

2A 149990 * 16.01
ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
“ИНСТИТУТ ФИЗИКИ имени Б. И. СТЕПАНОВА
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ”

УДК 539.12

Соловцова Ольга Павловна

**КВАНТОВОХРОМОДИНАМИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ
АДРОННЫХ ПРОЦЕССОВ
В НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ**

01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

Минск, 2005

Работа выполнена в Учреждении образования "Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого".

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
Кувшинов В.И., профессор, генеральный
директор Объединенного института
энергетических и ядерных исследований-
Сосны

доктор физико-математических наук
Кураев Э.А., ведущий научный
сотрудник Лаборатории теоретической
физики Объединенного института
ядерных исследований, г. Дубна, Россия

доктор физико-математических наук
Максименко Н.В., профессор,
заведующий кафедрой теоретической
физики Гомельского государственного
университета имени Ф. Скорины

Оппонирующая организация: Национальный центр по физике
частиц и высоких энергий Белорусского
государственного университета

Защита диссертации состоится "17" февраля 2006 г. в 14³⁰ часов на
заседании совета по защите диссертаций Д 01.05.02 при Институте физики
имени Б.И. Степанова НАН Беларуси (220072, г. Минск, пр. Независимости,
68, тел. (017) 284-04-41).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института физики
имени Б.И. Степанова НАН Беларуси.

Автореферат разослан "28" декабря 2005 года.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций,
кандидат физ.-мат. наук



Ю.П. Выблуй

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации

В последние годы развитие теории сильных взаимодействий – квантовой хромодинамики, в значительной степени связано с появлением экспериментальных данных, полученных с высокой точностью, относящихся как к области высоких, так и к области низких энергий. При высоких энергиях основным методом проведения вычислений в квантовой хромодинамике является теория возмущений, которая вместе с методом ренормализационной группы позволяет провести расчеты и сравнить их результаты с экспериментальными данными.

В низкоэнергетической области квантовой хромодинамики при энергетических масштабах порядка $1 \div 2$ ГэВ и ниже применение рядов теории возмущений встречает серьезные трудности. К их числу относится неприменимость пертурбативных аппроксимаций в инфракрасной области и вблизи порога рождения кварковых пар. Возникает также серьезная проблема, связанная с зависимостью теоретических результатов от выбора схемы перенормировки, что приводит к значительной неопределенности расчетов, которая превышает в ряде случаев экспериментальные погрешности. В низкоэнергетической области квантовой хромодинамики существенную роль играют эффекты, описание которых лежит вне возможностей теории возмущений. Анализ непертурбативных эффектов посредством операторного разложения не всегда эффективно. Это относится, например, к расчету физических величин интегрального характера, включая такие, как рассмотренные в диссертации адронные вклады в аномальный магнитный момент мюона и постоянную тонкой структуры. Разработка общих методов, позволяющих с единых позиций проводить анализ адронных процессов как при высоких энергиях, так и в низкоэнергетической области, является актуальной задачей современного этапа развития теории сильных взаимодействий. Создание такого рода непертурбативных подходов важно как в плане развития теории, так и для расширения области сопоставления теоретических и экспериментальных результатов.

Проблеме выхода за рамки теории возмущений в квантовой теории поля посвящено много работ, отличающихся разнообразием подходов. Прежде всего, отметим направление, связанное с компьютерными расчетами на пространственно-временной решетке. Несмотря на остающиеся вычислительные трудности, здесь в последние годы достигнут заметный прогресс. Однако следует отметить существующую принципиальную проблему перехода к непрерывному пределу и то, что решеточные вычисления по своей

сути не обладают такой методологической силой, как аналитические подходы. К числу таких подходов относятся методы суммирования рядов теории возмущений. В этом направлении имеется существенная трудность, связанная с неоднозначностью процедуры суммирования асимптотических рядов, к которым принадлежат ряды теории возмущений в квантовополевых теориях. Фактически, для достижения определенности процедуры такого суммирования требуется привлечение дополнительной информации, не содержащейся в исходном пертурбативном разложении. Иной способ расчета непертурбативных величин, непосредственно не связанный с рядом теории возмущений, основан на приближенном решении систем квантовополевых уравнений, таких, как, например, уравнения Дайсона-Швингера. Основная трудность такого подхода связана с обрывом бесконечной цепочки квантовополевых уравнений, для чего используются различные дополнительные предположения.

В диссертации сформулирован общий непертурбативный подход к анализу адронных процессов, который позволяет с единых позиций проводить исследования как при высоких энергиях, так и в низкоэнергетической области. В области больших энергетических масштабов полученные аппроксимации переходят в обычные пертурбативные, а в области малых – приводят к результатам, существенно отличающимся от результатов теории возмущений. При этом находит свое решение проблема схемной зависимости, в результате чего удается существенно снизить неопределенность теоретических расчетов. Кроме того, развитый в диссертации подход позволяет значительно расширить область, в которой теоретические результаты могут быть сопоставлены с опытными данными. В частности, удастся выполнить непротиворечивым образом совместный анализ процессов с характерными пространственно- и времениподобными импульсами. Таким образом, диссертационная работа посвящена решению ряда актуальных задач физики элементарных частиц, связанных с разработкой и применением новых методов исследования в квантовой хромодинамике вне рамок теории возмущений.

Связь работы с крупными научными программами, темами

Настоящая работа выполнялась в рамках Государственной программы международного сотрудничества между учреждениями Республики Беларусь и Объединенным институтом ядерных исследований по теме “Поля и частицы” (01-3-1001-94/98 и 01-03-1028-99/2008), включенной в “Проблемно-тематический план научно-исследовательских работ и международного сотрудничества Объединенного института ядерных исследований”; Государст-

венной программы фундаментальных исследований “Физика взаимодействий” (Постановление Президиума НАН Республики Беларусь от 24.01.2000) по теме “Непертурбативный подход в теории сильного взаимодействия” на 2003 – 2005 гг., номер государственной регистрации 2003909; по заданию Министерства образования Республики Беларусь “Аналитический подход в теории сильного взаимодействия” на 2003 – 2004 гг., номер государственной регистрации 2003173.

Цель и задачи исследования

Целью настоящей работы является разработка квантовохромодинамического метода описания адронных процессов в низкоэнергетической области.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие основные задачи.

1. Выполнить анализ структуры различных форм рядов теории возмущений квантовой хромодинамики в пространственноподобной и времениподобной областях и установить причину, приводящую к нарушению самосогласованного описания этих областей в рамках ренорминвариантной теории возмущений.
2. Разработать метод аналитической теории возмущений, обеспечивающий самосогласованное описание адронных процессов в пространственно- и времениподобной областях. Исследовать устойчивость аналитических аппроксимаций по отношению к высшим петлевым вкладам. Применить метод для описания инклюзивного распада τ -лептона. Найти способ сопряжения областей с различным числом активных кварков, который согласуется с аналитичностью инвариантного заряда.
3. Получить непертурбативные выражения для ренормгрупповых функций в высших порядках вариационной теории возмущений. Разработать метод описания процессов аннигиляции $e^+e^- \rightarrow$ адроны и инклюзивного распада τ -лептона с учетом высших порядков вариационной теории возмущений и сопоставить полученные результаты с экспериментальными данными. Обобщить метод вариационной теории возмущений на массивный случай.
4. Разработать метод анализа правил сумм глубоконеупругого лептон-адронного рассеяния, позволяющий обеспечить корректные аналитические свойства интегралов от структурных функций. Исследовать стабильность получаемых результатов по отношению к высшим петлевым

- поправкам и выбору схемы перенормировок. Изучить влияние дополнительных степенных вкладов на величину непертурбативных эффектов, обусловленных высшими твистами.
5. Разработать метод описания инклюзивного распада τ -лептона в высших порядках аналитической теории возмущений. Исследовать стабильность результатов по отношению к высшим петлевым вкладам и к выбору схемы перенормировок.
 6. Разработать подход к анализу свойств адронных систем вблизи порога рождения кварковых пар. Провести суммирование бесконечного числа пороговых сингулярностей и получить функции $R_{V/A}(s)$, соответствующие векторному и аксиально-векторному кварковым токам. Провести анализ пространственно- и времениподобных характеристик адронных систем и исследовать влияние значений масс легких кварков на поведение пространственно- и времениподобных функции в инфракрасной области.
 7. Разработать общий подход к описанию R -зависимых физических величин. Выполнить на его основе совместное описание функций R_Δ , D_τ , $D_{e^+e^-}$, величины R_τ , вкладов сильного взаимодействия в аномальные магнитные моменты мюона, электрона и τ -лептона и в постоянную тонкой структуры. Провести анализ полученных результатов и их сравнение с экспериментальными данными.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования настоящей диссертационной работы являются процессы сильного взаимодействия элементарных частиц. К предмету исследования относятся характеристики адронных процессов в низкоэнергетической области квантовой хромодинамики и методы их изучения.

Гипотеза

Основные результаты, полученные в диссертации, базируются на квантовой хромодинамике, которая является современной теорией сильного взаимодействия элементарных частиц. Для сопоставления теоретических и экспериментальных данных используется концепция кварк-адронной дуальности, позволяющая установить взаимосвязь между кварк-глюонным описанием и свойствами адронов. Используется гипотеза о поведении массовых функций легких кварков в инфракрасной области, основанная на непертурбативных решениях системы квантово-полевых уравнений и понятии

динамической массы кварков. Полученные результаты исследований показывают обоснованность этой гипотезы.

Методология и методы проведенного исследования

Методология выполненных в диссертационной работе исследований основана на квантовой хромодинамике. В диссертации используются хорошо апробированные методы ренормализационной группы, аппарат теории возмущений, процедура перенормировок и дисперсионные соотношения.

Научная новизна и значимость полученных результатов

Научная новизна и значимость работы определяется следующими результатами, полученными в диссертации.

- Получено новое выражение, определяющее связь коэффициентов пертурбативного разложения функций, описывающих процессы сильного взаимодействия, с времени- и пространственноподобными импульсами. Показано, что использование для инвариантного заряда выражения, полученного на основе теории возмущений и содержащего нефизические особенности, не позволяет самосогласованно интерпретировать извлекаемые из разных экспериментов сведения об эволюции инвариантного заряда вне асимптотической области.
- С учетом высших порядков сформулирован метод аналитической теории возмущений, позволяющий непротиворечивым образом анализировать адронные процессы в пространственно- и времениподобной областях. Установлена петлевая стабильность рядов аналитической теории возмущений как в пространственно-, так и во времениподобной областях.
- Впервые исследована роль Q^2 -аналитичности при изучении инклюзивного распада τ -лептона и выявлено, что поддержка применяемым методом правильных аналитических свойств корреляционной функции важна для непротиворечивого описания этого процесса и оказывает существенное влияние на определение значения масштабного параметра квантовой хромодинамики и константы сильного взаимодействия из экспериментальных данных по инклюзивному распаду τ -лептона.
- Впервые разработан метод анализа правил сумм глубоко неупругого лептон-адронного рассеяния, позволяющий обеспечить корректные аналитические свойства интегралов от структурных функций, вытекаю-

щие из общих принципов теории. Показано, что, в отличие от описания с помощью теории возмущений, новые аппроксимации для правил сумм глубокоупругого лептон-адронного рассеяния Бьеркена и Гросса-Ллевеллина Смита стабильны по отношению к высшим петлевым поправкам во всем интервале переданного импульса. Впервые найден явный вид дополнительных степенных поправок и показано их влияние на определение непертурбативных вкладов, обусловленных высшими твистами.

- Установлено, что применение метода аналитической теории возмущений позволяет существенным образом снизить теоретическую неопределенность получаемых результатов, обусловленную зависимостью конечной аппроксимации от выбора схемы перенормировки как в области высоких энергий, так и в низкоэнергетической.
- Найдены основные функции метода ренормализационной группы в высших порядках вариационной теории возмущений. Развита вариационная теория возмущений вне кирального предела. С учетом кварковых масс получены новые выражения для ренормгрупповой β -функции и инвариантного заряда и исследовано их поведение в инфракрасной области.
- Предложен новый метод анализа свойств адронных систем в области вблизи порога рождения кварковых пар. Для мнимых частей векторного и аксиально-векторного корреляторов построены новые выражения, учитывающие суммирование бесконечного числа пороговых сингулярностей и непертурбативный характер масс легких кварков. Показано, что массы легких кварков существенно влияют на поведение D -функции в инфракрасной области, что позволяет, используя экспериментальные данные, сделать вывод о величинах кварковых масс.
- Развита новая форма описания кварк-антикварковых систем, основанная на методе правил сумм квантовой хромодинамики и непертурбативных решениях уравнений Дайсона-Швингера.
- Сформулирован новый подход к анализу различных R -зависимых физических величин. Для функций R_Δ , D_τ и $D_{e^+e^-}$, величины R_τ , вкладов сильного взаимодействия в аномальные магнитные моменты мюона, электрона и τ -лептона, а также адронного вклада в постоянную тонкой структуры, впервые дано совместное описание, которое находится в хорошем согласии с соответствующими экспериментальными данными.

