

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**УДК 530.145**

---

0-741

2-85-1

**ОСИПОВ**

**Александр Андреевич**

**НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА МЕЗОНОВ  
В КВАРКОВОЙ МОДЕЛИ  
СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО ТИПА**

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

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

Дубна 1985

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики и Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:

доктор физико-математических наук  
старший научный сотрудник

М. К. Волков

доктор физико-математических наук  
старший научный сотрудник

П. С. Исаев

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук  
профессор

В. В. Серебряков

доктор физико-математических наук  
профессор

О. А. Хрусталеv

Ведущее научно-исследовательское учреждение:  
Институт физики высоких энергий, Протвино.

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. Дуравлев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Несмотря на определенные успехи в описании физики высоких энергий, использование квантовой хромодинамики (КХД) в области низких энергий сталкивается с принципиальными трудностями. Это связано, в частности, с неприменимостью теории возмущений по хромодинамической константе связи  $\propto \alpha_{\text{КХД}}$ , которая в данной области перестает быть малой величиной. В результате, для описания низкоэнергетической физики мезонов приходится предлагать другие модели.

Представление о мезонах как составных двухкварковых системах лежит в основе кварковой модели сверхпроводящего типа. Модель позволяет ответить на вопрос, каким образом легкие токовые кварки, фигурирующие в лагранжиане КХД, приобретают довольно большие массы и становятся тяжелыми составляющими кварками, из которых формируются мезоны. Рассматривая только расходящиеся однопетлевые кварковые диаграммы с внешними мезонными концами, удается получить хорошо известный лагранжиан линейной сигма-модели, прийти к теории типа Янга-Миллса для векторных и аксиально-векторных мезонов и картине векторной доминантности для электромагнитных взаимодействий. Тем самым удается выяснить глубокую внутреннюю связь между феноменологическими мезонными лагранжианами, выводимыми ранее с различных независимых позиций.

Дополнительную информацию о внутренней структуре адронов и свойствах сильных взаимодействий (параметры наклона, электромагнитные радиусы, длины рассеяния и т.п.) можно получить, если рассмотреть конечные члены кварковых петлевых диаграмм, так называемые  $q^2$ -члены. Кроме того, учитывая неравенство масс странних и нестранных кварков в соответствующих мезонных вершинах, можно исследовать эффекты, связанные с отклонением от точной  $U(3)$ -симметрии феноменологических лагранжианов.

Таким образом, кварковая модель сверхпроводящего типа позволяет на единой основе с использованием небольшого числа произвольных параметров описать свойства пяти мезонных нонетов.

### Цель работы

- Описание отклонений от случая точной  $U(3)$ - симметрии феноменологических мезонных лагранжианов за счет учета неравенства масс странных и нестранных кварков.

- Описание пятого аксиально-векторного  $I^{+-}$  мезонного нонета.

- Вычисление длин рассеяния и параметров эффективной области пион-пионной и пион-каонной систем.

- Вычисление электрических и магнитных поляризуемостей пионов и каонов.

### Научная новизна и практическая ценность работы

Впервые при получении мезонных лагранжианов кварковой модели сверхпроводящего типа последовательно учитывается неравенство масс странных и нестранных кварков в выражениях для эффективных констант связи, что позволяет исследовать эффекты, связанные с нарушением  $U(3)$  - симметрии в процессах с участием странных частиц.

Впервые в кварковой модели сверхпроводящего типа получены лагранжианы, описывающие свойства аксиально-векторных  $I^{+-}$  мезонов. Изучены основные моды сильных и радиационных распадов этих частиц.

Впервые в кварковой модели сверхпроводящего типа вычислены амплитуды для процессов упругого пион-пионного и пион-каонного рассеяния и получены выражения для длин рассеяния и параметров эффективной области этих систем.

Впервые в кварковой модели сверхпроводящего типа вычислены электрические и магнитные поляризуемости каонов. Для поляризуемостей пионов получены более тщательные оценки, в которых дополнительно учтены вклады векторных и аксиально-векторных мезонов и  $q^2$ - члены.

### Для защиты выдвигаются следующие основные результаты, полученные в диссертации

1. Получены феноменологические мезонные лагранжианы для случая нарушенной  $U(3)$  - симметрии.

2. Рассмотрены различные процессы с участием странных частиц и показано, что выход за рамки предсказаний точной  $U(3)$  - симметрии улучшает согласие расчетных данных с экспериментальными.

3. Рассмотрен новый тип четырехфермионной вершины - аксиально-векторное четырехкварковое взаимодействие с производной, что дало возможность описать свойства пятого мезонного  $I^{+-}$  нонета.

4. Вычислены ширины сильных и радиационных распадов аксиально-векторных мезонов.

5. Рассмотрены процессы упругого пион-пионного и пион-каонного рассеяния. Вычислены длины рассеяния и параметры эффективной области. Выяснена важная роль учета форм-факторов в феноменологических мезонных вершинах.

