

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Д-795

2 - 10199

ДУБНИЧКОВА

Анна Зузана

ИССЛЕДОВАНИЕ Σ -МОДЕЛЕЙ
И НЕКОТОРЫХ МОДЕЛЕЙ КВАРКОВ

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.

Научные руководители:

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник Г.В.Ефимов

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник В.И.Огиевецкий

Официальные оппоненты:

профессор, доктор физико-математических наук М.К.Поливанов

кандидат физико-математических наук Б.М.Зупник

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Физический институт АН СССР им.П.Н.Лебедева, Москва.

Автореферат разослан " " _____ 1976 г.

Защита диссертации состоится " " _____ 1976 г.

на заседании специализированного Ученого совета К-56
Лаборатории теоретической физики Объединенного института
ядерных исследований (г.Дубна, Московской области).

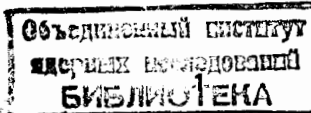
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

В.И.Куравлев

Изучение динамических симметрий позволило в последние 10-15 лет достигнуть больших успехов в самых различных областях квантовой теории поля. Здесь прежде всего следует отметить известные достижения в построении единых калибровочных теорий сильного, слабого и электромагнитного взаимодействия элементарных частиц, изучение суперсимметричных моделей и успешное описание низкоэнергетической адронной физики с использованием алгебры токов, Σ - моделей и квантовой киральной теории поля. Плодотворным является совместное использование идеи киральной симметрии и модели кварков для описания различного рода распадов адронных резонансов. Открытие глубоконеупругих процессов наиболее естественно объясняется существованием внутри элементарных частиц точечных объектов - кварков $^{1/3}$. Однако кварки до сих пор еще не обнаружены экспериментально. Это породило множество теоретических моделей элементарных частиц, в которых делаются попытки объяснить невозможность существования свободных кварков. Однако вопрос до сих пор остается открытым.

В настоящей диссертационной работе изучаются вопросы, связанные с проблемой симметрий элементарных частиц и их кварковой структурой. В ней исследуются механизмы спонтанного нарушения симметрий в Σ - моделях и предлагаются модели кварков, в рамках которых они не могут существовать как свободные частицы.



Наиболее естественной реализацией динамической симметрии алгебры токов сегодня считается механизм спонтанного нарушения симметрии ^{/2/}. Этот механизм хорошо известен в теории твердого тела, где он приводит к сверхпроводимости и сверхтекучести ^{/3/}.

Существуют два метода построения взаимодействия, инвариантного относительно нарушенной симметрии.

1. Метод линейных Σ - моделей ^{/4/} - линейная реализация;
2. Метод феноменологических лагранжианов ^{/5/} - нелинейная реализация.

Хорошо известно, что как Σ - модели, так и феноменологические лагранжианы (ФЛ) дают в древесном приближении соотношение Голдбергера-Треймана ^{/6/} или низкоэнергетические теоремы ($E \ll 1 \text{ ГэВ}$). Хотя язык ФЛ для описания результатов алгебры токов с групповой точки зрения более удобен и нагляден, чем язык Σ - моделей, все же метод Σ - моделей остается привлекательным из-за его математической простоты.

Если теперь попытаться описать скейлинговое поведение структурных функций глубоконеупругого фоторождения, которое было предсказано Бьеркеном ^{/7/}, при помощи Σ - моделей (опять нас привлекает их простота), получаем противоречие с соотношением Каллана-Гросса ^{/8/} для структурных функций. Трудность возникает, поскольку гипотетические Σ - частицы дают довольно большой вклад в электри-

ческий ток ^{/9/}. Гораздо успешнее в этом направлении были использованы модели кварков ^{/10/}.