Практическая значимость полученных результатов

Предложенный в диссертации подход к исследованию процессов сильного взаимодействия элементарных частиц расширяет область непосредственного сопоставления экспериментальных данных и полученных на основе квантовой хромодинамики теоретических результатов, предоставляя новую возможность анализа процессов при сравнительно малых энергетических масштабах и описания характеристик, которые имеют непертурбативную природу. Разработанный метод приводит к снижению неопределенности теоретических расчетов в низкоэнергетической области и позволяет улучшить точность определения значений параметров квантовой хромодинамики из экспериментальных данных.

Полученные результаты могут найти и, частично, уже нашли применение при развитии методов изучения сильных взаимодействий элементарных частиц на основе квантовой хромодинамики в белорусских и российских научных центрах ИФ НАН, ОИЭЯИ-Сосны, БГУ, ГГУ, ГГТУ, НИИЯФ МГУ, ОИЯИ, ИФВЭ, ИЯИ, а также применены при анализе опытных данных по распаду τ -лептона (ALEPH, OPAL и CLEO коллаборации), неупругому лептон-адронному рассеянию (CCFR, ИФВЭ-ОИЯИ), распадам кваркониев, e^+e^- -аннигиляции в адроны (CMS-2, KLOE, CLEO) и при планировании новых экспериментов в ОИЯИ, ИФВЭ, CERN, CEBAF.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту

1. Результаты анализа проблемы совместного описания процессов сильного взаимодействия элементарных частиц с пространственно- и времениподобными характерными импульсами и установление причины неприменимости ренорминвариантной теории возмущений для самосогласованного описания таких процессов.
2. Описание инклюзивного распада τ -лептона на основе аналитической теории возмущений с учетом высших порядков, определение новых степенных вкладов в физическую величину R_τ и доказательство их существенного влияния на результаты обработки экспериментальных данных. Новый способ сопряжения областей с различным числом активных кварков, согласующийся с аналитичностью инвариантного заряда.
3. Развитие метода вариационной теории возмущений с учетом высших порядков. Описание на его основе процесса e^+e^- -аннигиляции в адроны

и инклюзивного распада τ -лептона и обоснование эффективности метода для квантовохромодинамического анализа адронных процессов в низкоэнергетической области.

4. Новый подход к анализу правил сумм глубоконеупругого лептон-адронного рассеяния, позволяющий обеспечить корректные аналитические свойства интегралов от структурных функций, вытекающие из общих принципов теории. Доказательство стабильности аналитических аппроксимаций по отношению к высшим петлевым поправкам во всем интервале переданного импульса для правил сумм Бьеркена и Гросса-Ллевеллина Смита. Явное выражение для дополнительных степенных поправок и их влияние на определение связанных с операторным разложением вкладов.
5. Результаты исследования зависимости аналитических аппроксимаций физических величин для процесса инклюзивного распада τ -лептона и правил сумм глубоконеупругого лептон-адронного рассеяния по отношению к выбору схемы перенормировки и вывод о схемной стабильности рядов аналитической теории возмущений в пространственно- и во времениподобной областях.
6. Новый метод описания адронных систем вблизи порога рождения кварковых пар, основанный на суммировании бесконечного числа пороговых сингулярностей и учитывающий непертурбативный характер масс легких кварков. Анализ на его основе пространственно- и времениподобных характеристик адронных систем и установление существенного влияния значений масс легких кварков на поведение D -функции в инфракрасной области.
7. Общий подход к анализу различных R -зависимых физических величин. Впервые выполненное совместное непертурбативное описание функций $R_{\Delta}(s)$, $D_{\tau}(Q^2)$ и $D_{e^+e^-}(Q^2)$, величины R_{τ} , вкладов сильного взаимодействия в аномальные магнитные моменты мюона, электрона и τ -лептона и в постоянную тонкой структуры. Анализ полученных результатов и их сравнение с экспериментальными данными, показывающее эффективность подхода.

Личный вклад соискателя

Настоящая диссертационная работа выполнена соискателем самостоятельно. Результаты научных исследований, проведенных по теме диссертации, опубликованы в работах, написанных соискателем как лично, так

и с соавторами. В совместных работах личный вклад соискателя в идею, направление исследования, постановку задач и их решение является определяющим. Основные положения, выносимые на защиту, полностью соответствуют личному вкладу автора в опубликованных материалах.

Работы [10, 16, 24, 26–28, 33, 37–39, 47, 48] выполнены лично соискателем, остальные работы, вошедшие в диссертацию, опубликованы с соавторами: докторами физико-математических наук, профессорами В.Б. Беляевым и А.Н. Сисакяном, доктором физико-математических наук И.Л. Соловцовым, профессорами Х. Джонсом, К. Милтоном и Д. Эбертом, кандидатом физико-математических наук Ю.Д. Черниченко, а также с В.И. Ясным. Вклад соискателя в этих работах составляет примерно 80% основного содержания.

В работах [1, 2, 4, 40, 46] соискателем предложено обобщение эволюционного по константе связи метода, его использование для изучения свойств адронного атома, а также были проведены основные расчеты. В работе [3] соискателю принадлежит совместная формулировка идеи исследования и выполнение основных расчетов калибровочно-инвариантной фермионной функции Грина.

В совместных работах [8, 13, 22, 23, 41, 43] соискателю принадлежит выбор направления исследований и проведение детального анализа проблемы описания процессов сильного взаимодействия с характерными пространственно- и времениподобными импульсами; обоснование преимуществ использования аналитического подхода и метода вариационной теории возмущений при совместном анализе данных разных экспериментов; новый способ совместного описания областей с различным числом активных кварков.

В работах [12, 18, 19, 32] соискателю принадлежит совместная постановка задач исследования, формулировка способов их решения и их реализация как аналитическими, так и численными методами; детальное сравнение методов аналитической и обычной теорий возмущений; обоснование петлевой стабильности рядов аналитической теории возмущений; влияние аналитичности на определение параметров квантовой хромодинамики из опытных данных.

В работах [14, 15] соискателю принадлежит идея применения метода аналитической теории возмущений для построения новых аппроксимаций для правил сумм глубоко неупругого лептон-адронного рассеяния, исследование свойств новых аппроксимаций, выявление роли дополнительных степенных поправок; обоснование того, что применение метода аналитической теории возмущений позволяет существенным образом снизить теоретическую не-

определенность, обусловленную зависимостью конечной аппроксимации от выбора схемы перенормировки.

В работах [5–7, 9, 11, 17, 20, 21, 29–31, 36, 42, 44] соискателю принадлежит совместная постановка задачи развития и применения метода вариационной теории возмущений в высших порядках, вывод новых выражений для ренормгрупповой β -функции и инвариантного заряда с учетом кварковых масс, исследование их инфракрасного поведения, применение полученных выражений для совместного описания низкоэнергетических характеристик процессов e^+e^- -аннигиляции в адроны и инклюзивного распада τ -лептона.

В работах [19, 25, 34, 35, 45] соискателю принадлежит метод описания области вблизи порога рождения кварк-антикварковых пар, построение нового выражения для функции $R(s)$, в котором учтено суммирование бесконечного числа пороговых сингулярностей, исследование зависимости рассматриваемых величин от масс легких кварков, развитие и применение общего подхода к анализу различных R -зависимых физических величин.

Апробация результатов диссертации

Результаты исследований, вошедшие в настоящую диссертацию, докладывались на следующих конференциях, симпозиумах и семинарах: Всесоюзном совещании-семинаре молодых ученых “Кварк-адронные и малочастичные системы” (г. Алма-Ата, 1984 г.); на IX Европейской конференции “Проблемы нескольких тел в физике” (г. Тбилиси, 1984 г.); на Международном совещании “Теория малочастичных и кварк-адронных систем” (г. Дубна, 1987 г.); на Международных семинарах “Нелинейные явления в сложных системах” (г. Полоцк, 1994, г. Минск, 1999, 2002 и 2005 гг.); на XVI совещании “Проблемы физики высоких энергий и теории поля” (г. Протвино, 1995); на Международном семинаре “Физика промежуточных и высоких энергий” (г. Дубна, 1995); на Международных семинарах “Методы симметрии в физике” (г. Дубна, 1995 и 2000 гг.); на Международных школах-семинарах “Актуальные проблемы физики микромира” (г. Гомель, 2001, 2003 и 2005 гг.); на Международных конференциях по проблемам физики высоких энергий “Релятивистская ядерная физика и квантовая хромодинамика” (г. Дубна, 1996 и 2000 гг.); на Рочестерской конференции по физике высоких энергий “ICNEP’98” (г. Ванкувер, Канада, 1998 г.); на Международном симпозиуме по многочастичной динамике “ISMD” (г. Алушта, 2002 г.); на XI Международной Ломоносовской конференции по физике элементарных частиц (г. Москва, 2003 г.); на семинарах университета им. Гумбольда (г. Берлин, Германия, 1995 и 1996 гг.), университета г. Оклахомы (США, 1998 и 2000

гг.) и университета г. Тюбнгена (Германия, 2002 г.), Лаборатории теоретической физики ОИЯИ и ГГТУ им. П.О Сухого.

Опубликованность результатов

Основные результаты диссертационных исследований опубликованы в 48 научных изданиях: 28 – в рецензируемых журналах, 11 – в международных сборниках научных трудов конференций и семинаров; 6 – в международных препринтах и 3 – в сборниках тезисов докладов международных конференций. Общий объем опубликованного материала составляет 307 страниц.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из оглавления, перечня условных обозначений, введения, общей характеристики работы, шести глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Полный объем диссертации составляет 218 страниц, включая 73 рисунка, которые занимают 18 страниц, 10 таблиц, занимающих 2 страницы и 3 приложений, занимающих 10 страниц. Список использованных источников содержит 316 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Введение содержит краткое описание истории и современного состояния представленного в диссертационной работе направления исследований.

Общая характеристика работы содержит обоснование актуальности темы диссертационной работы, ее цель и задачи, степень новизны и значимости полученных результатов, связь работы с крупными научными программами и темами, основные положения, выносимые на защиту, личный вклад соискателя, опубликованность результатов и общую структуру диссертации.

Первая глава диссертации содержит сравнительный анализ различных форм пертурбативных разложений для двухточечных функций, связанных с коррелятором кварковых токов с пространственно- и времениподобными аргументами. Получено новое выражение для пертурбативных коэффициентов функций, определенных во времениподобной области, через коэффициенты ряда теории возмущений для функций, определенных в пространственноподобной области. Показано, что прямое применение теории возмущений в сочетании с методом ренормализационной группы не позволяет самосогласованно изучать процессы в этих двух областях и требуется дальнейшая модификация пертурбативных разложений.

