

Л-157

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На правах рукописи

2-93-379

ЛАДЫГИНА
Надежда Борисовна

УДК 530.145

**СЛАБЫЕ РАСПАДЫ К-МЕЗОНОВ
И ТЯЖЕЛЫХ БАРИОНОВ
В МОДЕЛИ КОНФАЙНМИРОВАННЫХ КВАРКОВ**

Специальность: 01.04.02 — теоретическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1993

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова Объединенного института ядерных исследований

Научные руководители:

доктор физико-математических наук
кандидат физико-математических наук

М.А. Иванов
В.Е. Любовицкий

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
доктор физико-математических наук

Р.Н. Фаустов
В.Ю. Новожилов

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Институт Ядерных Исследований РАН (г.Москва)

Защита диссертации состоится "1" 12 1993 г. на заседании Специализированного совета К 047.01.01 Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова Объединенного института ядерных исследований,
г. Дубна, Московская область.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан "1" 11 1993 г.

Ученый секретарь Совета,
доктор физико-математических наук

А.Е. Дорохов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

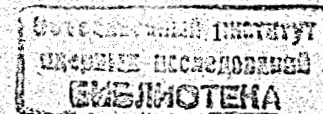
Актуальность темы. Исследование слабых распадов адронов интересно прежде всего своей уникальностью в определении параметров стандартной модели, нахождении элементов матрицы Кабиббо-Кабаяши-Маскава. Кроме того, эти процессы выступают как дополнительный источник информации о внутренней структуре адронов, о явлениях, лежащих вне рамок стандартной модели.

В данной работе рассмотрены слабые полупетонные распады с участием как легких адронов, содержащих только u, d, s кварки, так и тяжелых барионов, в состав которых наряду с легкими кварками входят и тяжелые (b, c) кварки.

В последнее время возрос интерес к исследованию редких распадов K - мезонов. Как известно, характерной особенностью этих процессов является наличие CP - неинвариантных мод распадов. Значительные усилия направлены на экспериментальные исследования редких каонных распадов. Впервые в ЦЕРНе измерено отношение параметров нарушения CP - четности ϵ'/ϵ . На современных ускорителях BNL, FNAL, TRIUMF, KEK проводились исследования редких полупетонных распадов: $K_L \rightarrow \pi \ell^+ \ell^-$, $K_L \rightarrow \pi \nu \bar{\nu}$ и т.д.

Теоретическое исследование этих процессов было стимулировано введением CP - неинвариантного лагранжиана слабых взаимодействий. Этот лагранжиан был предложен Гилманом и Вайзе. В отличие от лагранжиана Вайнштейна-Шифмана-Захарова, положенного в его основу, этот лагранжиан содержит вклады тяжелых кварков и учитывает нарушение CP - инвариантности. Кроме того, лагранжиан Гилмана-Вайзе включает в себя дополнительный оператор-электромагнитный "пингвин", дающий существенный вклад в CP - неинвариантные моды слабых распадов.

В последнее время большое внимание уделяется физике тяжелых адронов. С одной стороны, это связано с новыми возможностями экспериментальных исследований в этой области энергий. В частности, были измерены отношения ширин для полупетон-



ных распадов $B \rightarrow D e \nu$, $B \rightarrow D^* e \nu$ (ARGUS, CLEO), $D \rightarrow K e \nu$ и $D \rightarrow K^* e \nu$ и т.д. Если до сих пор исследования распадов тяжелых барионов ограничивались изучением только очарованных частиц, то сейчас ставятся эксперименты, в которых изучаются распады прелестных барионов. Так в ЦЕРНе впервые наблюдался Λ_b барион в распаде $\Lambda_b \rightarrow \Lambda J/\Psi$: были получены значения для массы Λ_b и относительная вероятность этого распада. Группой ALEPH на LEP были измерены вероятности полуплептонных распадов Λ_b : $\Lambda_b \rightarrow \Lambda X e \nu$, $\Lambda_b \rightarrow \Lambda X \mu \nu$.

С другой стороны, всплеск интереса к исследованиям в области тяжелых адронов связан с новыми теоретическими идеями, ключевым стержнем которых явилось открытие нового вида симметрии КХД: спин-флейворной симметрии тяжелых кварков, которая проявляется в адронных системах, состоящих из легких и тяжелых кварков. В соответствии с этой симметрией тяжелый кварк проявляет себя как статический источник хромагнитного поля. Волновая функция в пределе Изгура-Вайзе (масса тяжелого кварка считается бесконечно большой) не зависит от массы тяжелого кварка. Следовательно, имеет место $b \leftrightarrow c$ флейворная $SU(2)$ симметрия. Вторая сторона симметрии Изгура-Вайзе состоит в независимости динамики легких степеней свободы от ориентации спина тяжелого кварка. Таким образом, оператор спина тяжелого кварка является генератором $SU(2)$ -группы. Тем самым проявляется спиновая $SU(2)$ -симметрия.

