

X-768

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На правах рукописи

2-93-138

ХОМУТЕНКО
Олег Эдуардович

УДК 530.145

**ФОРМФАКТОРЫ СЛАБЫХ РАСПАДОВ
ТЯЖЕЛЫХ МЕЗОНОВ
В ПРЕДЕЛЕ БОЛЬШИХ МАСС 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 Г.В. Ефимов
доктор физико-математических наук М.А. Иванов

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук А.В.Ефремов
доктор физико-математических наук Р.Н.Фаустов

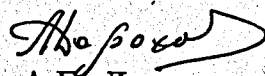
Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Институт физики высоких энергий (г. Протвино)

Защита диссертации состоится " " _____ 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 " " _____ 1993 г.

Ученый секретарь Совета,
доктор физико-математических наук


А.Е. Дорохов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время на всех крупнейших ускорителях последнего поколения (CESR, DESY, SLAC, LEP) интенсивно ведутся эксперименты с В- и D-мезонами, содержащими наиболее тяжелые из известных сейчас кварков. Эти эксперименты проходят по следующим направлениям:

- поиск новых явлений, не описываемых стандартной моделью,
- определение параметров стандартной модели,
- изучение сильных взаимодействий.

Последние два вопроса (об определении параметров стандартной модели и о сильных взаимодействиях) связаны между собой следующим образом. Слабые распады тяжелых мезонов являются основным источником информации об элементах V_{cb} , V_{cu} , V_{cs} и V_{cd} матрицы кваркового смешивания Кабиббо-Кобаяши-Маскава (ККМ). В таких распадах эффекты сильных взаимодействий могут быть отделены от эффектов слабых взаимодействий и сосредоточены в формфакторах, определяющих адронные матричные элементы слабых кварковых токов. Измеряемые экспериментально ширины и лептонные спектры являются произведением квадрата соответствующего элемента матрицы ККМ на интеграл по фазовому пространству продуктов распада от квадратов формфакторов. Поэтому, для определения из экспериментальных данных величин элементов матрицы кваркового смешивания, необ-

ходимо знание формфакторов, как функций переданных в процессе импульсов, т.е. знание динамики сильных взаимодействий тяжелых мезонов. Основной теоретической проблемой здесь является непертурбативное вычисление адронных матричных элементов слабых кварковых токов.

В настоящее время на роль стандартной теории сильных взаимодействий претендует квантовая хромодинамика (КХД). Для вычисления адронных матричных элементов кварковых токов необходимо знание динамики таких явлений как адронизация и конфайнмент, происходящих на больших расстояниях (порядка размера адронов). Однако, теория возмущений, являющаяся основным расчетным методом в квантовой теории поля, неприменима в КХД для описания динамики процессов, происходящих на больших расстояниях, так как с увеличением расстояния (уменьшением характерных импульсов) эффективная константа связи растет. Поскольку проблемы адронизации и конфайнмента еще не нашли своего решения в КХД, большое значение имеет разработка моделей и методов, отличных от теории возмущений и позволяющих описывать динамику сильных взаимодействий на больших расстояниях.

Для непертурбативного описания физики легких мезонов Ефимовым и Ивановым была сформулирована Модель Конфайнированных Кварков (МКК) — релятивистская кварковая модель с конфайнментом, — которая основывается на следующих предположениях. Адроны, как бесцветные состояния, появляются в виде коллективных возбуждений в кварк-глюонных взаимодействиях.

Адрон-адронные взаимодействия описываются соответствующими кварковыми диаграммами, усредненными по глюонным вакуумным полям. Предполагается, что такое усреднение обеспечивает отсутствие конститuentных кварков как физических частиц в наблюдаемом спектре. Тот факт, что мезоны являются связанными состояниями пары кварк-антикварк, учитывается с помощью так называемого условия связности в квантовой теории поля, означающего равенство нулю константы перенормировки волновых функций мезонов. В рамках МКК рассмотрен широкий круг эффектов низкоэнергетической физики легких мезонов. Полученные результаты находятся в хорошем согласии с экспериментальными данными и результатами других подходов. Однако, рассмотрение физики тяжелых мезонов в МКК не представляется возможным без модификации этой модели.

В последние годы имеется значительный прогресс в описании полупертоновых распадов В-мезонов в D- и D*-мезоны. Этот прогресс связан с результатами, полученными в работах Изгура и Вайза. В этих работах переход к формальному пределу бесконечной массы тяжелых кварков ведет к появлению новой симметрии сильных взаимодействий, и динамика полупертоновых распадов сильно упрощается. В этом пределе тяжелый кварк становится статическим источником хромоманнитного поля. И как следствие этого, ни аромат, ни ориентация спина тяжелого кварка не влияют на его взаимодействие с легкими кварками. Основным эффектом, обусловленным этой спин-флейворной симметрией,

получившей название симметрии Изгура-Вайза, является то, что все формфакторы полулептонных распадов рассматриваемого типа определяются одной и той же универсальной функцией скалярного произведения 4-скоростей начального и конечного адронов $\xi(v \cdot v')$. Существенно, что этот результат модельно независим. Однако, симметрия Изгура-Вайза фиксирует значение $\xi(v \cdot v')$ только в одной точке: $\xi(1) = 1$. Определение же явного вида функции Изгура-Вайза в других кинематических областях может быть проведено только в различных моделях.