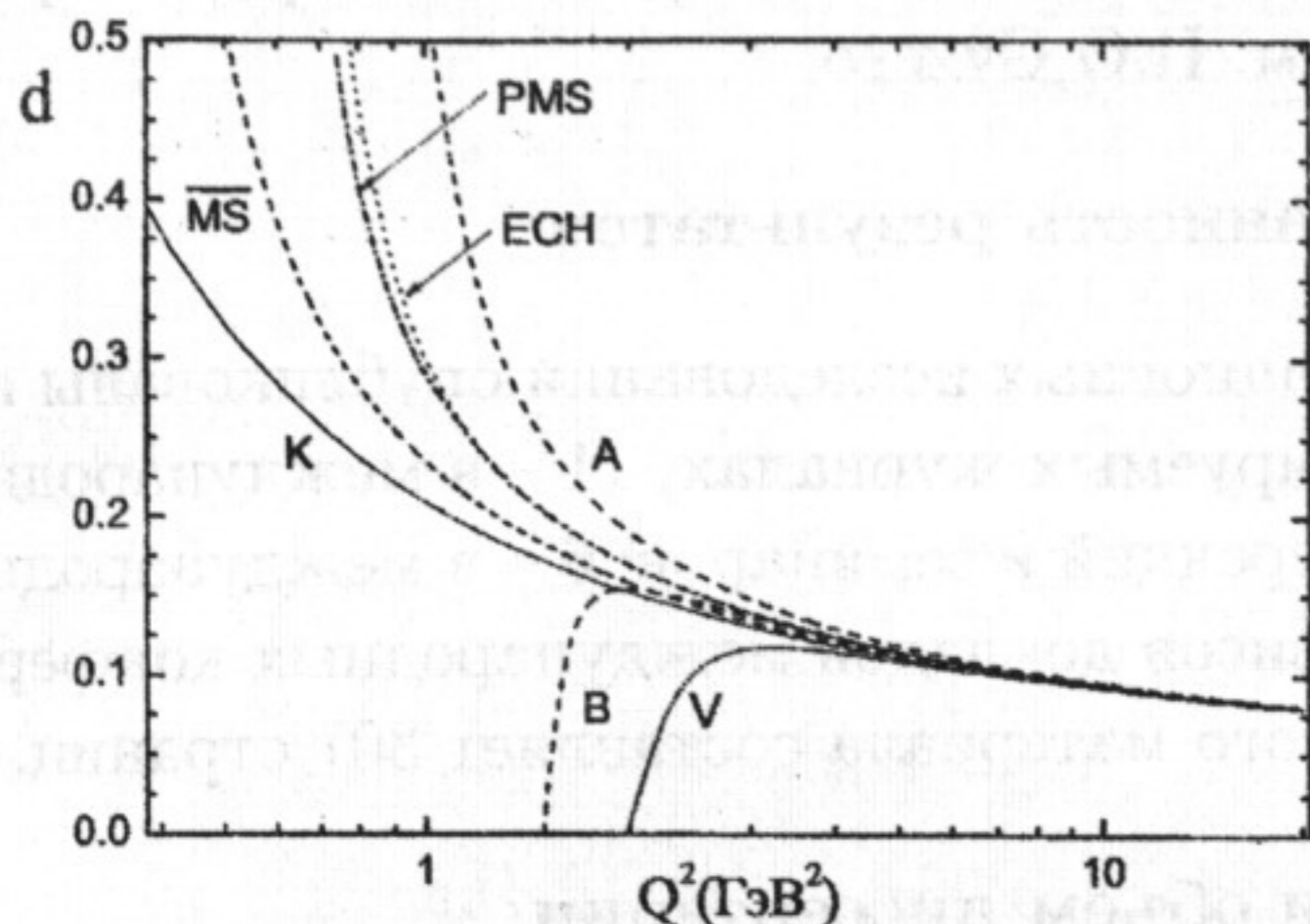


Рис. 1. Функция $d(Q^2)$ в разных схемах перенормировки в теории возмущений.

Исследуется проблема зависимости пертурбативных аппроксимаций от выбора схемы перенормировки. Показано, что использование теории возмущений приводит к значительной схемной неопределенности получаемых результатов в низкоэнергетической области. Это демонстрирует рис. 1, на котором представлена функция $d(Q^2)$, рассчитанная в третьем порядке теории возмущений в разных 'близких' схемах (А, В, \overline{MS}), для разных процедур оптимизации (PMS и ECH), а также для V-схемы и K-схемы, имеющей инфракрасно стабильную точку.

Рассматриваются подходы, в рамках которых удается преодолеть отмеченные трудности пертурбативного описания – это аналитическая теория возмущений и метод построения нептурбативных разложений, основанный на вариационной теории возмущений. Показано, что в низкоэнергетической области квантовой хромодинамики поведение инвариантного заряда в этих подходах похоже и заметно отличается от поведения пертурбативного заряда. В то же время в ультрафиолетовой области эти методы воспроизводят пертурбативные результаты. Находятся основные функции метода ренормализационной группы в высших порядках вариационной теории возмущений. Метод вариационной теории возмущений развивается для массовозависимой схемы перенормировки, в которой получены выражения для основных ренормгрупповых функций.

В рамках теоретико-полевых моделей рассматриваются нептурбативные методы изучения квантово-полевых систем. Рассматриваются обобщение эволюционного по константе связи метода, свойства адронного атома с применением эволюционного по константе связи метода, а так же калибровочно-инвариантная функция Грина фермиона в модели Швингера.

Вторая глава диссертации содержит анализ проблемы совместного описания процессов сильного взаимодействия элементарных частиц с пространственно- и времениподобными характерными импульсами. Вводится понятие эффективных зарядов в пространственно- и времениподобной областях – $a^{\text{eff}}(z)$ и $a_s^{\text{eff}}(s)$, находятся общие соотношения между ними.

Демонстрируется, что если “евклидова” функция имеет нефизические особенности, то соотношения

$$a_s^{\text{eff}}(s) = -\frac{1}{2\pi i} \int_{s-i\epsilon}^{s+i\epsilon} \frac{dz}{z} a^{\text{eff}}(z), \quad a^{\text{eff}}(z) = -z \int_0^\infty \frac{ds}{(s-z)^2} a_s^{\text{eff}}(s), \quad (1)$$

которые определяют согласованность описания пространственно- и времениподобной областей, оказываются нарушенными.

Показывается, что, оставаясь в рамках стандартных пертурбативных аппроксимаций, нельзя самосогласованным образом выполнить переход из евклидовой области во времениподобную и наоборот. Задача корректного перехода между пространственноподобной и времениподобной областями может быть решена в рамках аналитического подхода и вариационной теории возмущений.

Рассматривается проблема учета изменения значения масштабного параметра Λ , обусловленная изменением числа активных кварков n_f . Связь между Λ_{n_f} и Λ_{n_f+1} обычно определяется некоторым дополнительным условием – сшивкой, которая осуществляется для инвариантного заряда в евклидовой области путем наложения на него требования непрерывности на “евклидовом” пороге. Такая процедура приводит к разрыву производной инвариантного заряда и к нарушению требуемых аналитических свойств. Показано, что аналитический подход позволяет реализовать новую возможность, согласующуюся с аналитичностью, выполнения процедуры сшивки с использованием времениподобной области.

Развит метод трехпетлевых вычислений в рамках аналитической теории возмущений. Впервые на уровне трех петель при любых значениях аргумента получен явный вид аналитического инвариантного заряда во времениподобной области

$$\bar{a}_s^{\text{ATB}}(s) = \bar{a}_s^{(1)}(s) + \bar{\Delta}_1(s) + \bar{\Delta}_2(s), \quad (2)$$

где $\bar{a}_s^{(1)}(s)$ – инвариантный заряд в лидирующем порядке:

$$\bar{a}_s^{(1)}(s) = \frac{1}{\pi\beta_0} \left[\frac{\pi}{2} - \text{arctg} \left(\frac{\ln \tilde{s}}{\pi} \right) \right], \quad \tilde{s} \equiv s/\Lambda^2, \quad (3)$$

$$\bar{\Delta}_1 = -\frac{\beta_1}{\beta_0^3} \frac{1}{B^2} \left(\ln B + 1 - A \frac{\ln \tilde{s}}{\pi} \right),$$

$$\bar{\Delta}_2 = \frac{\pi\beta_1^2}{\beta_0^5 B^4} \left[\left(\frac{\beta_2\beta_0}{\beta_1^2} - 1 - A^2 + \ln^2 B \right) \frac{\ln \tilde{s}}{\pi} + \left(1 - \frac{\ln^2 \tilde{s}}{\pi^2} \right) A \ln B \right],$$

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ – одно-, двух- и трехпетлевые коэффициенты β -функции, $A(s) = \text{arctg}(\pi/\ln \tilde{s})$, $B(s) = \sqrt{\pi^2 + \ln^2 \tilde{s}}$.

Установлено, что регулярность поведения инвариантного заряда во времениподобной области не связана со степенными вкладами, как это имело место для аналитического заряда в пространственноподобной области. Выражение (2) содержит только логарифмические вклады, при этом сингулярные пертурбативные выражения типа $1/\ln \tilde{s}$ оказываются просуммированными в простые регулярные функции.

Получено трехпетлевое выражение для эффективного заряда a_s^{eff} во времениподобной области

$$a_s^{\text{eff}}(s) = \bar{a}_s^{\text{ATB}}(s) + \Delta_1^{\text{eff}}(s) + \Delta_2^{\text{eff}}(s), \quad (4)$$

где $\bar{a}_s^{\text{ATB}}(s)$ – инвариантный заряд во времениподобной области, определенный в (2),

$$\Delta_1^{\text{eff}} = d_1 \left(\frac{4}{\beta_0 B} \right)^2 \left\{ 1 - \frac{\beta_1 \pi}{\beta_0^2 B^2} \left[(2 \ln B + 1) \frac{\ln \tilde{s}}{\pi} + A - A \frac{\ln^2 \tilde{s}}{\pi^2} \right] \right\},$$

$$\Delta_2^{\text{eff}} = d_2 \left(\frac{4}{\beta_0} \right)^3 \frac{\ln \tilde{s}}{B^4},$$

d_1 и d_2 – двух- и трехпетлевые коэффициенты разложения d -функции.

В завершение главы в лидирующем порядке исследуется роль Q^2 -аналитичности при описании процесса инклюзивного распада τ -лептона. Показано, что, несмотря на существенный прогресс в теоретическом описании этого процесса, остаются принципиальные трудности. Продемонстрирована важная роль Q^2 -аналитичности при описании инклюзивного распада τ -лептона. Восстановление правильных аналитических свойств приводит к появлению степенных поправок, которые влияют на определение значения масштабного параметра квантовой хромодинамики и константы сильного взаимодействия из экспериментальных данных по инклюзивному распаду τ -лептона.

Третья глава диссертации посвящена развитию аналитического подхода и его применению к правилам сумм глубоко неупругого лептон-адронного рассеяния – поляризованного правила сумм Бьеркена и правила сумм Гросса-Ллевеллина Смита. Проводится анализ вкладов сильных взаимодействий для этих правил сумм в рамках теории возмущений. Показано, что пертурбативные аппроксимации из-за нефизических сингулярностей пертурбативного инвариантного заряда нарушают требуемые аналитические свойства моментов структурных функций, которые должны быть аналитическими функциями по переменной Q^2 в комплексной плоскости с разрезом

вдоль отрицательной полуоси. Применяя идеи аналитического подхода, удастся сохранить Q^2 -аналитичность и получить корректные выражения для правила сумм Бьеркена и правила сумм Гросса-Ллевеллина Смита. Показывается, что в рамках аналитического подхода вклад сильного взаимодействия не представляется в виде степенного разложения по инвариантному заряду, как это имеет место в теории возмущений.

Таблица 1.

Сходимость рядов теории возмущений (ТВ) и аналитической теории возмущений (АТВ) для поляризованного правила сумм Бьеркена.

$\Gamma_1^{p-n}(3 \text{ ГэВ}^2) = 0,160$			
Элементы ряда	1-й	2-й	3-й
$\Delta_{Bj}^{ТВ}$	= 0,131	+ 0,062	+ 0,045
$\Delta_{Bj}^{АТВ}$	= 0,190	+ 0,045	+ 0,003

Анализируются свойства сходимости рядов обычной и аналитической теорий возмущений для вклада сильного взаимодействия Δ_{Bj} в интеграле Γ_1^{p-n} (см. табл. 1) и проводится сравнительный анализ зависимости величины Γ_1^{p-n} в одно-, двух- и трехпетлевом приближениях от значения α_s (см. рис. 2).

Установлено, что в рамках аналитической теории возмущений результат обладает хорошей петлевой стабильностью и оказывается слабо чувствительным к выбору схемы перенормировки.