Настоящая диссертация посвящена исследованию спонтанного нарушения в представлениях $[N/2, N/2]$ группы $SU(2) \otimes SU(2)$, включению масс голдстоуновских частиц (частицы с массой, равной нулю в теории) в рамках группы $SU(3) \otimes SU(3)$ посредством прямого нарушения симметрии массами соответствующих голдстоунов и двух моделей, обеспечивающих удержание кварков, построенных в рамках нелокальной квантовой теории поля ^{/11/}.

Диссертация состоит из введения, трех глав и двух приложений и предваряется краткой сводкой полученных результатов. Каждая глава снабжена краткой аннотацией.

Во Введении резюмирован современный статус динамических симметрий в квантовой теории поля и основные проблемы, связанные с теорией кварков ^{/12/}, которая приводит к тому, что кварки должны существовать как реальные частицы, хотя экспериментально они до сих пор не обнаружены ^{/13/}.

В первой главе кратко излагаются основные положения теории линейных и нелинейных реализаций полупростых компактных групп Ли.

В качестве приложения к этой теории исследуется механизм возникновения спонтанного нарушения в Σ - моделях, содержащих Σ - частицу в $[N/2, N/2]$ линейных представлениях группы $SU(2) \otimes SU(2)$.

Нами показано, что спонтанное нарушение в случае $[N/2, N/2]$ представлений группы $SU(2) \otimes SU(2)$ проявляется для N четного, если выбрать затравочный параметр- квадрат массы μ^2 в лагранжиане, инвариантном относительно $SU(2) \otimes SU(2)$ - отрицательным ($\mu^2 < 0$); для N нечетного проявляется при всех значениях (т.е. $\mu^2 > 0, \mu^2 = 0, \mu^2 < 0$).

Далее показано, что в пределе масс голдстоуновских частиц, стремящихся к бесконечности, получается нелинейная реализация.

Одна из главных трудностей точных динамических симметрий состоит в том, что массы соответствующих голдстоуновских частиц следует полагать равными нулю. Для устранения этой трудности приходится ввести прямое нарушение симметрии. Такая процедура была проведена в рамках группы $SU(3) \otimes SU(3)$ и показано, что она разумна, поскольку полученное значение параметра c ($c \approx -1,17$) находится в хорошем согласии со значением, указанным Гелл-Манном, Оаксом и Реннером ^{/16/}.

Вторая и третья главы посвящены теории кварков. Основная проблема теории кварков состоит в том, что пропагатор кварка имеет полюса, и, таким образом, он должен рождаться во взаимодействиях. Возникает естественное предположение, что отсутствие кварка в свободном состоянии можно объяснить, если пропагатор кварка окажется целой аналитической функцией. Нами были предложены и рассмотрены две модели, приводящие к тому, что пропагатор кварка может элегантно возникнуть в виде целой аналитической функции.

Во второй главе предложена модель, описывающая частицы (условно называемые кварками) в рамках нелокальной теории поля, предложенной Ефимовым ^{/14/}. Нам удалось построить модель, в которой, во-первых, удовлетворены все аксиомы квантовой теории поля, во-вторых, кварки не рождаются, и, в-третьих, скейлинговое поведение амплитуд инклюзивных процессов проявляется уже в низших порядках теории возмущений.

Лагранжиан взаимодействия, описывающий модель, имеет вид:

$$\mathcal{L}_I(x) = g \pi(x) \bar{q}(x) q(x) + e A(x) \bar{q}(x) q(x) + e A(x) e^+(x) e(x). \quad (1)$$

Здесь $\pi(x)$, $A(x)$ и $e(x)$ - скалярные поля, которые являются аналогами полей сильновзаимодействующих частиц (мезонов и барионов), электромагнитного поля и поля электронов в реальном инклюзивном ($e p$)-рассеянии.