Целью работы является формулировка релятивистского квантово-полевого подхода для описания на единой основе динамики сильных и электрослабых взаимодействий тяжелых мезонов. В качестве отправной точки используются идеи, положенные в основу МКК. Целями диссертации также являются:

- определение соотношений между константами лептонных распадов тяжелых псевдоскалярных мезонов;
- исследование массовых асимптотик формфакторов полулептонных распадов тяжелых псевдоскалярных мезонов;
- вычисление функции Изгура-Вайза;
- предсказание парциальных ширин, электронных спектров и поляризационных эффектов в полулептонных распадах тяжелых псевдоскалярных мезонов.

Научная новизна и ценность работы.

Сформулирован релятивистский квантово-полевой подход с конфайнментом к описанию связанных состояний, состоящих из одного тяжелого и одного легкого кварков. Предлагаемый подход, основанный на идеях МКК, дал возможность описать единым образом динамику сильных и электрослабых взаимодействий тяжелых мезонов в их полулептонных распадах в конечные состояния, состоящие как из тяжелых, так и из легких кварков. Развита техника вычислений адронных матричных элементов слабых кварковых токов. Применение этой техники к распадам $B \rightarrow D(D^*)\nu e$ позволяет вычислить универсальную функцию Изгура-Вайза $\xi(v \cdot v')$. Для полулептонных распадов тяжелых мезонов в легкие псевдоскалярный и векторный мезоны впервые получены массовые асимптотики формфакторов.

Апробация работы. Результаты, представленные в диссертации, неоднократно обсуждались на семинаре "Кварковая структура адронов" Лаборатории теоретической физики ОИЯИ и докладывались на семинаре Института теоретической физики Неапольского университета, IX Международном совещании по проблемам квантовой теории поля (Дубна, май 1990 г.), X и XI Международном семинаре по проблемам физики высоких энергий "Релятивистская ядерная физика и квантовая хромодинамика" (Дубна, сентябрь 1990 и 1992 гг.), Международном трехстороннем рабочем совещании ОИЯИ-ЦЕРН-ИФВЭ по проблемам стандартной модели (Дубна, октябрь 1990 г.).

Публикации. Результаты, полученные в диссертации

ции, опубликованы в пяти печатных работах.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, двух приложений и списка литературы. Объем диссертации — 87 страниц машинописного текста, 18 рисунков, 4 таблицы. Библиография содержит 80 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

Первая глава посвящена формулировке подхода. В первом разделе обсуждаются используемые лагранжианы взаимодействий и условие связности. Во втором разделе кратко изложены основные положения МКК. В третьем разделе предложен анзац для вычисления петель, содержащих тяжелую кварковую линию. Он состоит в использовании для тяжелого кварка пропатора свободного фермиона. Развита техника вычислений адронных матричных элементов кварковых токов. Для иллюстрации вычислительной техники приведено получение констант перенормировок волновых функций тяжелых псевдоскалярных и векторных мезонов. В пределе $M_Q \rightarrow \infty$ эти константы оказались равными, что полностью соответствует общему результату Изгура и Вайза о независимости динамики сильных взаимодействий тяжелых мезонов от спиновых степеней свободы.

Во второй главе вычислены константы f_P лептонных распадов тяжелых псевдоскалярных мезонов, явля-

ющиеся аналогом f_π в тяжелом секторе. Предел $M_Q \rightarrow \infty$ соответствует в этом случае аннигиляции легкого кварка на статическом тяжелом кварке. В этом пределе слабая константа $f_P \sim \frac{1}{\sqrt{M_Q}}$, что находится в соответствии с масштабным законом для данных процессов. Для констант лептонных распадов странного и нестранного очарованных псевдоскалярных мезонов получено предсказание $f_D < f_{D^*}$. В предположении о том, масса тяжелого мезона связана с массой тяжелого кварка нерелятивистским соотношением $\Delta = m_P - M_Q = const.$, получено предсказание, что f_B меньше f_D на 20–40 МэВ.

В третьей главе излагается кинематика эксклюзивных полулептонных распадов $P \rightarrow X + \nu + e$, где P — тяжелый псевдоскалярный мезон, X — конечное псевдоскалярное ($X = P'$) или векторное ($X = V$) состояние. В пренебрежении импульсной зависимостью кварковых формфакторов и параметром $(M_b - M_c)/(M_b + M_c) \ll 1$ получена полная вероятность полулептонного распада b кварка в c кварк как сумма вероятностей возможных полулептонных распадов B -мезона в D -мезоны, т.е. соотношение кварк-адронной дуальности.