Рассматривается применение аналитического подхода к правилу сумм Гросса-Ллевеллина Смита, теоретическое выражение для которого можно представить в виде: $S_{GLS}(Q^2) = 3 [1 - \Delta_{GLS}(Q^2)]$, где вклад сильных взаимодействий Δ_{GLS} включает в себя пертурбативную и непертурбативную [высшие твисты (НТ)] компоненты. Надежные теоретические предсказания для НТ сегодня отсутствуют. В ряде работ показано, что этот вклад может ока-

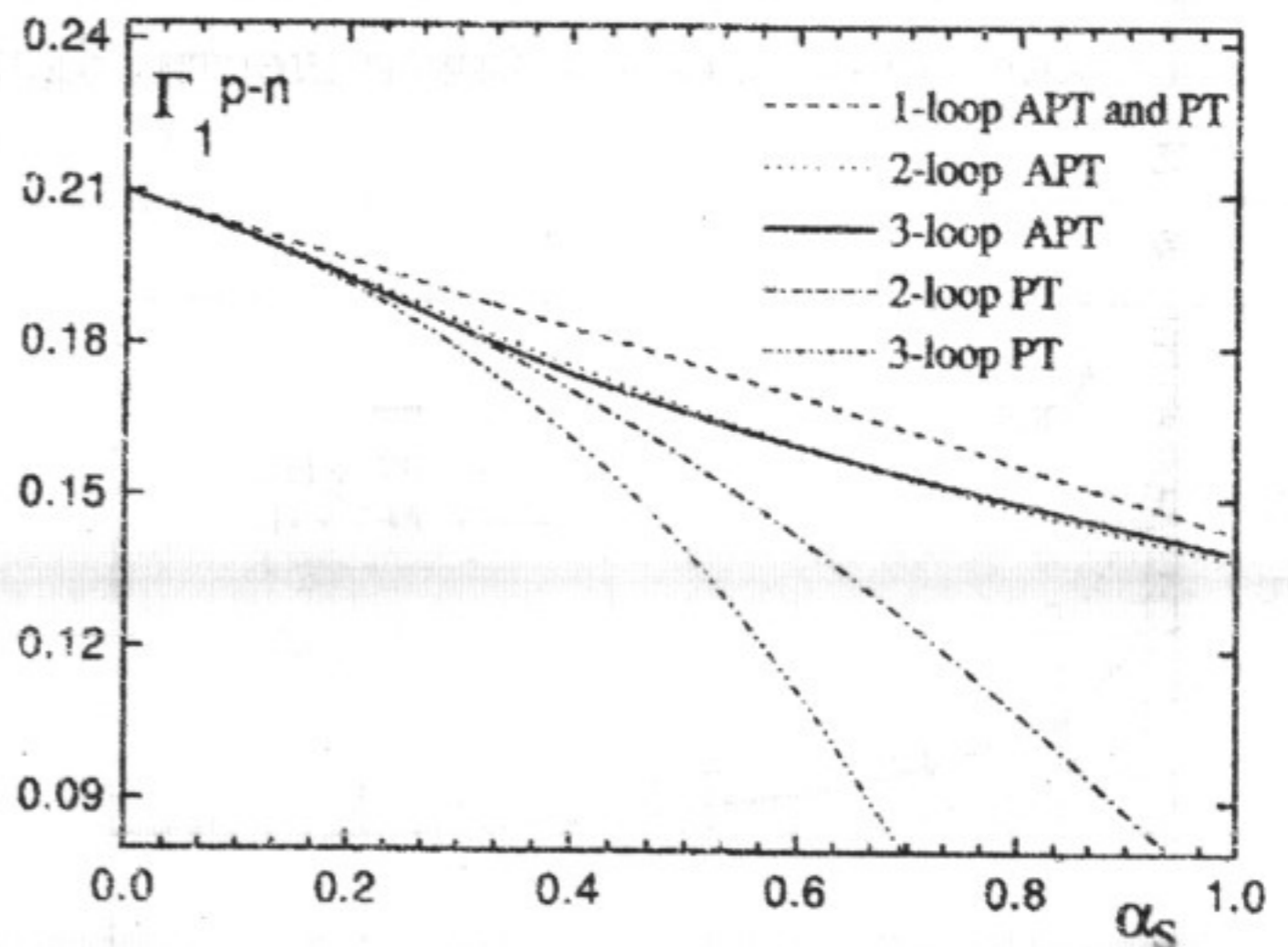


Рис. 2. Сравнение петлевой стабильности аппроксимаций для правила сумм Бьеркена.

заться близким к нулю. В начале представленного анализа исследуется роль Q^2 -аналитичности в пренебрежении вкладом НТ. Показано, что используя двухпетлевое выражение

$$\alpha_{\text{ATB}}(Q^2) \cong \alpha_{\text{TB}}(Q^2) - \frac{2\pi}{\beta_0} \left[\frac{\Lambda^2}{Q^2 - \Lambda^2} + 2 C_1^{(n_f)} \frac{\Lambda^2}{Q^2} \right], \quad (5)$$

для функции $\Delta_{\text{GLS}}(Q^2)$ получаем

$$\Delta_{\text{GLS}}^{\text{ATB}}(Q^2) = \frac{\alpha_{\text{ATB}}(Q^2)}{\pi} + d_1 \delta_{\text{appr.}}^{(2)}(Q^2), \quad (6)$$

где при $z = Q^2/\Lambda^2 > 1$

$$\delta_{\text{appr.}}^{(2)}(z) = \left[\frac{\alpha_{\text{TB}}(z)}{\pi} \right]^2 + \frac{4}{\beta_0^2} \left[-\frac{1}{(1-z)^2} + \left(1 + \frac{\beta_0^2}{2\beta_1} \right) \frac{1}{1-z} + \frac{K_1}{z} \right],$$

а коэффициенты для $n_f = 4$ равны: $C_1 = 0,079$, $d_1^{\overline{\text{MS}}} = 3,25$ и $K_1 = 0,027$.

Выражения (5) и (6) явно демонстрируют появление характерных для аналитического подхода дополнительных степенных слагаемых, связанных с восстановлением Q^2 -аналитичности. Знак поправки $\Delta_{\text{ан}} \sim C_{\text{ан}}/Q^2$ оказался

отрицательным и при нормировке на одно и то же экспериментальное значение интеграла $S_{\text{GLS}}^{\text{exp}}$ извлекаемое значение параметра Λ в аналитической теории возмущений оказывается большим, чем в обычной теории возмущений. Этот вывод согласуется с результатом, который имел место для инклюзивного распада τ -лептона.

Проводится анализ вклада сильных взаимодействий Δ_{GLS} с учетом НТ. Рис. 3 показывает, что трехпетлевой результат теории возмущений без НТ (кривая, изображенная пунктиром) практически совпадает с результатом аналитической теории возмущений с учетом вклада НТ (сплошная линия).

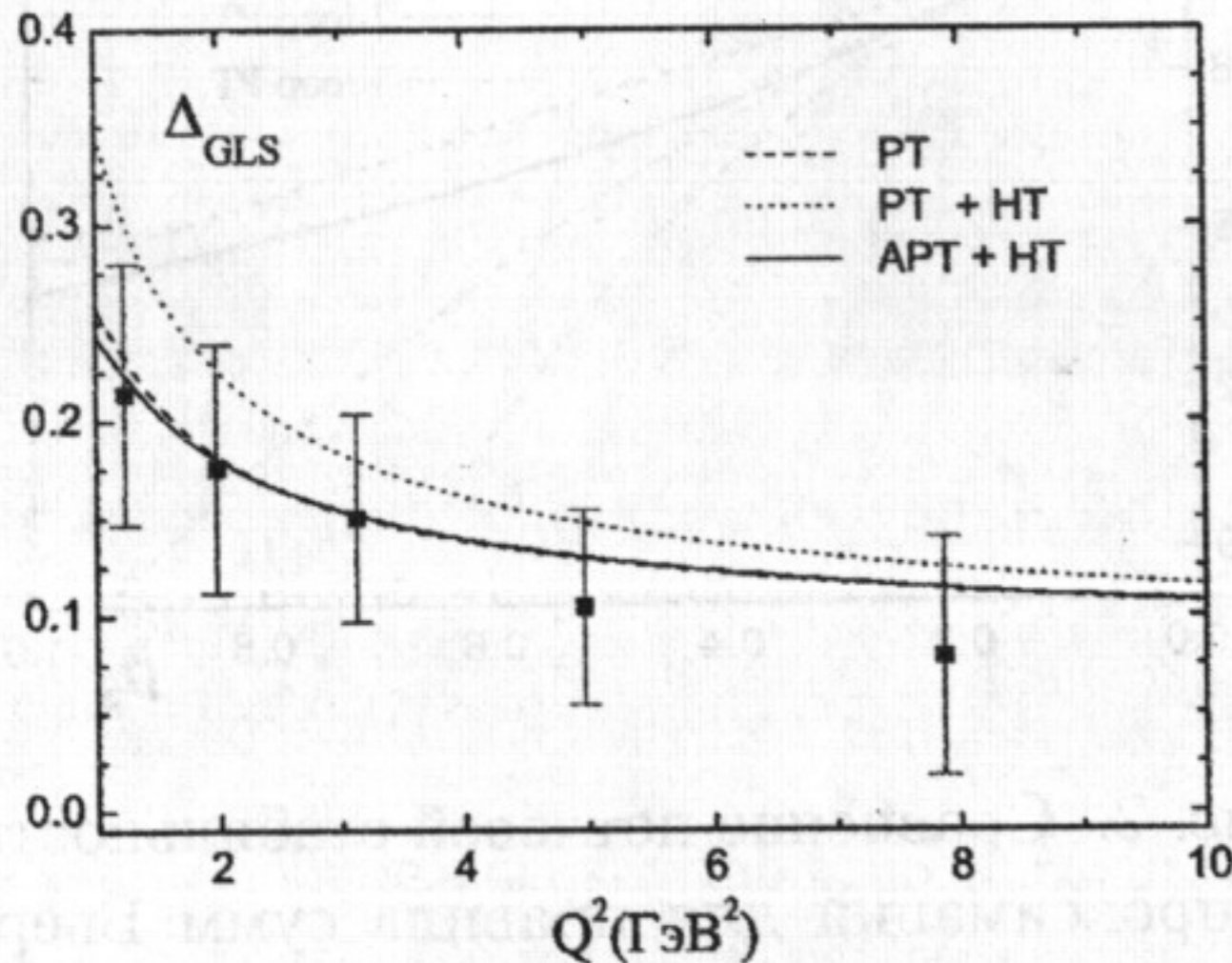


Рис. 3. Q^2 -зависимость Δ_{GLS} в аналитической теории возмущений (сплошная линия), в теории возмущений с учетом вклада НТ (кривая из точек) и без вклада НТ (пунктирная линия).

Установлено, что

вклады НТ и степенные вклады, обусловленные Q^2 -аналитичностью, имеют разные знаки, в результате чего эти вклады в значительной мере компенсируют друг друга. Эффективно это выглядит как уменьшение вклада НТ.

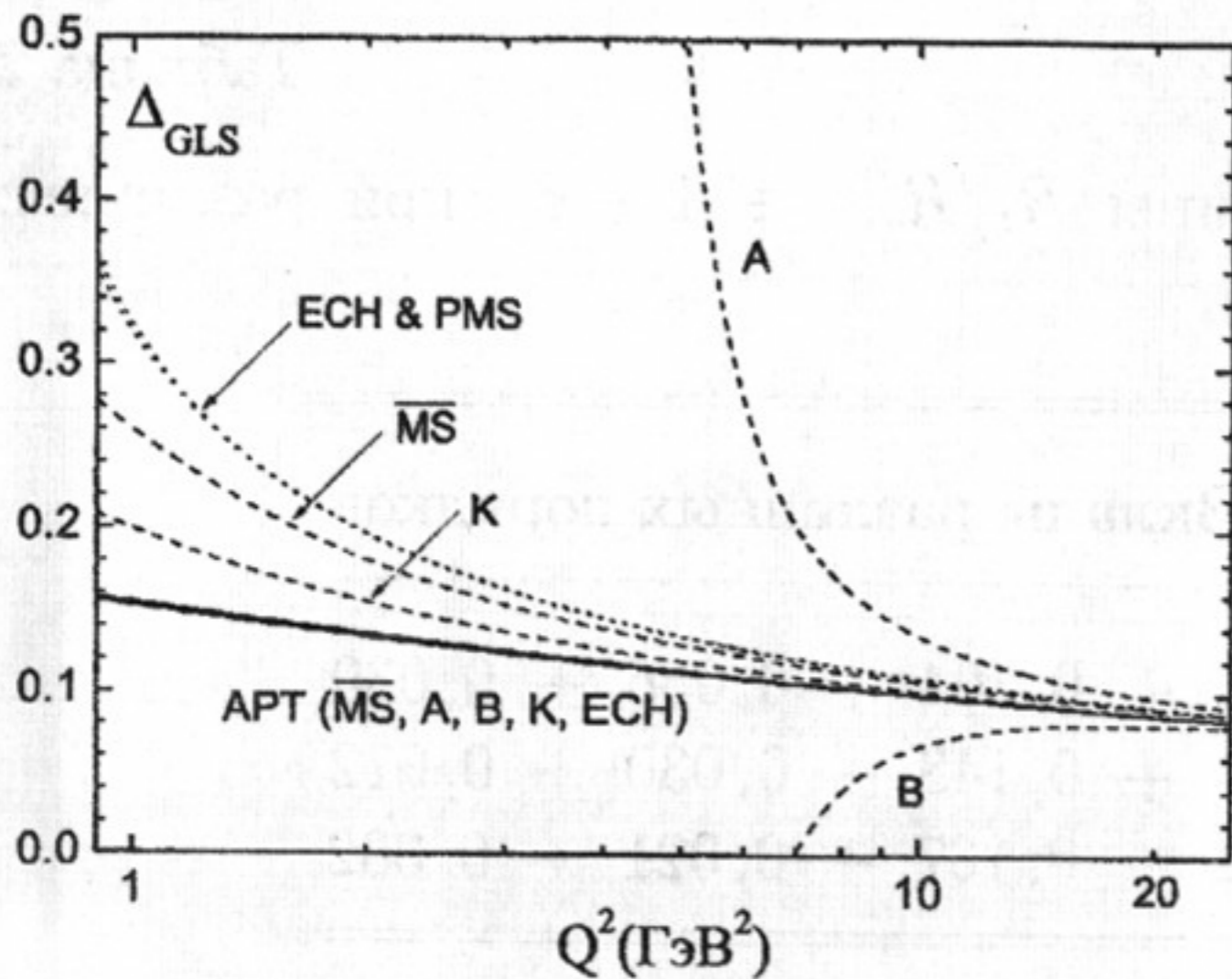


Рис. 4. Схемная зависимость $\Delta_{\text{GLS}}(Q^2)$ в теории возмущений и в аналитической теории возмущений.