6. Вычислены поляризуемости пионов и каонов.

### Апробация диссертации

Результаты, полученные в диссертации, докладывались и обсуждались на семинарах Лаборатории теоретической физики и Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований, на Сессии Отделения ядерной физики АН СССР (Москва, 1983 г.), были представлены на Международной конференции "Структура адронов-83" (Чехословакия, Братислава, 1983 г.), на XIII Международной конференции по физике высоких энергий (ГДР, Лейпциг, 1984 г.), на VII Международном совещании по нелокальным теориям поля (СССР, Алушта, 1984 г.), на Всесоюзном семинаре "Кварки-84" (Тбилиси, 1984 г.) и на VII Семинаре по физике высоких энергий и теории поля (Протвино, 1984 г.).

### Публикации

По результатам диссертации опубликовано десять работ.

### Объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и двух приложений. Содержит 102 страницы машинописного текста, 19 рисунков, 6 таблиц. Библиографический список литературы включает 80 ссылок и 93 наименования.

### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дан обзор современного состояния моделей с четырехфермионными взаимодействиями. Отмечены общие принципы построения мезонных лагранжианов. Кратко изложено содержание диссертации.

Глава I посвящена рассмотрению кварковой модели сверхпроводящего типа с нарушенной  $U(3)$  - симметрией. Во введении (§ I) кратко обсуждается основное содержание главы.

В § 2 приведен исходный лагранжиан модели, подробно обсуждается используемая регуляризация, вычисляются константы перенормировки для векторных и псевдоскалярных полей. Рассмотрены соответствующие

массовые формулы. Сделана оценка отношений  $F_K/E_\pi$ ,  $F_{K^*}/E_\pi$ .

В § 3 в качестве иллюстрации полученных формул вычислены ширины распадов векторных мезонов  $\rho \rightarrow KK$  и  $K^* \rightarrow K\pi$ . Здесь подробно показана техника таких расчетов в кварковой модели сверхпроводящего типа.

В § 4 рассмотрены нонеты-скалярных и аксиально-векторных мезонов. Получены выражения для констант перенормировки полей этих нонетов, а также массовые формулы.

В § 5 обсуждаются основные результаты главы.

Глава II посвящена изучению сильных взаимодействий псевдоскалярных мезонов, а именно упругому пион-пионному и пион-каонному рассеянию. Во введении (§ I) кратко обсуждается основное содержание главы.

В § 2 получена амплитуда пион-пионного рассеяния. Вычисляются вклады только древесных по полям мезонов диаграмм, что соответствует первому шагу в  $1/N_c$  разложении для КХД в области низких энергий. Сильные мезонные вершины определяются из расчетов треугольных и четырехугольных кварковых однопетлевых диаграмм. Аргументируется введение формфакторов и определяется их явный вид. Показано, каким образом наши результаты переходят в хорошо известные оценки С.Вайнберга, основывающиеся на коммутационных соотношениях алгебры токов и гипотезе PCAC.

В § 3 вычислены низкоэнергетические характеристики пион-пионной системы — парциальные длины рассеяния и параметры эффективной области. Подробно обсуждается величина разности  $2a_0^+ - 5a_0^+$ , которая сравнивается с известным результатом С.Вайнберга. Результаты расчетов приведены в таблице.

В § 4 аналогичным образом рассмотрено упругое пион-каонное рассеяние. Получены соответствующие лагранжианы и вычислены амплитуды рассеяния. Этот случай требует тщательного учета неравенства масс странных и нестранных кварков. Сделаны оценки длин рассеяния и параметров эффективной области.

Основные результаты главы собраны в § 5.

Глава III посвящена исследованию распадов аксиально-векторных  $\Gamma^{++}$  и  $\Gamma^{+-}$  мезонов. Во введении (§ I) кратко обсуждается основное содержание главы.

В § 2 для описания нонета  $\Gamma^{+-}$  мезонов ( $B_{\mu}^{\alpha}$ ) в исходный лагранжиан модели вводится новое аксиально-векторное четырехфермионное

взаимодействие с производной. Получен лагранжиан, описывающий свободное поле  $B_{\mu}^{\alpha}$ , и вычислены константы перенормировки  $g_B$ . Определена ширина распада  $B(1235) \rightarrow \omega\pi$ .

В § 3 приведены лагранжианы, которые используются для изучения сильных распадов аксиально-векторных мезонов. Странные  $Q_1$  (I280) и  $Q_2$  (I400) мезоны рассматриваются как суперпозиции  $Q_A$  и  $Q_B$  состояний, являющихся членами  $\Gamma^{++}$  и  $\Gamma^{+-}$  нонетов ( $I = 1/2$ ) соответственно. Из совокупности распадов этих мезонов определяется угол смешивания  $\varphi$ .