Чтобы получить убывание в низшем порядке теории возмущений, необходимо считать, что поле кварков $q(x)$ состоит из двух фермионных кварков

$$\bar{q}(x) q(x) = \bar{q}_0(x) q_0(x) + \bar{q}_1(x) q_1(x). \quad (2)$$

Предположим, что пропагаторы полей $q_0(x)$ и $q_1(x)$ задаются

$$\begin{aligned} \overline{q_0} q_0 &= V(k^2 \ell^2), \\ \overline{q_1} q_1 &= V^*(k^2 \ell^2), \end{aligned} \quad (3)$$

где $V(k^2 l^2)$ - целая аналитическая функция, но не вещественная.
 Выберем

$$V(k^2 l^2) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{d\xi e^{-\xi^2}}{(\xi - k^2 l^2 - i\epsilon)^a}, \quad (4)$$

где a - параметр теории.

В рамках этой модели мы рассмотрели сечение процесса, соответствующее диаграмме Фейнмана (см. рис. I).

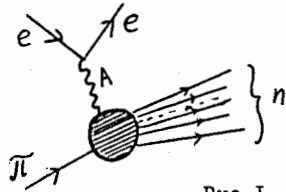


Рис. I

Сечение процесса определяется формулами

$$\frac{d^2\sigma}{dq^2 dv} \sim \frac{1}{[Q^2]^2} \sigma_{tot}(Q^2, w), \quad (5)$$

$$\sigma_{tot}(Q^2, w) = \frac{1}{Q^2} \sum_n F_n(Q^2, w),$$

где

$$pq = m\nu, \quad q^2 = -Q^2 < 0, \quad w = \frac{2m\nu}{Q^2} > 1. \quad (6)$$

- обычные скейлинговые переменные.

В пределе $Q^2 \rightarrow \infty$ и $w \rightarrow 1$, мы получили для $F_n(Q^2, w)$ следующее асимптотическое поведение

$$F_n(Q^2, w) = \frac{\text{const.} (w-1)^{\frac{3n-5}{2}}}{[Q^2]^{2a}}. \quad (7)$$

Скейлинговый предел определяется параметром ℓ , поскольку формула (7) получена при $Q^2 l^2 \gg 1$.

В третьей главе предлагается модель, которая основана на предположении, что кварки не существуют как обычные частицы. Такое предположение можно описать следующим образом:

Предполагается, что кварки являются чисто квантово-полевыми объектами, такими, что в классическом пределе они исчезают, т.е. классическое поле кварков тождественно равно нулю:

$$q_{kl}(x) \equiv 0. \quad (8)$$

Другими словами, это означает, что в лагранжиане, описывающем свободное поле кварков,

$$\mathcal{L} = \bar{q}(x) \not{I}(\hat{p}) q(x), \quad (9)$$

оператор $\not{I}(\hat{p})$ должен быть выбран таким образом, чтобы единственным решением уравнения для невзаимодействующего кварка

$$\not{I}(\hat{p}) q(x) = 0, \quad (10)$$

была функция (3). В то же время мы требуем, чтобы функция Грина поля $q(x)$ была нетривиальной. Естественные требования, накладываемые на вид оператора $Z(\beta)$ в (9), приводят к тому, что он имеет вид:

$$Z(i\hat{\partial}) = e^{P(i\hat{\partial})}, \quad (II)$$

где $P(z)$ - вещественная целая функция. Такая постановка задачи означает, что, в принципе, поле кварка, отсутствуя в свободном состоянии, может быть связано с другими физическими полями и обеспечить их нетривиальное взаимодействие. Нами показано, что такая постановка задачи не имеет решения в рамках методов локальной квантовой теории поля, но решается в нелокальной теории.

Далее мы предполагали, что поля мезонов и барионов взаимодействуют друг с другом только через поля кварков, типа

$$\mathcal{L}_I = f M \bar{q} q + g (\bar{B} q)(\bar{q} q), \quad (I2)$$

где M и B - мезонные и барионные поля соответственно.