водит к нефизическим особенностям и не может рассматриваться в качестве систематического подхода.

Четвертая глава посвящена анализу инклюзивного распада τ -лептона в адроны в высших порядках аналитической теории возмущений и дальнейшему развитию подхода с включением в рассмотрение области вблизи порога рождения кварк-антикварковой пары.

Сравниваются два способа пертурбативного описания экспериментально измеряемой величины R_τ – отношения адронной и лептонной ширин распада τ -лептона. В первом случае (FOPT – fixed-order perturbation theory) вклад сильного взаимодействия δ_τ имеет вид разложения по степеням пертурбативного инвариантного заряда, а во второй случае – контурно-улучшенное представление (CIPТ – contour-improved perturbation theory), возникает нестепенное разложение. Оба способа широко используются и приводят к разным результатам. В диссертации показано, что использование контурного представления, в котором пертурбативный заряд входит под знак интеграла по комплексной переменной, не является последовательным, поскольку нефизические сингулярности инвариантного заряда нарушают связь контурного представления с исходным выражением. Показано, что трудности пертурбативного описания могут быть преодолены в аналитическом подходе.

Рассматривается схемная зависимость функции $\Delta_{\text{GLS}}(Q^2)$ для класса схем, определяемых критерием, основанном на понятии индекса сокращений, в К-схеме, а также для разных процедур оптимизации (PMS и ECH). Результаты анализа представлены на рис. 4.

Исследуется и устанавливается причина близости пертурбативных ECH и PMS результатов. Показывается, что использование метода Падé для уменьшения схемной зависимости пертурбативных аппроксимаций функции $\Delta_{\text{GLS}}(Q^2)$ при-

Причем, сохранение правильных аналитических свойств важно не только с принципиальной точки зрения — корректного самосогласованного теоретического описания τ -распада, но и с точки зрения определения из экспериментальных данных квантовохромодинамических параметров.

Таблица 2.

Сходимость аппроксимаций величины $R_\tau/R_\tau^{(0)} \equiv 1 + \delta_\tau$ при различных способах теоретического описания.

Метод	Вклады различных порядков
FOPT	$1 + \delta_{pt}^I = 1 + 0,104 + 0,056 + 0,030$
CIPT	$1 + \delta_{pt}^{II} = 1 + 0,148 + 0,030 + 0,012$
ATB	$1 + \delta_{an} = 1 + 0,167 + 0,021 + 0,002$

Выполняется трехпетлевой анализ τ -распада в аналитической теории возмущений, в которой связь контурного представления и исходного не теряется.

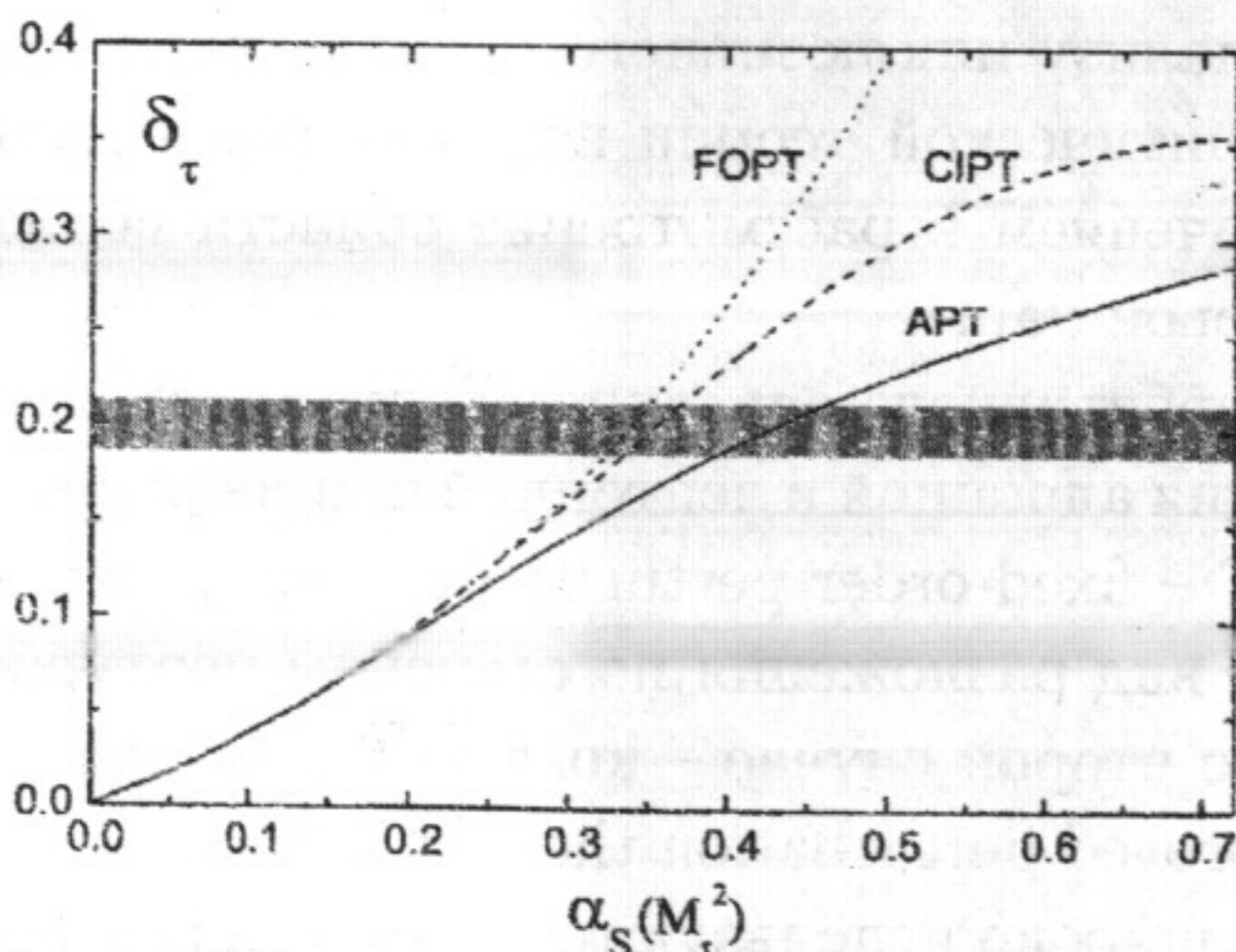


Рис. 5. Зависимость δ_τ от инвариантного заряда, взятого на масштабе массы τ -лептона в аналитической теории возмущений (ART) и в теории возмущений (FOPT, CIPT).

Для вклада сильных взаимодействий δ_τ проводится сравнительный анализ с пертурбативным описанием. Полученные результаты иллюстрируются в табл. 2 и на рис. 5, на котором $\delta_\tau = 0,200 \pm 0,013$.

Рассматривается проблема схемной зависимости. Показывается, что даже для достаточно узкого класса схем, которые имеют тот же индекс сокращений, что и оптимальная схема, схемный произвол пертурбативного описания δ_τ составляет порядка 6%, тогда как в аналитическом подходе этот произвол не превышает 0,8% (значения внутри очерченной пунктиром области на рис. 6). Исследуется V-схема, которая

обычно считается непригодной для описания распада τ -лептона. Действительно, пересчет из \overline{MS} -схемы в V -схему приводит к значению $\delta_{pt}(V) = 0,3060$, которое оказывается слишком большим. Такой пересчет в аналитическом подходе дает значение, которое всего лишь на $0,2\%$ отличается от значения в \overline{MS} -схеме.

Исследуется схемная зависимость значения инвариантного заряда α_s , извлекаемого из τ -данных. Для этого расчеты проводятся на основе FORT в разных схемах перенормировки, после чего результаты пересчитываются в \overline{MS} схему и сравниваются между собой (см. рис. 7). Показано,

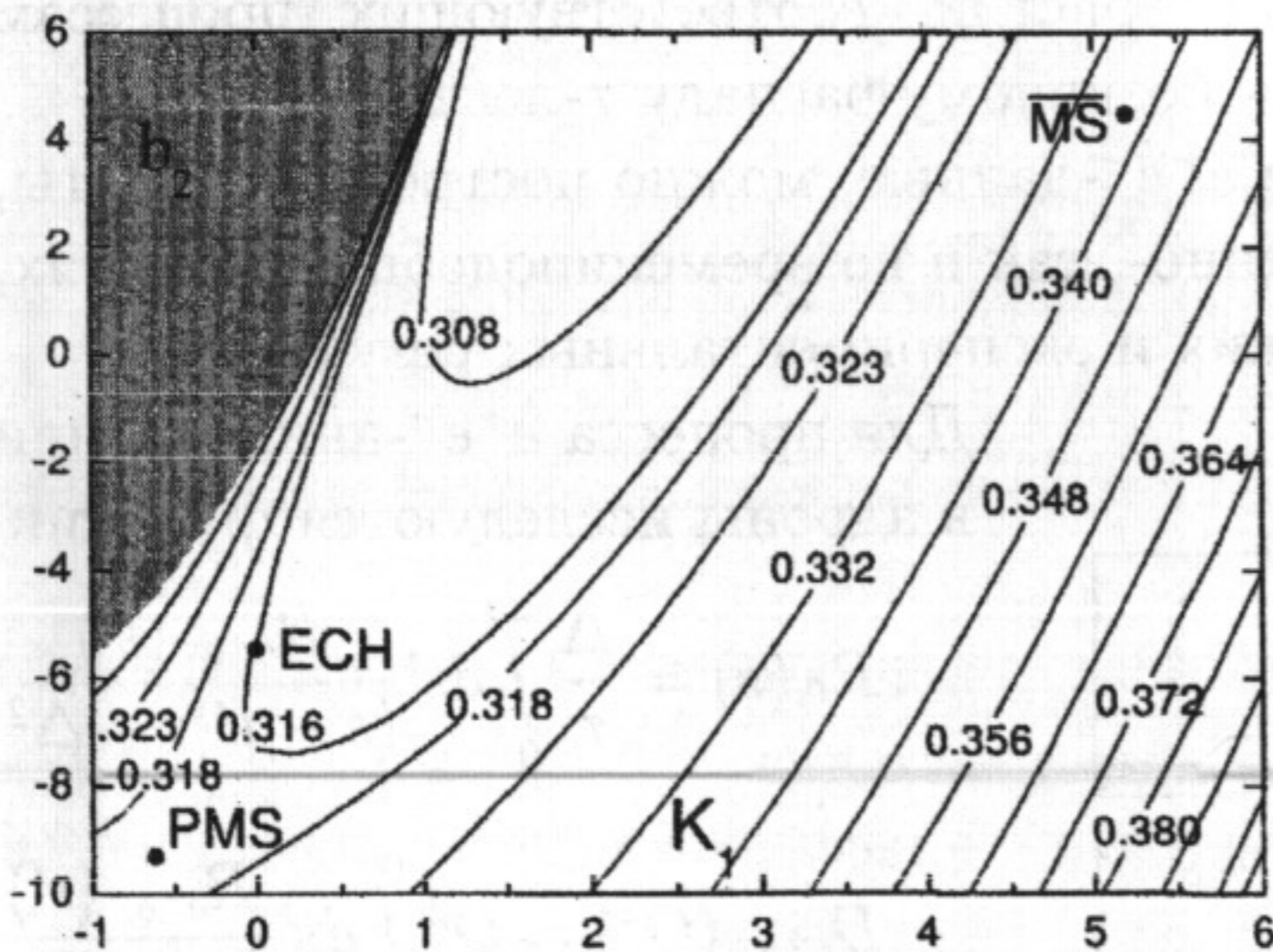


Рис. 7. Контурный график для значений $\alpha_s^{\overline{MS}}(M_\tau^2)$, получаемых из данных по распаду τ -лептона в адроны, при пертурбативном расчете с использованием разных схем перенормировок.

