

X-936

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

2 - 9746

ХРИСТОВА
Екатерина Христова

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ
ЛЕПТОН-АДРОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Специальность 01.04.02 - теоретическая
и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1976

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель -
доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

С.М.Биленький.

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук
профессор

Л.И.Липидус,

кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

Ф.Г.Ткебучава.

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт
ядерных исследований АН СССР.

Автореферат разослан " " _____ 1976 года.

Защита диссертации состоится " " _____ 1976 года
на заседании специализированного Ученого совета К-56 Лаборатории
теоретической физики ОИЯИ (Дубна, Московская область).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

В.И.Журавлев

Изучение лептон-адронных процессов является одним из самых эффективных способов исследования сильно взаимодействующих частиц и получения информации об адронных нейтральных токах.

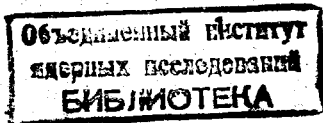
В 1968 году на линейном ускорителе в Стэнфорде были начаты эксперименты по глубоконеупругому $e-p$ рассеянию, сыгравшие огромную роль в развитии наших представлений об адронах. Возникли и получили развитие такие направления теоретических исследований, как партонная модель, принцип автомодельности, конформно-инвариантная теория, асимптотически-свободные квантовые теории поля. Цель первой части диссертации состоит в получении информации о структуре нуклона на основе имеющихся теоретических представлений и экспериментальных данных.

Одним из крупнейших открытий последних лет явилось обнаружение слабых нейтральных токов в нейтринных реакциях. Важнейшей задачей для теории и эксперимента на настоящем этапе является изучение их структуры. Фундаментальное значение для единых теорий слабого и электромагнитного взаимодействия имело бы открытие нейтральных токов у заряженных частиц. Процессам, изучение которых помогло бы ответить на эти вопросы, посвящена вторая часть диссертации. Здесь впервые проведено исследование, позволяющее связать существование нейтральных токов у заряженных частиц с экспериментальной возможностью определения знака фермиевской константы слабого взаимодействия G .

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

Во введении дан краткий обзор рассматриваемых в работе вопросов и представлен план изложения. Приведены также общие соотношения для структурных функций нуклона, которые часто используются в следующих главах.

Первая глава диссертации /1,2/ посвящена исследованию проблемы нарушения скейлинга в глубоконеупругом $e-p$ рассеянии.



В последних экспериментах по лептон-нуклонным столкновениям, выполненных в SLAC и Батавии, получены указания на возможные отклонения от скейлинга. Чрезвычайно важным для теории представляется выяснить форму этого отклонения.

В диссертации на основе детального анализа данных группы SLAC-MIT проведено исследование применимости различных форм нарушения скейлинга.

В § I были проанализированы все данные в предположении о существовании аномальных размерностей. Наличие аномальных размерностей у операторов является основным следствием масштабности инвариантных полевых моделей на малых расстояниях. При анализе к скейлинговому выражению для νW_2 добавляли член вида $\ln \frac{q^2}{M^2}$, обусловленный аномальными размерностями. Так как только из гипотезы об аномальных размерностях нельзя сделать определенных выводов о $R = \frac{\sigma_S}{\sigma_T}$, то использовались разные параметризации для R . Анализ показал, что данные не исключают возможности наличия аномальных размерностей. Значение параметра A , характеризующего их величину, однако, сильно зависит от выбора R и меняется от $0,10 \pm 0,06$ до $0,47 \pm 0,06$.

Специально анализировалась область значений переменной ω , близких к единице (§ 2). Из моделей, основанных на теории поля, вытекает, что именно в этой области следует ожидать весьма значительных отклонений от скейлинга. Рассматривались различные формы нарушения скейлинга при больших q^2 , обусловленные масштабной инвариантной партонной моделью, неточностью партонной теорией с асимптотической свободой. Данные по глубоконеупругому $e-p$ рассеянию анализировались совместно с данными по упругому $e-p$ рассеянию при больших q^2 . При этом предполагалось, что νW_2 и G_M

связаны соотношением Дрелла-Яна, обобщенным различными авторами на случай нарушения скейлинга. Выполненный анализ данных по глубоконеупругому $e-p$ рассеянию в области $\omega \leq 1,5$,

$q^2 \geq 6(\text{ГэВ})^2$ и $W \geq 1,8 \text{ ГэВ}$ и данных по упругому $e-p$ рассеянию в области $q^2 \geq 6(\text{ГэВ})^2$ показал, что учитывать q^2 -зависимость функции νW_2 необходимо. Имеющиеся экспериментальные данные согласуются со всеми рассматриваемыми моделями, и, таким образом, не позволяют отличить разные формы нарушения скейлинга.