Четвертая глава посвящена анализу формфакторов полулептонных распадов тяжелых мезонов с b - c переходами. Вычислены амплитуды полулептонных распадов $B \rightarrow D(D^*) + \nu + e$. Показано, что в пределе $M_Q \rightarrow \infty$ все формфакторы распадов $P_{heavy} \rightarrow P(V)_{heavy} \nu$ определяются единой универсальной функцией, зависящей только от произведения 4-скоростей начального и конечного мезонов, что находится в полном соответствии с симметрией Изгура-Вайза. Найден явный вид

этой функции и показано, что в точке максимальной передачи поправки порядка $\frac{1}{M_Q}$ в выражении для функции сокращаются, т.е. полученный результат удовлетворяет теореме Адемолло-Гатто. Вычислены парциальные ширины и построены электронные спектры полулептонных распадов $B \rightarrow D(D^*)e\nu$. Сравнение с имеющимися экспериментальными данными дало для V_{cb} значение 0.037.

Пятая глава посвящена анализу формфакторов полулептонных распадов тяжелых мезонов с b-и, c-s и c-d переходами. Вычислены амплитуды полулептонных распадов $P_{heavy} \rightarrow P(V)_{light} + \nu + e$. Показано, что в пределе $M_Q \rightarrow \infty$ формфакторы $f_{\pm}(t)$, $A_2(t)$ и $V(t)$ имеют одинаковую, растущую по t асимптотику, в то время как первый аксиальный формфактор в P-V-переходах $-A_1(t)$ убывает.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

В приложениях приведены точные аналитические выражения для формфакторов полулептонных распадов.

Основные результаты диссертации, выдвигаемые на защиту

1. Сформулирован релятивистский квантово-полевого подход к описанию систем типа тяжелый-легкий кварк, являющийся расширением Модели Конфайнмированных Кварков, позволяющий вычислять адронные матричные элементы слабых кварковых токов. Развита техника вычислений таких матричных элементов.

2. Вычислены константы f_P лептонных распадов тяжелых псевдоскалярных мезонов, являющиеся аналогом f_{π} в тяжелом секторе. В пределе $m_P = M_Q \rightarrow \infty$ для лептонной константы получено выражение $f_P \sim \frac{const}{\sqrt{M_Q}}$ что находится в соответствии с масштабным законом для данных процессов. Для констант лептонных распадов странного и нестранного очарованных псевдоскалярных мезонов получено предсказание $f_D < f_{D^*}$. В предположении о том, масса тяжелого мезона связана с массой тяжелого кварка нерелятивистским соотношением $\Delta = m_P - M_Q = const.$, получено предсказание, что f_B меньше f_D на 20-40 МэВ.

3. Вычислены амплитуды полулептонных распадов $B \rightarrow D(D^*)e\nu$. В пределе $M_Q \rightarrow \infty$ для них получено представление через универсальную функцию Изгура-Вайза. Найден явный вид этой функции. Показано, что $\frac{1}{M_Q}$ -поправки к асимптотикам амплитуд сокращаются в точке нулевой адронной передачи $v = v'$. Таким образом проверено выполнение теоремы Адемолло-Гатто в предлагаемом подходе. Вычислены ширины и электронные спектры полулептонных распадов $B \rightarrow D(D^*)e\nu$. Для элемента V_{cb} матрицы ККМ предсказано значение 0.037.

4. Вычислены амплитуды полулептонных распадов $P_{heavy} \rightarrow P(V)_{light} + \nu + e$ и исследованы их асимптотики в пределе $M_Q \rightarrow \infty$. Показано, что в этом пределе формфакторы $f_{\pm}(t)$, $A_2(t)$ и $V(t)$ имеют одинаковую, растущую по t асимптотику, в то время как $A_1(t)$ убывает.

Результаты диссертации опубликованы в работах

- [1] Ivanov M.A., Khomutenko O.E. Weak decays of heavy mesons taking into account confinement of light quarks. – Preprint IC/90/94, Trieste, (1990); Proceedings of the First International Triangle Workshop JINR–CERN–ИЯФ ” *The Standard Model and Beyond: From LEP to UNK and LHC*”, Dubna, 1990 (World Scientific, 1991), pp.259–264.
- [2] Efimov G.V., Ivanov M.A., Khomutenko O.E., Lyubovitskii V.E. Confinement of light quarks and decays of heavy mesons. – Труды IX Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Дубна, 1990, с.56–60.
- [3] Иванов М.А., Хомутенко О.Э. Распады В- и D-мезонов с учетом конфайнмента легких кварков. – ЯФ, 1991, т.53, вып. 2, с.539–549.
- [4] Ivanov M.A., Khomutenko O.E. The $B \rightarrow D(D^*)e\nu$ decay amplitude factorization and the Isgur–Wise function calculation. – Письма в ЖЭТФ, 1992, т.56, No. 2, с.69–73.
- [5] Ivanov M. A., Khomutenko O. E. Mizutani T. Form factors of semileptonic-decays of heavy mesons in the quark confinement model. – Phys. Rev D, 1992, v.46, No. 9, pp.3817–3831.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 апреля 1993 года.