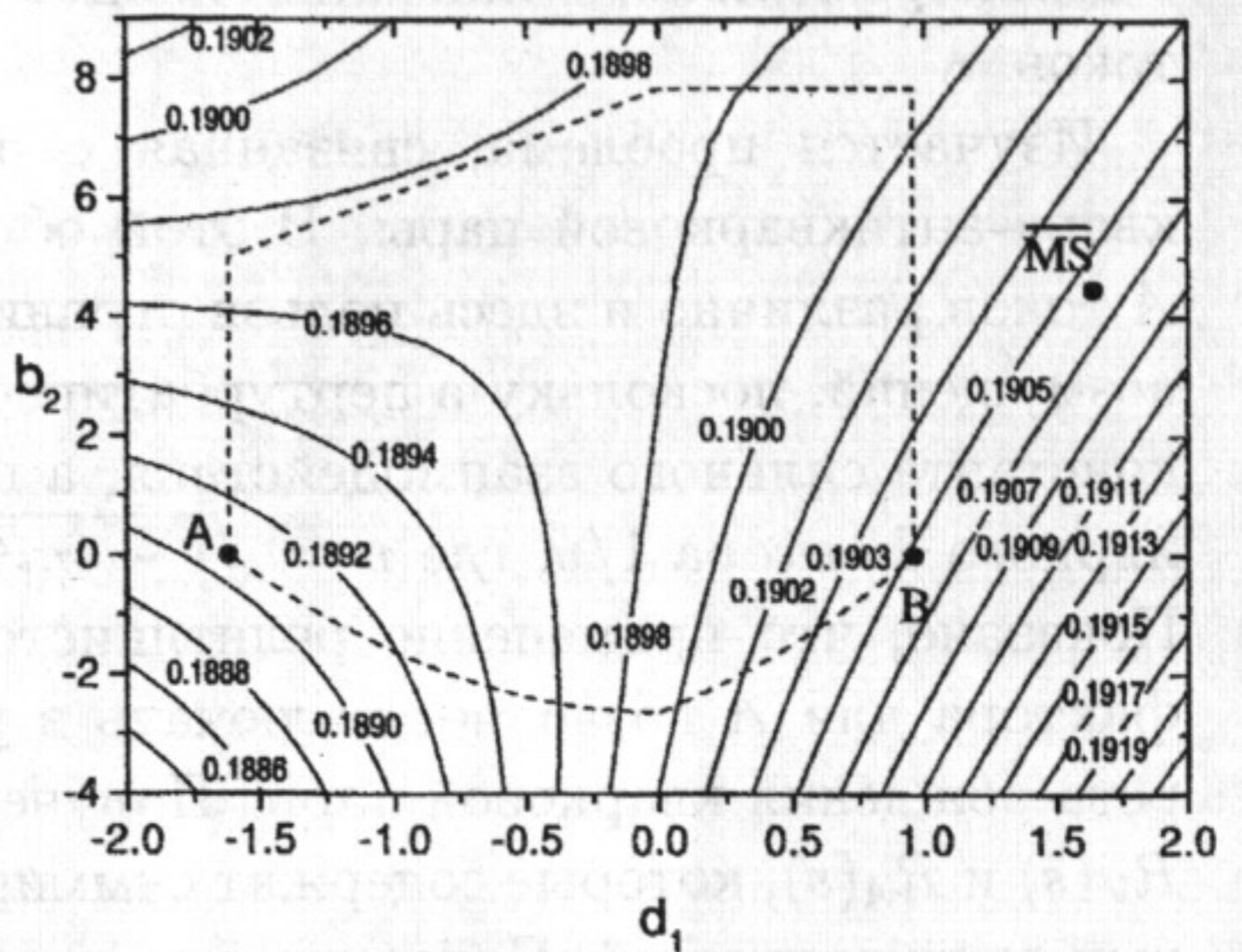


Рис. 6. Контурный график для значений δ_{an} как функции схемно-зависимых коэффициентов d_1 и b_2 .

что схемный произвол при нахождении значения $\alpha_s^{\overline{MS}}(M_\tau^2)$ приводит к гораздо большей неопределенности, чем погрешность, которая связана с точностью экспериментальных данных. Использование аналитической теории возмущений позволяет существенным образом снизить схемную неопределенность.

Проводится анализ экспериментальных данных ALEPH коллаборации для векторного (V) и аксиально-векторного (A) нестранных каналов распада τ -лептона в адроны. Спектральные функции $R_V(s)$ и $R_A(s)$ в низкоэнергетической области значительно отличаются друг от друга, тогда как в области $s > 2 \text{ ГэВ}^2$ они соответствуют пер-

2A 149980

Нацыянальная
бібліятэка
Беларусі

турбативному поведению. Ставится вопрос о дальнейшем развитии метода с целью отдельного описания вкладов в величину R_τ от V и A кварковых токов.

Изучается проблема, связанная с областью вблизи порога рождения кварк-антикварковой пары. В этой области поведение корреляторов V и A токов различно и здесь нельзя ограничиться конечным порядком теории возмущений, поскольку в пертурбативном разложении участвует не просто константа сильного взаимодействия, а присутствуют также степени сингулярного фактора $1/v$, где $v = \sqrt{1 - 4m^2/s}$ - скорость, а m - масса кварка. Показано, что применение релятивистского S -фактора для V тока и P -фактора для A позволяет включать в рассмотрение и область вблизи порога рождения кварковой пары. Получены новые выражения для функций $R_V(s)$ и $R_A(s)$, которые содержат суммирование бесконечного числа пороговых сингулярностей. Показано, что различие величин и функций, соответствующих векторному и аксиально-векторному каналам распада τ -лептона, может быть в основном описано S - и P -факторами и имеющими непертурбативную природу кварковыми массами. Согласно с экспериментальными данными для R_τ , V/A и функций $D_{\tau, V/A}(Q^2)$ удастся достигнуть только при массах легких u и d кварков порядка $240 \div 280$ МэВ.

Пятая глава диссертации посвящена совместному анализу пространственно- и времениподобных характеристик, соответствующих процессам e^+e^- -аннигиляции в адроны и инклюзивному распаду τ -лептона.

Используя экспериментальные e^+e^- -данные, можно построить объекты, определенные как в пространственно-, так и во времениподобной областях, и провести сравнение теоретических и экспериментальных результатов.

Для процесса e^+e^- -аннигиляции в адроны исследуются функции

$$R_\Delta(s) = \frac{\Delta}{\pi} \int_0^\infty ds' \frac{R_{e^+e^-}(s')}{(s-s')^2 + \Delta^2},$$

$$D_{e^+e^-}(Q^2) = Q^2 \int_0^\infty ds' \frac{R_{e^+e^-}(s')}{(s'+Q^2)^2},$$

которые выражаются через функцию $R_{e^+e^-}(s)$ - отношение сечений $\sigma(e^+e^- \rightarrow \text{адроны})/\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)$. Обсуждаются проблемы описания этих функций в теории возмущений.

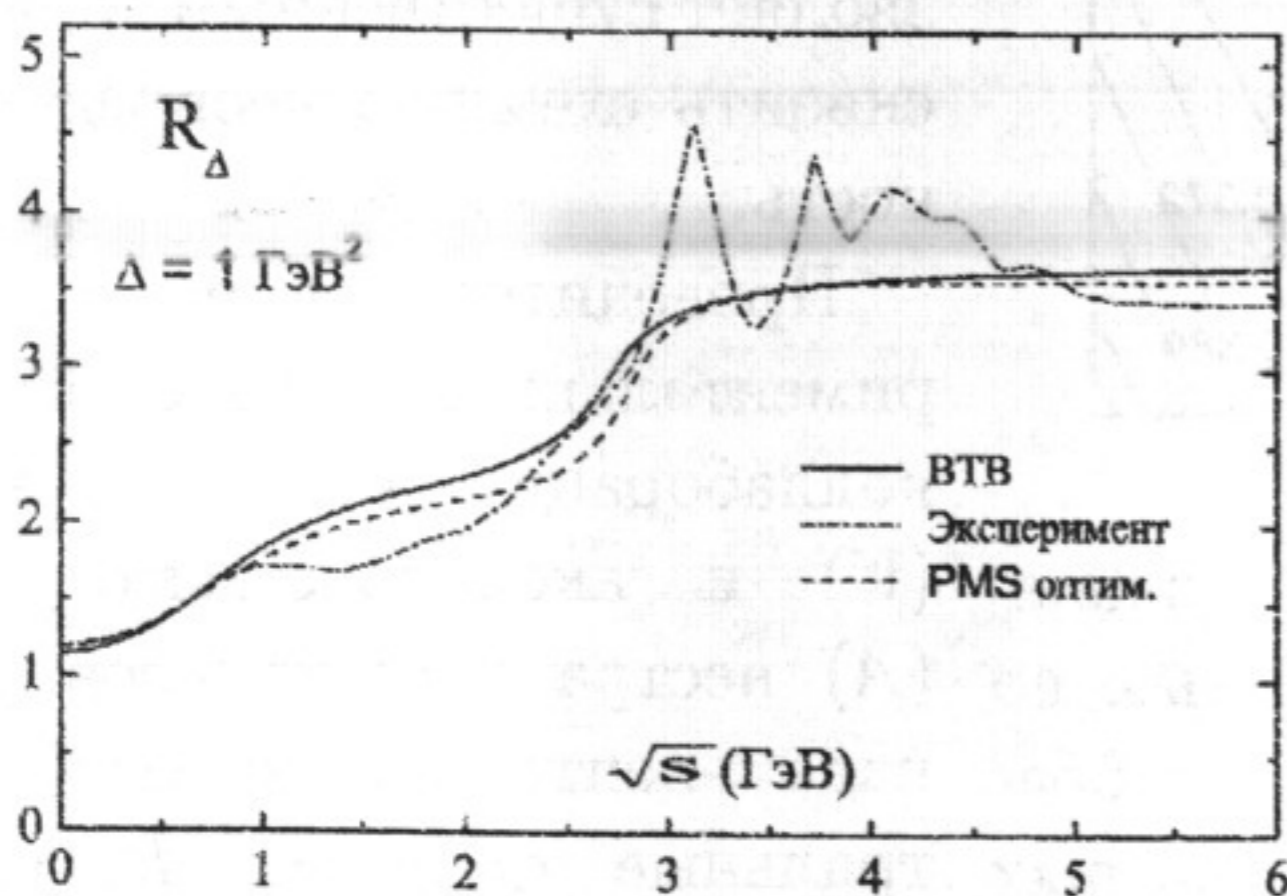


Рис. 8. Функция $R_\Delta(s)$ при $\Delta = 1 \text{ ГэВ}^2$.

Изучается возможность описания функций $R_{\Delta}(s)$ и $D_{e^+e^-}(Q^2)$ в рамках непертурбативного подхода, основанного на вариационной теории возмущений в порядках $O(a^3)$ и $O(a^5)$. Получено хорошее согласие с экспериментальными кривыми, которое иллюстрируется на рис. 8, 9 и 10.

Представленные на рис. 8 экспериментальная кривая (штрихпунктир) и результат PMS (пунктир) взяты из работы Матингли – Стивенсона, а результат вариационного подхода (сплошная линия) соответствует расчетам с точностью $O(a^5)$.

Показана стабильность результатов по отношению к учету вклада высших порядков. Установлено, что вариационный и аналитический подходы приводят к близким результатам для рассматриваемых функций. Показано, что хорошее согласие с экспериментальными данными

получается при расчетах в вариационном подходе с использованием масшозависимой ренормализационной схемы, что свидетельствует о схемной стабильности метода.