Экспериментальные данные были проанализированы также в предположении, что νW_2 является функцией $\omega' = \omega - \frac{M^2}{q^2}$, которая соответствует нарушению скейлинга в предасимптотической области. Описание данных и в этом случае остается удовлетворительным.

Для выяснения актуального вопроса о форме нарушения скейлинга нужны новые данные по сечению глубоконеупругого $e-p$ -рассеяния при больших значениях q^2 .

Во второй главе ^{13/} предложен эксперимент по измерению асимметрии в упругом рассеянии поляризованных лептонов на поляризованной протонной мишени в области больших q^2 , что позволило бы проверить одно из следствий партонной модели, заключающееся в том, что при $q^2 \gg M^2$ электрический и зарядовый формфакторы ведут себя одинаково:

$$G_M(q^2) \sim G_E(q^2). \quad (I)$$

Показано, что в этом случае продольная асимметрия по модулю много больше поперечной.

С другой стороны, если считать нуклон связанным состоянием частиц со спином $\frac{1}{2}$ и 0, то при $q^2 \gg M^2$ дираковский

и паулевский формфакторы ведут себя одинаково:

$$F_1(q^2) \sim F_2(q^2). \quad (2)$$

В этом случае продольная и поперечная асимметрии одного порядка.

Так как имеющиеся экспериментальные данные не могут исключить одинаковое поведение формфакторов F_1 и F_2 при больших q^2 , то постановка предложенного эксперимента по рассеянию поляризованных лептонов на поляризованной протонной мишени является весьма актуальной.

В третьей главе^{14/} предложен способ экспериментального определения знака константы слабого взаимодействия G . В 1959 году Я.Б.Зельдович обратил внимание на то, что в теории с промежуточным W -бозоном константа G должна быть положительной. Таким образом, определение знака G представляет фундаментальный интерес для теорий слабого взаимодействия.

В первом параграфе рассмотрена возможность определения знака G в опытах по глубоконеупругому рассеянию поляризованных лептонов на неполяризованной протонной мишени путем наблюдения

P -нечетной асимметрии, возникающей за счет интерференции слабого и электромагнитного взаимодействия.

Для гамильтониана взаимодействия принималось выражение

$$\mathcal{H} = \mathcal{H}^{em} + \frac{G}{\sqrt{2}} (\bar{l} \gamma_2 (g_V + g_A \gamma_5) l) \mathcal{T}_L^0, \quad (3)$$

где \mathcal{T}_L^0 - нейтральный адронный ток. Предполагалось, что нейтральный адронный ток имеет общий вид, возникающий в единых теориях слабого и электромагнитного взаимодействия. Показано, что совокупность выполняемых в настоящее время опытов (глубоконеупругое $l-N$ рассеяние, глубоконеупругое $\gamma-N$ рассеяние, процессы $(\nu_e e)$ - и $(\bar{\nu}_e e)$ -рассеяния) позволит определить знак константы G .

Для гамильтонианов взаимодействия процессов $(\nu_e e)$ и $(\bar{\nu}_e e)$ рассеяния использовались выражения:

$$\mathcal{H}_{\nu_e e} = G/\sqrt{2} (\bar{\nu}_e \gamma_2 (1 + \gamma_5) \nu_e) (\bar{e} \gamma_2 (g_V + g_A \gamma_5) e)$$

$$\mathcal{H}_{\bar{\nu}_e e} = \frac{G}{\sqrt{2}} [(\bar{\nu}_e \gamma_2 (1 + \gamma_5) e) (\bar{e} \gamma_2 (1 + \gamma_5) \nu_e) + (\bar{\nu}_e \gamma_2 (1 + \gamma_5) \nu_e) (\bar{e} \gamma_2 (g_V + g_A \gamma_5) e)].$$

В § 2 исследован вопрос о возможности определения знака G в чисто лептонном процессе $e^+ e^- \rightarrow \mu^+ \mu^-$. Показано, что отсутствие адронов позволило бы определить знак G на основе более общего феноменологического анализа.

Четвертая глава^{15,6/} посвящена рассмотрению P -нечетных эффектов, возникающих за счет нейтральных токов у заряженных частиц, в лептон-адронных процессах.

Поиск слабых нейтральных токов у заряженных частиц - задача чрезвычайно трудная, так как их эффекты маскируются на несколько порядков более сильным электромагнитным взаимодействием. Если нейтральные токи у заряженных частиц не сохраняют четность, то естественный путь поиска таких токов - изучение P -нечетных эффектов в лептонных и лептон-адронных взаимодействиях.