В § 4 изучаются радиационные распады аксиально-векторных мезонов. Включение электромагнитных взаимодействий в рассматриваемую модель, как известно, приводит к картине векторной доминантности. Таким образом, здесь в качестве блоков используются те же диаграммы, что и при расчетах сильных распадов. Получаемые таким образом амплитуды градиентно-инвариантны, а величины соответствующих констант связи определяются моделью. Предсказаны ширины радиационных распадов аксиально-векторных мезонов. Эти процессы экспериментально изучены плохо. Интересно отметить, что совсем недавно (1984 г.) было получено первое экспериментальное значение — величина ширины распада  $A_1^+ \rightarrow \pi^+\gamma$ , подтверждающее предсказание модели (1983 г.)<sup>/6/</sup>.

В заключении (§ 5) обсуждаются основные результаты, полученные в этой главе.

Глава IV посвящена вычислениям электрических ( $\alpha$ ) и магнитных ( $\beta$ ) поляризуемостей пионов и каонов. Во введении (§ I) излагается краткое содержание главы и подчеркивается актуальность данной задачи.

В § 2 обсуждаются лагранжианы, которые в дальнейшем используются для получения амплитуды комптон-эффекта. Вычисляются ширины двухфотонных распадов  $\rho \rightarrow \gamma\gamma$ ,  $S^* \rightarrow \gamma\gamma$  и  $\delta^0 \rightarrow \gamma\gamma$  скалярных мезонов и радиационных распадов векторных мезонов  $\rho \rightarrow \pi\gamma$ ,  $\omega \rightarrow \pi\gamma$ ,  $K^* \rightarrow K\gamma$ .

В § 3 рассчитываются поляризуемости пионов. Здесь учитываются вклады четырехугольных кварковых диаграмм и диаграммы с промежуточными скалярными, векторными и аксиально-векторными мезонами. Для вкладов четырехугольных диаграмм и диаграмм со скалярными мезонами рассмотрен переход к нелинейной киральной теории. Учет диаграмм с векторными и аксиально-векторными мезонами позволяет проследить такой тонкий эффект, как отличие от нуля суммы ( $\alpha + \beta$ ).

В § 4 аналогичным образом вычислены поляризуемости каонов.

В заключительном пятом параграфе обсуждаются сделанные приближения.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертации.

В приложении I приведены выражения для длин рассеяния и параметров эффективной области пион-пионной системы.

В приложении 2 приведены лагранжианы для процессов распада  $A \rightarrow V\varphi$  и  $B \rightarrow V\varphi$ .

Результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Волков М.К., Осипов А.А. Длины рассеяния  $\pi K$ -системы в киральной теории поля. Сообщение ОИЯИ, P2-II716, Дубна, 1978.
2. Волков М.К., Осипов А.А. Изучение  $\pi K$ -системы в однопетлевом приближении киральной теории поля. Сообщение ОИЯИ, P2-81-416, Дубна, 1981.
3. Осипов А.А. Описание  $\pi K$ -системы с учетом барионных и кварковых петель. Ядерная физика, 1981, том 34, вып. 6, стр. 1559-1565.
4. Волков М.К., Осипов А.А. Длины  $\pi\pi$ -рассеяния. Ядерная физика, 1984, том 39, вып. 3, стр. 694-698; ОИЯИ, E2-83-177, Дубна, 1983.
5. Волков М.К., Осипов А.А. Длины  $\pi K$ -рассеяния. Сообщение ОИЯИ, P2-83-490, Дубна, 1983.
6. Volkov M.K., Osipov A.A. The Electromagnetic Interactions of Mesons in the Superconductor Quark Model. Communication JINR, E2-83-921, Dubna, 1983.  
Волков М.К., Осипов А.А. Электромагнитные взаимодействия мезонов в кварковой модели сверхпроводящего типа. Сообщение ОИЯИ, E2-83-921, Дубна, 1983.
7. Волков М.К., Осипов А.А. Распады  $\rho$ ,  $\eta$ ,  $\eta'$ ,  $\omega_1$  и  $\omega_2$  мезонов в кварковой модели сверхпроводящего типа. Ядерная физика, 1985, том 41, вып. 2; ОИЯИ, E2-84-298, Дубна, 1984.
8. Волков М.К., Осипов А.А. Поляризуемости пионов и каонов в кварковой модели сверхпроводящего типа. Ядерная физика, 1985, том 41, вып. 3.
9. Исаев П.С., Осипов А.А. Параметры наклона  $\pi\pi$ -системы. Сообщение ОИЯИ, P2-84-646, Дубна, 1984.
10. Волков М.К., Осипов А.А. Распады аксиально-векторных мезонов из нонетов  $G^{++}$  и  $G^{+-}$ . Труды VII Семинара по физике высоких энергий и теории поля, 1984, Протвино.

Рукопись поступила в издательский отдел  
2 января 1985 года.