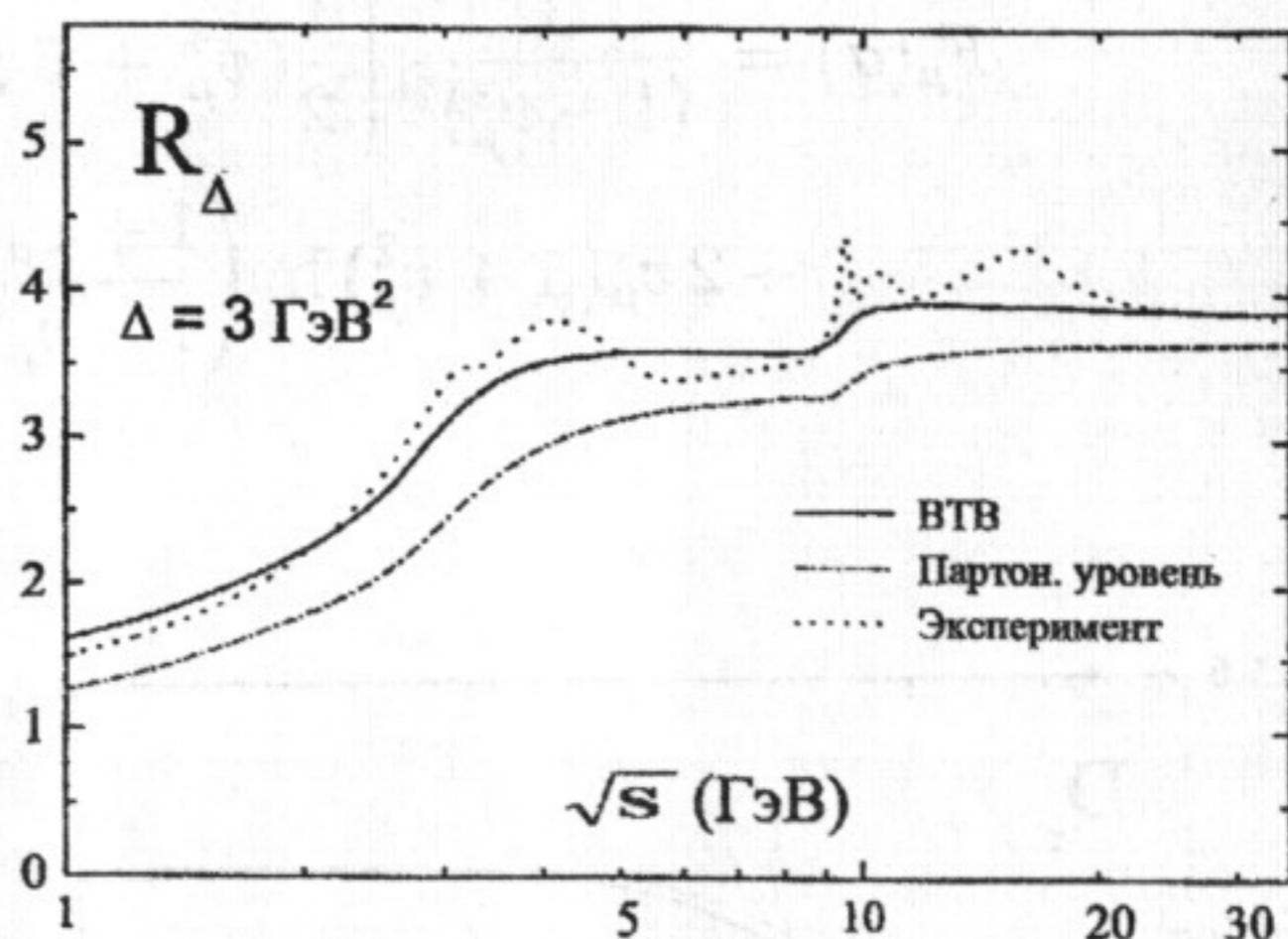


Рис. 9. R_{Δ} -функции при $\Delta = 3 \text{ ГэВ}^2$. Экспериментальная кривая (изображена точками) взята из работы Бродского и др.

Метод вариационной теории возмущений применяется для описания D -функции, соответствующей векторному каналу инклюзивного распада τ -лептона. Экспериментальная кривая $D_{\tau}^{\text{эксп}}$ была первоначально приведена в работе Рафаэля и др. С этой кривой и проводится сравнение, представленное на рис. 11.

Развиваемый подход применяется для вычисления вклада сильных взаимодействий в аномальный магнитный момент мюона.

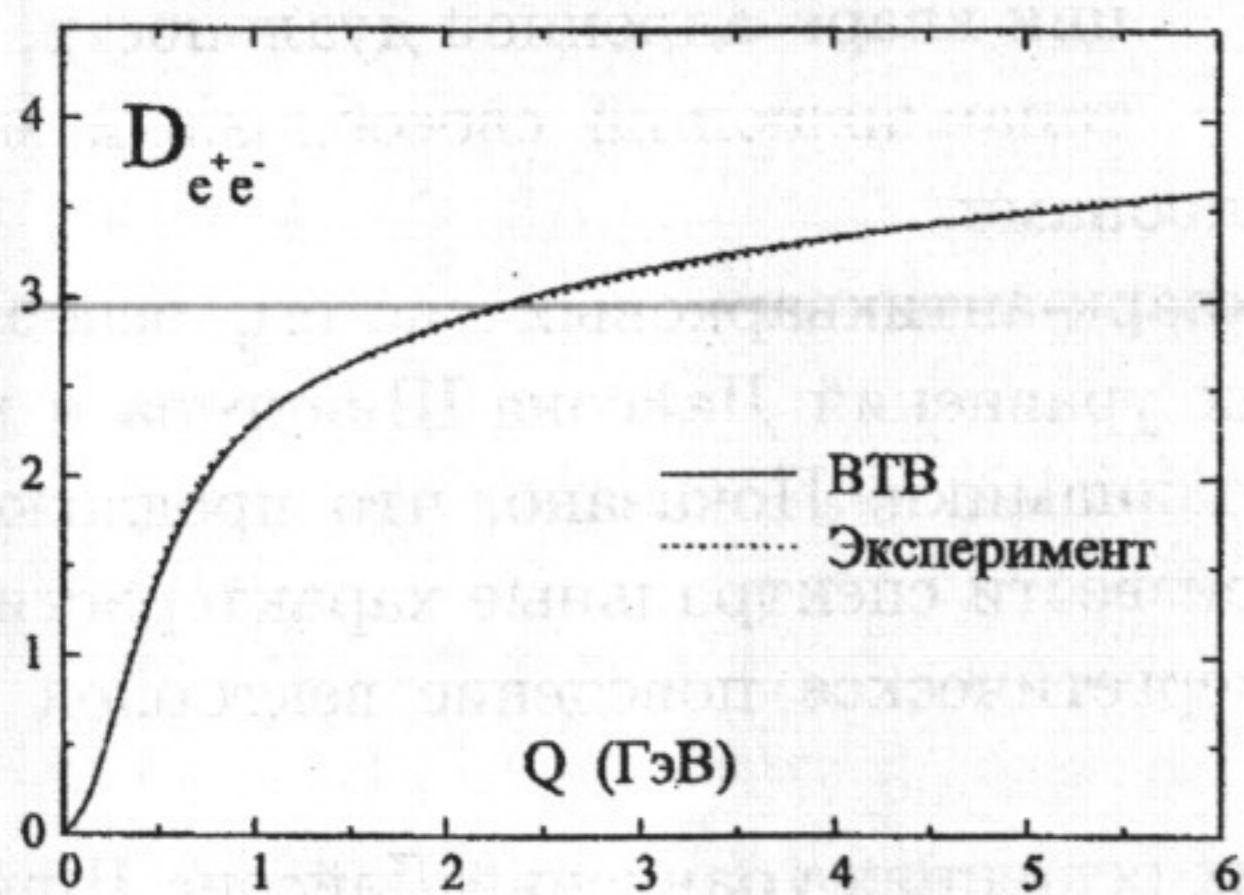


Рис. 10. D -функция, соответствующая процессу e^+e^- -аннигиляции в адроны. Экспериментальная кривая взята из работы Катаева и др.

Выводится новое выражение для весовой функции $\rho(\sigma)$ вне кирального предела, через которую далее записывается выражение для a_μ^{had} :

$$a_\mu^{\text{had}} = \left(\frac{\alpha}{\pi}\right)^2 \sum_f Q_f^2 \left[R(4m_f^2) - \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \frac{d\sigma}{\sigma} F_\mu(\sigma) \rho_f(\sigma) \right], \quad (7)$$

где

$$F_\mu(\sigma) = \frac{1}{(1-v_\mu^2)^2} \left[\frac{1}{2}(v_\mu^4 + 6v_\mu^2 + 1) \ln \left(\frac{1-v_\mu^2}{4} \right) + 2v_\mu(1+v_\mu^2) \ln \left(\frac{1+v_\mu}{1-v_\mu} \right) + \frac{1}{4}(1-v_\mu^2)(3+5v_\mu^2) \right].$$

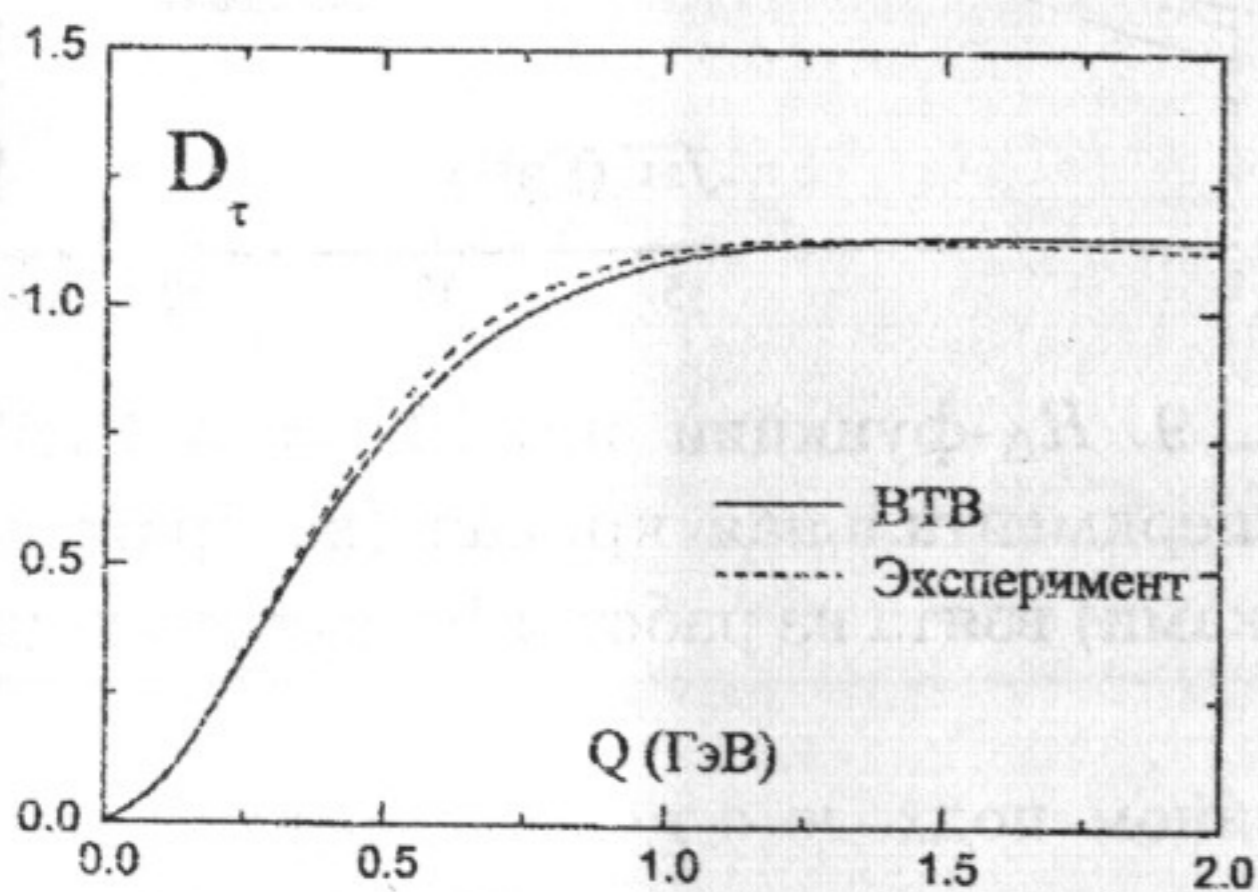


Рис. 11. D -функция, соответствующая векторному каналу τ -распада. Экспериментальная кривая взята из работы Рафаэля и др.

Показано, что найденная величина вклада сильных взаимодействий в аномальный момент мюона $a_\mu^{\text{had}} = (712 \pm 39) \times 10^{-10}$ находится в хорошем согласии с экспериментальными данными.

В шестой главе развивается общий подход к анализу различных R -зависимых физических величин с учетом непертурбативного характера массовых функций легких кварков. Сопоставление теоретических результатов с экспериментальными данными для подобного рода величин основано на концепции кварк-адронной дуальности, устанавливающей своеобразный мостик между кварками, глюонами и адронами.

Предлагается способ описания кварк-антикварковых систем, основанный на непертурбативных решениях уравнений Дайсона-Швингера и методе правил сумм квантовой хромодинамики. Показано, что предложенный метод позволяет хорошо воспроизвести спектральные характеристики ρ -мезона, а также описать низкоэнергетическое поведение векторной D -функции.

Основываясь на непертурбативных решениях уравнений Дайсона-Швингера и связанном с кварковым конденсатом понятии динамической массы кварка, предлагается аналитическое выражение для массовой функции легких кварков. Эта массовая функция, приводит, с одной стороны, к величине

полюсной массы кварка, близкой к конституентной, а, с другой стороны, при больших значениях импульсного аргумента становится малой, что соответствует понятию токовой массы кварка.

Показывается, что поведение функции $D(Q^2)$ в инфракрасной области позволяет надежно фиксировать массовые параметры легких кварков. Используя экспериментальные данные ALEPH коллаборации, строится и описывается R_Δ -функция, соответствующая векторному каналу τ -распада.