Такой подход был применен к изучению массовых формул для октета псевдоскалярных мезонов и барионных октета с декуплетом в рамках нарушенной группы $SU(3)$. Полученные массовые формулы находятся в хорошем согласии с гипотезой Гелл-Манна /15/ об октетной доминантности.

Построенные модели кварков являются первыми шагами к использованию методов нелокальной теории в динамике сильных взаимодействий.

Основные результаты диссертации неоднократно докладывались на семинаре Лаборатории теоретической физики ОИЯИ и кафедры теоретической физики Университета им. М.-А. Коменского (ЧССР), были доложены на Международной конференции по физике высоких энергий в г. Либлице (ЧССР), на Международной школе элементарных частиц в Башко Поле (Югославия) и на XIII Международной конференции в Тбилиси (СССР) и опубликованы в следующих работах:

A. Z. Dubničkova. Journal of Phys. G: Nucl. Phys., 2, 69 (1976).

A. Z. Dubničkova, Czechoslovak Journ. of Phys. B26, 440 (1976).

A. Z. Dubničkova. Nucl. Phys. B76, 169 (1974).

A. Z. Dubničkova, G. V. Efimov, Czechoslovak Journ. Phys. B26, N. 11 (1976).

А. З. Дубничкова, Г. В. Ефимов. ОИЯИ, P2-9611, 1976.

А. З. Дубничкова, Г. В. Ефимов. ОИЯИ, P2-10035, 1976.

Цитированная литература

1. Д.И.Блохинцев. Материалы IV Международного совещания по нелокальным теориям поля, Алушта, 1976, Д2-9788, Дубна, 1976.
2. J.Goldstone, *Nuovo Cimento* 19, 154 (1961).
J.Goldstone, A.Salam and S.Weinberg. *Phys.Rev.* 127, 965 (1962).
3. Н.Н.Боголюбов, В.В.Толмачев, Д.В.Ширков. Новый метод в теории сверхпроводимости, Изд-во АН СССР, Москва, 1958.
4. В.В.Лее, Е.Аберс. *Physics Reports*, 9С, N.1,1 (1973).
5. Д.В.Волков. *ЭЧАЯ* 4, 3 (1973).
6. С.Адлер, Р.Дашен. Алгебры токов и их применение в физике частиц, Изд-во "Мир", Москва (1970).
7. J.Bjorken. *Phys.Rev.* 179, 1547 (1969).
8. G.G.Callan, Jr. and D.J.Gross. *Phys.Rev.Lett.* 22, 156 (1969).
9. P.Langacker and H.Pagels. *Phys.Rev.* D9, 3413 (1974).
10. S.D.Drell, D.J.Levy, T.M.Yan. *Phys.Rev.Lett.* 22, 744 (1969);
Phys.Rev. 187, 2159 (1969); *Phys.Rev.* D1, 1035 (1970);
D1, 1617 (1970).
11. Г.В.Ефимов, Е.СН.А.Жа., *Atomizdat*, v.1, N.1, (1970) 256.
12. Н.Н.Боголюбов, В.С.Владимиров, А.Н.Тавхелидзе. *ТМФ* 12, 305 (1972).
13. Р.П.Фейнман. "Взаимодействие фотонов с адронами", Мир, Москва, (1975).
14. Г.В.Ефимов. ОИЯИ, Д2-9788, Дубна, 1976.

15. M.Gell-Mann, Y.Neeman, *The Eightfold Way*, W.A.Benjamin (1964), p.7.
16. M.Gell-Mann, R.Oakes and B.Renner, *Phys.Rev.* 175, 2195 (1968).
17. В.И.Огиевецкий, Сборник, посвященный 75-летию со дня рождения академика И.Е.Тамма (Наука, Москва, 1972).
18. V.I.Ogievetsky, *Proceedings of X-th Winter school of Theor. Phys. in Karpoz*, v.1, p.117, Wroclaw (1974).

Рукопись поступила в издательский отдел
29 октября 1976 года.