2}{4M^2} (\mu_p - \mu_n) \right) / r \cdot G_{Ep}(Q^2),$$

$$F_A(Q^2) = \left(\frac{\bar{W}_2^{\text{кл}}}{2 \cos^2 \theta_c} - F_V^2(Q^2) - \frac{Q^2}{4M^2} F_M^2(Q^2) \right)^{1/2},$$

где $\mu_p = 2,79$, $\mu_n = -1,91$ - магнитные моменты протона и нейтрона соответственно, $r = 1 + Q^2/4M^2$. Сечения процессов $\nu_\mu p \rightarrow \mu^- p$, $\bar{\nu}_\mu p \rightarrow \mu^+ p$ равны

$$\frac{d\sigma^\pm}{dQ^2} = \frac{G^2}{4\pi} \cos^2 \theta_c \left[(F_V \pm F_A)^2 + (1-y)^2 (F_V \mp F_A)^2 - (F_V^2 - F_A^2) \frac{Q^2}{2E} + 2F_M y (F_M(1-y) \frac{E}{2M} + \frac{y}{4} (4F_V + F_M \mp 4F_A) \pm 2F_A) \right]$$

где константа связи $G^2 = 5 \cdot 10^{-38} \text{ см}^2/\text{ГэВ}^2$, θ_c - угол Кабиббо $\cos^2 \theta_c = 0,95$, $y = Q^2/2ME$, E - энергия $\nu(\bar{\nu})$, причем верхние знаки соответствуют рассеянию ν , нижние - $\bar{\nu}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Ю.П., Коваленко С.Г. ОИЯИ, P2-83-843, Дубна, 1983.
2. Коваленко С.Г. ОИЯИ, P2-80-499, Дубна, 1980; Бельков А.А., Клименко Л.А., Коваленко С.Г. Препринт ИФВЭ 83-30, Серпухов, 1983; Бельков А.А., Иванов Ю.П., Коваленко С.Г. Препринт ИФВЭ 83-149, Серпухов, 1983.
3. Aubert J.J. et al. Phys.Lett., 1981, 105B, p. 315.
4. Isaev P.S., Kovalenko S.G. Hadronic Journal, 1980, 30 p.919.

5. Бедняков В.А. и др. ЯФ, 1982, 36, с. 745.
6. Kirk P.N. et al. Phys.Rev., 1973, D8, p. 63.
7. Беликов С.В. и др. Препринт ИФВЭ 82-107, Серпухов, 1982.
8. Yoshino T., Nagivara K. MAD/PH/113 (TMU-HEL-8306), Madison, 1983.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
Д1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
Д17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
Д1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
Р18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
Д2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
Д3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
Д2,4-83-179	Труды XV Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Дубна, 1982.	4 р. 80 к.
	Труды УШ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 к.
Д11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
Д7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
Д2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 мая 1984 года.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Бельков А.А., Иванов Ю.П., Коваленко С.Г. P2-84-348
Совместный КХД-анализ упругих и глубоконеупругих процессов лептон-нуклонного рассеяния

Выполнен совместный КХД-анализ экспериментальных данных по глубоконеупругому, квазиупругому и упругому рассеянию лептонов на нуклонах. Объединение этих процессов на основе дуального подхода позволило улучшить оценку фундаментального параметра Λ и исключить ряд неопределенностей, связанных с областью больших значений бьеркеновской переменной x .

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Belkov A.A., Ivanov Yu.P., Kovalenko S.G. P2-84-348
Joint QCD-Analysis of Elastic and Deep Inelastic Lepton-Nucleon Scattering

Joint QCD-analysis of a deep inelastic, quasielastic and deep inelastic lepton-nucleon scattering have been performed. Unification of these processes on the basis of local duality allows one to improve the estimation of fundamental parameter Λ and to exclude some uncertainties connected with the region of large values of Bjorken variable x .

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984