В рамках эффективной теории тяжелых кварков было показано, что полуплептонные распады мезонов, содержащих тяжелый кварк как в начальном, так и в конечном состояниях, описываются универсальной функцией $\xi(w)$, зависящей лишь от скалярного произведения скоростей начального (v) и конечного (v') адронов: $w = v \cdot v'$. Эта функция была вычислена в различных подходах: правилах сумм КХД, релятивистской осцилляторной модели, модели конфаймированных кварков.

С теоретической точки зрения, основная трудность в изучении слабых адронных распадов состоит в описании вклада сильных взаимодействий. В области высоких энергий, сильные взаимо-

действия успешно описываются КХД. Благодаря свойству асимптотической свободы, для вычисления амплитуд распадов в этой области становится возможным применение теории возмущений, которая лежит в основе математического аппарата КХД. Однако, в области низких и промежуточных энергий бегущая константа связи становится большой, и теория возмущений уже не применима.

На протяжении ряда лет в ЛТФ ОИЯИ разрабатывалась модель конфаймированных кварков (МКК). МКК-релятивистская кварковая модель, основанная на определенном механизме адронизации и конфайнмента легких кварков, который связан со сложной структурой КХД-вакуума. Сильные, слабые и электромагнитные взаимодействия адронов (как мезонов, так и барионов) описываются в МКК с единой точки зрения.

Целью работы является изучение слабых распадов К-мезонов и тяжелых барионов в рамках модели конфаймированных кварков, а именно:

1) исследование редких полуплептонных распадов $K_{L(S)}^0 \rightarrow \pi^0 \ell^+ \ell^-$:

- вычисление формфакторов и парциальных шрин этих процессов;
- анализ вкладов в амплитуду распада $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \ell^+ \ell^-$ "direct" и "indirect" CP-неинвариантных мод, а также
- вычисление CP-инвариантного и CP-неинвариантного вкладов в матричный элемент процесса $K_S^0 \rightarrow \pi^0 \ell^+ \ell^-$;

2) изучение полуплептонных распадов тяжелых барионов, содержащих в конечном состоянии как тяжелые, так и легкие кварки:

- вычисление формфакторов этих распадов;
- исследование их поведения в пределе Изгура-Вайзе;
- вычисление $1/m_Q$ -поправок к лидирующему порядку асимптотического разложения амплитуды распада и проверка выполнения теоремы Адемолло-Гатто в распадах барионов, идущих с изменением флейвора тяжелого кварка $b \rightarrow c$;

- вычисление дифференциальных распределений $d\Gamma/dq^2$ и лептонных спектров $d\Gamma/dE_\ell$, парциальных шприн полулептонных распадов барионов с переходом $b \rightarrow c$, $b \rightarrow u$, $c \rightarrow s$ и $c \rightarrow d$.

Научная новизна и ценность работы.

В данной работе впервые в рамках Модели конфайнированных кварков исследуется физика барионов, содержащих один тяжелый кварк. Предлагается рассматривать тяжелый барион как систему, состоящую из легкого дикварка и тяжелого кварка, слабо связанного с легкими степенями свободы и выступающего как свободная Ферми-частица. В рамках данного подхода впервые вычислена универсальная модельно-независимая функция $\Phi(w = v \cdot v')$, определяющая все форм-факторы полулептонных распадов тяжелых барионов с изменением флэйвора $b \rightarrow c$ в приближении большой массы тяжелого кварка ($m_Q \rightarrow \infty$).

Апробация работы. Результаты, представленные в диссертации, неоднократно обсуждались на семинаре "Структура адронов" Лаборатории теоретической физики ОИЯИ, докладывались на международных конференциях "Барион-92" (США), "Слабые и электромагнитные взаимодействия ядер" (WEIN, 1992, Дубна)

Публикации. Результаты, полученные в диссертации, опубликованы в четырех печатных работах.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, двух приложений и списка литературы. Объем диссертации - 101 страница машинописного текста, 23 рисунка, 16 таблиц. Библиография содержит 75 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель работы и кратко изложено содержание диссертации.

В первой главе диссертации кратко изложены основные положения модели конфайнированных кварков. Приводятся лагранжианы кварк-адронных взаимодействий для двухкварковых, мезонных, и трехкварковых, барионных, состояний. Рассматрива-

ется условие связности адронов с кварками. Обсуждается гипотеза конфайнмента легких кварков. В соответствии с симметрией Изгура-Вайзе тяжелый кварк описывается как свободная ферми-частица. Второй раздел главы посвящен формулировке кварк-дикварковой аппроксимации трехкварковой структуры барионов. В третьем разделе обсуждается выбор свободных параметров модели: функций конфайнмента и размерного параметра Λq , характеризующего размер области конфайнмента легкого кварка.