В § I вычислена в модели Вайнберга P -нечетная асимметрия, возникающая в упругом рассеянии неполяризованных лептонов (антилептонов) на поляризованной протонной мишени. Формфакторы, характеризующие матричный элемент нейтрального адронного тока в теории Вайнберга, в этом случае можно выразить через электромагнитные и аксиальные формфакторы нуклона, и ожидаемые при этом асимметрии могут быть вычислены как функция единственного параметра теорий $\sin^2 \theta_w$. Продольная асимметрия вычислена в широком интервале углов и энергий при разных значениях $\sin^2 \theta_w$. Показано, что асимметрия $(A_{||}(\ell))$, возникающая при рассеянии лептонов,

сильно меняется при изменении параметра Вайнберга. Для наиболее вероятного значения $\sin^2 \theta_w = 0,40^*$ асимметрия $A_{\parallel}(\ell) = 2,2\%$, а при $\sin^2 \theta_w = 0,60$ асимметрия достигает $8,5\%$. Для асимметрии $A_{\parallel}(\ell)$, возникающей при рассеянии антилептонов на поляризованной протонной мишени, нет столь резкой зависимости от $\sin^2 \theta_w$.

В § 2 рассмотрены P -нечетные эффекты нейтральных токов для кроссинг-симметричного процесса $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$ [6]. Показано, что в случае продольно поляризованных e^+e^- пучков (создание таких пучков в настоящее время обсуждается) при характерной для планируемых экспериментов энергии лептонного пучка $E = 14$ ТэВ эффекты сильно зависят от угла Вайнберга и достигают 10% . В этом же параграфе рассмотрен также процесс образования барион-антибарионной пары на встречных e^+e^- пучках. Здесь наибольший интерес представляет процесс аннигиляции e^+e^- в $\Lambda^0 \bar{\Lambda}^0$ -гипероны в связи с исследованием изотопической структуры адронного нейтрального тока. В соответствии с моделями типа Вайнберга и Салама общую структуру нейтрального тока можно представить в виде

$$J_{\mu}^0 = v_{\mu}^3 + a_{\mu}^3 + v_{\mu}^0 + a_{\mu}^0,$$

где через v_{μ}^3 и a_{μ}^3 обозначены векторная и аксиальная части изовекторного тока, а через v_{μ}^0 и a_{μ}^0 - соответствующие части изоскалярного тока. Детально обсуждается способ выделения изоскалярного аксиала a_{μ}^0 , которого нет как в электромагнитном, так и в заряженных токах.

Перечислим основные результаты, полученные в диссертации:

1. Показано, что данные по глубоконеупругому $e-p$ рассеянию не исключают возможности наличия аномальных размерностей.
2. Показано, что для описания данных в области $W \geq 1,8$ ТэВ необходимо учитывать члены, нарушающие скейлинг. Имеющиеся данные,

* Из данных CERN по глубоконеупругому $\nu-N$ рассеянию следует, что $\sin^2 \theta_w = 0,34 \pm 0,05$.

однако, не позволяют различить логарифмическую и степенную q^2 -зависимости функции νW_2 .

3. Предложен эксперимент, проведение которого выяснило бы вопрос об асимптотическом соотношении между факторами протона.
 4. Предложен способ экспериментального определения знака G .
 5. Рассмотрена P -нечетная асимметрия, возникающая в теории Вайнберга в упругом рассеянии неполяризованных лептонов на поляризованной протонной мишени.
 6. Рассмотрены P -нечетные эффекты, возникающие за счет нейтральных токов в процессе аннигиляции продольно поляризованных e^+e^- -пучков в барион-антибарионную пару. Исследована возможность выделения изоскалярного аксиала в процессе $e^+e^- \rightarrow \Lambda^0 \bar{\Lambda}^0$.
- Эти результаты являются новыми и получены в диссертации впервые.

Основные результаты, вошедшие в диссертацию, докладывались на семинарах ЛТФ и ЛВЭ ОИЯИ, на конференции молодых ученых в Болгарии (1974), на международной конференции по физике высоких энергий в Лондоне (1974) и на конференции "Нейтрино'75". Они опубликованы в следующих работах:

1. S.I.Bilenkaya, E.N.Hristova, D.Stamenov.
Nucl. Phys. B79, 422 (1974).
2. С.И.Биленькая, Е.Хр.Христова. Сообщение ОИЯИ, PI-9724, Дубна, 1976.
3. S.I.Bilenkaya, S.M.Bilenky, A.Frenkel, E.N.Hristova.
JINR, preprint E2-8678, Dubna, 1975; ЯФ, 23, 401 (1976).
4. С.М.Биленький, Н.Дадаян, Е.Хр.Христова, ЯФ, 21, 360 (1975);
XVII Intern. Conf. on High Energy Phys., London, 1974, p.111-14.

5. С.М.Биленький, Н.Дадаян, Е.Хр.Христова. ЯФ, 21, 1271 (1975);
Neutrino'75, v.1, p.193.
6. Е.Н.Христова. Preprint JINR E2-9395, Dubna, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 апреля 1976 года