Во второй главе исследуются редкие распады К-мезонов: $K_{L(S)} \rightarrow \pi^0 \ell^+ \ell^-$, идущие с нарушением CP-инвариантности. Вычисления проводятся с помощью лагранжиана слабых взаимодействий Гилмана-Вайзе. Для распада $K_L \rightarrow \pi^0 \ell^+ \ell^-$ рассмотрены две CP-нарушающие моды: "прямое" и "непрямое" CP-нарушение. Показано, что обе эти моды дают существенный вклад в парциальную ширину процесса. Распад $K_S^+ \rightarrow \pi^0 \ell^+ \ell^-$ идет как с нарушением CP-четности, так и без CP-нарушения. Причем, как показано в этой главе, вклад CP-неинвариантной моды пренебрежимо мал по сравнению с CP-инвариантной модой распада.

Третья и четвертая главы диссертации посвящены физике тяжелых барионов.

В третьей главе изучаются полулептонные распады барионов, содержащих тяжелые кварки как в начальном, так и в конечном состояниях. Получены точные выражения для формфакторов этих распадов. Рассмотрен предел бесконечно больших масс тяжелых кварков. Показано, что в этом пределе формфакторы удовлетворяют соотношениям, полученным в рамках эффективной теории тяжелых кварков, являются модельно независимыми и определяются единственной функцией $\Phi(w)$. Вычислены точные и предельные значения парциальных ширин этих распадов. Показано, что предел Изгура-Вайзе достаточно точно описывает полулептонные распады тяжелых барионов, идущих с изменением флэйвора $b \rightarrow c$. В четвертом разделе данной главы вычисляются $1/m_Q$ -поправки к лидирующему порядку асимптотического разложения. Показано, что имеет место выполнение теоремы Адемолло-Гатто.

В четвертой главе рассмотрены полулептонные распады ба-

рионов с переходом тяжелого кварка в легкий: $b \rightarrow u$, $c \rightarrow s$ и $c \rightarrow d$ переходы. Получены точные выражения для формфакторов данных распадов, рассмотрен предел больших масс тяжелых кварков, вычислены значения парциальных ширин, построены дифференциальные $d\Gamma/dq^2$ и лептонные $d\Gamma/dE_\ell$ спектры.

Все результаты, полученные в третьей и четвертой главах, приведены в сравнении с результатами, полученными в других подходах: в эффективной теории тяжелых кварков, модели спектровных кварков, модели свободных кварков.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

В приложениях демонстрируется техника вычислений в рамках МКК.

Основные результаты диссертации, выдвигаемые на защиту

1) дан анализ редких распадов $K_{L(S)} \rightarrow \pi \ell^+ \ell^-$:

- вычислены слабые формфакторы и парциальные ширины этих распадов;
- показано, что в амплитуду распада $K_L \rightarrow \pi \ell^+ \ell^-$, идущего с нарушением CP-инвариантности, дают вклад как "direct", так и "indirect" CP-неинвариантные моды распада;
- вклад CP-неинвариантного канала $K_S \rightarrow \pi \ell^+ \ell^-$ распада пренебрежимо мал по сравнению с CP-инвариантным каналом этого процесса;

2) рассмотрены полуплептонные распады барионов, содержащих тяжелые кварки:

- получены точные выражения для формфакторов этих распадов;
- вычислены парциальные ширины и построены дифференциальные распределения $d\Gamma/dq^2$ и лептонные спектры $d\Gamma/dE_\ell$;

3) рассмотрен предел больших масс тяжелых кварков:

- получена модельно независимая функция $\Phi(w)$, через которую выражаются все формфакторы данного распада;
- показано, что в пределе Изгура-Вайзе достаточно точно описываются процессы перехода из одного тяжелого состояния в другое ($b \rightarrow c$ переход);

4) для процессов, идущих с изменением флэйвора $b \rightarrow c$, вычислены $1/m_Q$ -поправки к лидирующему порядку асимптотического разложения матричного элемента; показано, что выполняется теорема Адемолло-Гатто.

Результаты диссертации опубликованы в работах

[1] Efimov G.V., Ivanov M.A., Kulimanova N.B., Lyubovitskij V.E. Rare kaon decays $K_{L(S)}^0 \rightarrow \pi^0 \ell^+ \ell^-$ in the quark confinement model.- Z.Phys.C, 1991, V.52, No.1, pp.129- 135

[2] Efimov G.V., Ivanov M.A., Kulimanova N.B., Lyubovitskij V.E. $b \rightarrow c$ flavour changing decays of baryons containing a single heavy quark.- Z.Phys.C, 1992, V.54, No.4, pp.349-356

[3] Efimov G.V., Ivanov M.A., Kulimanova N.B., Lyubovitskij V.E. Semileptonic heavy- to- light decays of baryons.- JINR preprint, E2-92-106, 1992, p.24, Dubna

[4] Ivanov M.A., Kulimanova N.B., Lyubovitskij V.E. Weak form factors of beauty baryons.- JINR preprint, E2-92-437, 1992, p.24, Dubna

Рукопись поступила в издательский отдел
27 октября 1993 года.