Приведенные на рис. 12 и 13 кривые демонстрируют, что в евклидовой области ($s < 0$) имеется хорошее согласие с экспериментальными данными, начиная с малых масштабов $s \simeq 0$, а во времениподобной области ($s > 0$) вначале имеется качественное согласие, а после прохождения области резонансов и количественное.

Развиваемый подход применяется для вычисления вкладов сильных взаимодействий в аномальные магнитные моменты лептонов:

$$a_\ell^{\text{had}} = \frac{1}{3} \left(\frac{\alpha}{\pi} \right)^2 \int_0^\infty \frac{ds}{s} K_\ell(s) R_{e^+e^-}(s), \quad (8)$$

где α — постоянная тонкой структуры, $K_\ell(s)$ — известная функция. Для вкладов в аномальные моменты электрона и τ -лептона получены значения: $a_e^{\text{had}} = (1,65 \pm 0,13) \times 10^{-12}$, $a_\tau^{\text{had}} = (3,26 \pm 0,15) \times 10^{-6}$, которые находятся в хорошем согласии с экспериментальными данными в случае электрона и теоретическими оценками в случае τ -лептона.

Рассчитывается адронный вклад в постоянную тонкой структуры на масштабе массы Z -бозона. Проведенные расчеты приводят к значению $\Delta\alpha_{\text{had}}^{(5)}(M_Z^2) = (278,2 \pm 3,5) \times 10^{-4}$, которое хорошо согласуется с экспериментальным значением $\Delta\alpha_{\text{had}}^{(5)}(M_Z^2) = (275,5 \pm 1,9_{\text{expt}} \pm 1,3_{\text{rad}}) \times 10^{-4}$, приведенными в работе Хагивары и др.

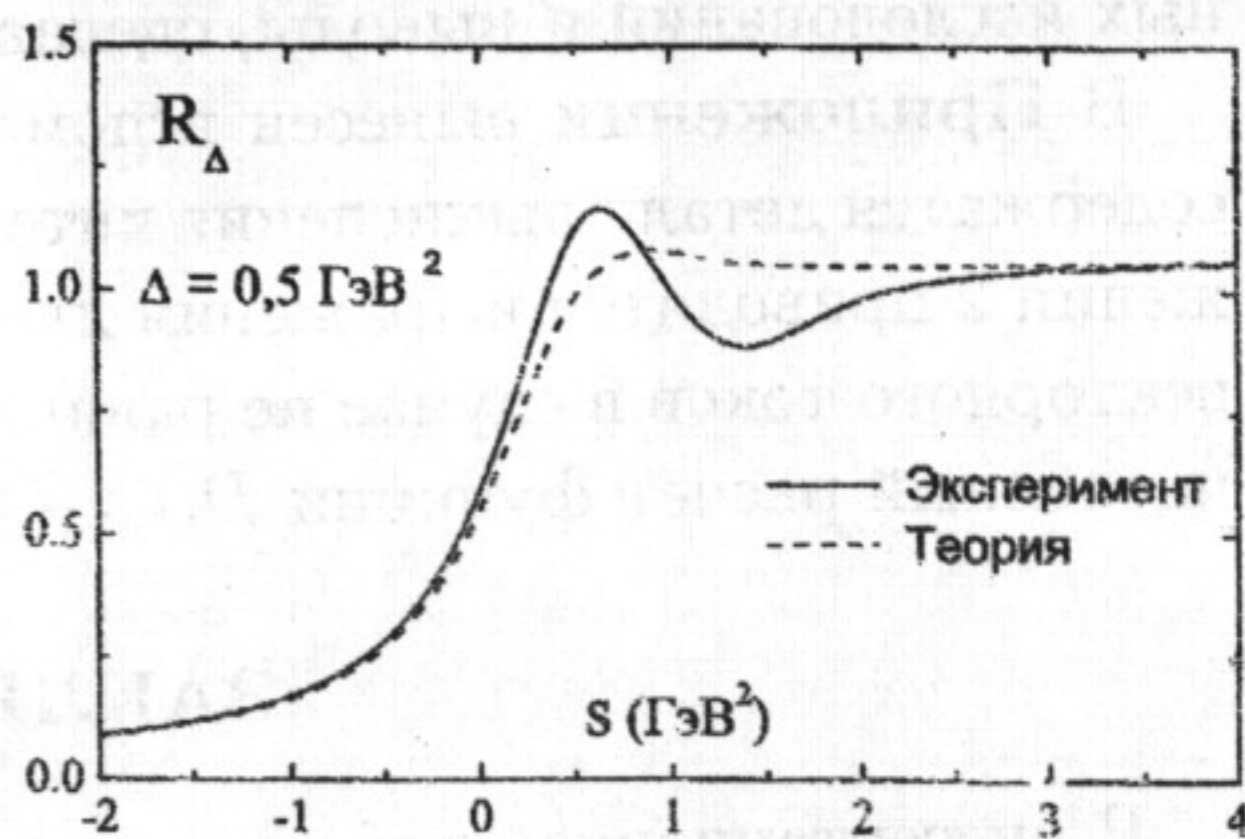


Рис. 12. $R_\Delta(s)$ при $\Delta = 0,5 \text{ ГэВ}^2$

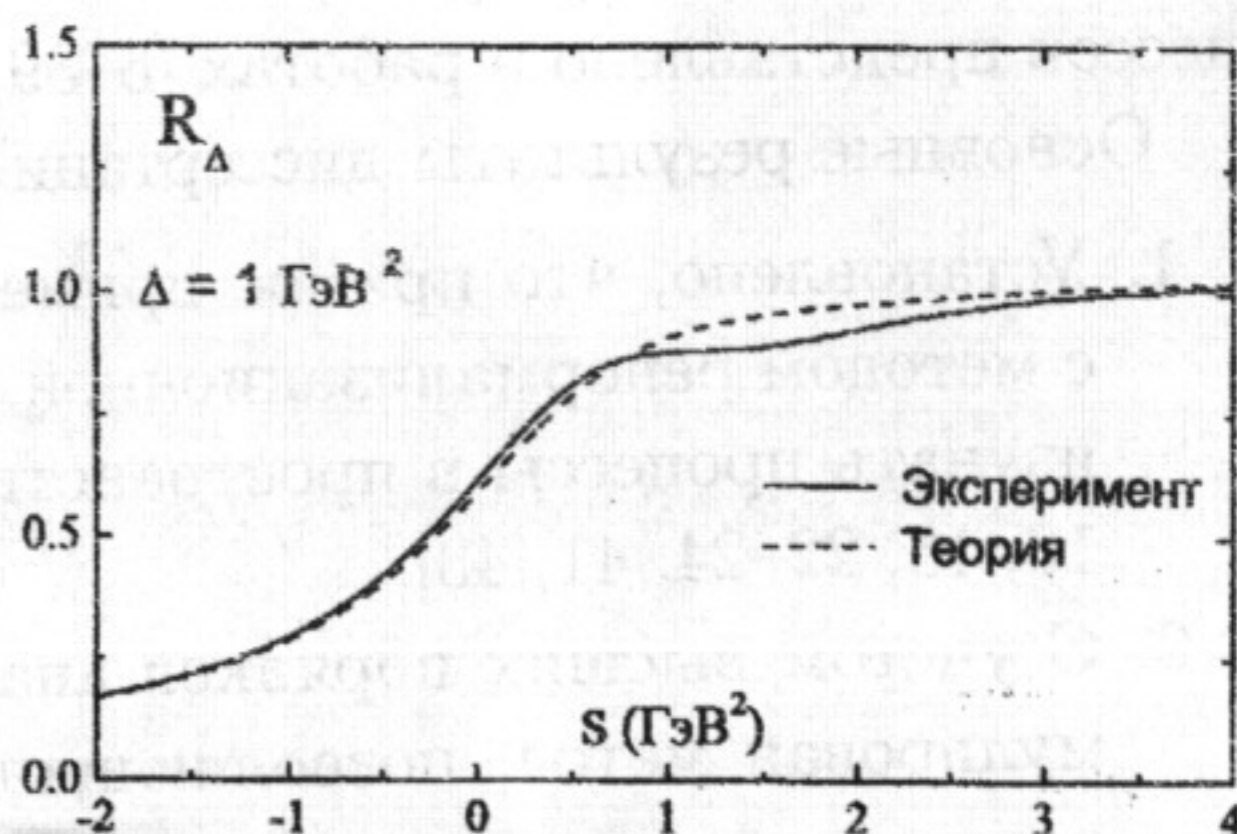


Рис. 13. $R_\Delta(s)$ при $\Delta = 1,0 \text{ ГэВ}^2$.

Формулируется подход к проведению вычислений в низкоэнергетической области квантовой хромодинамики. Показано, что этот подход позволяет с единых позиций описывать функции R_Δ , D_τ и $D_{e^+e^-}$, величины R_τ , вклад сильных взаимодействий в аномальные магнитные моменты мюона, электрона и τ -лептона, адронный вклад в постоянную тонкой структуры.

В конце каждой главы приводятся краткие выводы по результатам изложенных в ней исследований.

В **Заключении** сформулированы основные результаты диссертационных исследований и выводы, сделанные на их основе.

В **Приложения** вынесен вспомогательный материал. В Приложении 1 содержатся детали вычисления интеграла $I(x)$ из подраздела 2.1.2. В Приложении 2 приводятся выражения для корреляторов векторного и аксиально-векторного токов в случае не равных масс кварков. Приложение 3 поясняет численный расчет функции $D_{e^+e^-}(Q^2)$ в вариационной теории возмущений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе развиты и применены новые методы исследования процессов сильного взаимодействия элементарных частиц вне рамок теории возмущений. Непертурбативные методы изучения квантово-полевых систем опубликованы в работах [1–4, 40, 46], разработка непертурбативных методов в квантовой хромодинамике и описание на их основе адронных процессов представлено в работах [5–39, 41–45, 47, 48].

Основные результаты диссертации состоят в следующем.

1. Установлено, что прямое применение теории возмущений в сочетании с методом ренормализационной группы не позволяет самосогласованно изучать процессы в пространственно- и времениподобных областях [8, 13, 16, 22–24, 41, 43].
2. С учетом высших порядков аналитической теории возмущений сформулирован метод, позволяющий непротиворечивым образом анализировать адронные процессы в пространственно- и времениподобной областях. Дано детальное сравнение этого метода с ренорминвариантной теорией возмущений вплоть до трехпетлевого уровня. Установлена петлевая стабильность рядов аналитической теории возмущений как в пространственно-, так и во времениподобной областях [10, 12, 13, 18, 19, 23, 32, 33].
3. Впервые исследована роль Q^2 -аналитичности при изучении инклюзивного распада τ -лептона. Показано, что поддержка применяемым методом правильных аналитических свойств корреляционной функции

существенна для непротиворечивого описания этого процесса и оказывает заметное влияние на определение значения масштабного параметра квантовой хромодинамики и константы сильного взаимодействия из опытных данных [9, 10, 12, 16, 18, 22, 41, 47].

4. Впервые разработан метод анализа правил сумм глубокоэластичного лептон-адронного рассеяния, позволяющий обеспечить корректные аналитические свойства интегралов от структурных функций. Показано, что, в отличие от описания с помощью теории возмущений, новые аппроксимации для правил сумм глубокоэластичного лептон-адронного рассеяния стабильны по отношению к высшим петлевым поправкам во всем интервале переданного импульса. Найдено влияние дополнительных степенных поправок на определение непертурбативных вкладов, обусловленных высшими твистами [14, 15, 28, 32].
5. На основе анализа адронных процессов с характерными пространственно- и времениподобными импульсными аргументами установлено, что применение метода аналитической теории возмущений позволяет существенным образом снизить теоретическую неопределенность получаемых результатов, обусловленную зависимостью конечной аппроксимации от выбора схемы перенормировки [14, 15, 18, 22, 32].
6. Разработан метод вариационной теории возмущений и получены основные объекты метода ренормализационной группы в высших порядках. С учетом кварковых масс найдены новые выражения для ренормгрупповой β -функции и инвариантного заряда и исследовано их поведение в инфракрасной области. Используя полученные выражения, проведен анализ величины R_τ и функций R_Δ , D_τ и $D_{e^+e^-}$ [5-9, 11, 17, 20, 21, 29-31, 35, 36, 38, 39, 42-44].
7. Разработан новый подход к анализу различных R -зависимых физических величин. Впервые с единых позиций дано описание функций R_Δ , D_τ и $D_{e^+e^-}$, величины R_τ , вклада сильных взаимодействий в аномальные магнитные моменты мюона, электрона и τ -лептона, а также адронного вклада в постоянную тонкой структуры [19-21, 25-27, 34-39, 45, 48].

В основе развитой в диссертационной работе подхода к изучению адронных процессов в квантовой хромодинамике лежат общие принципы локальной квантовой теории поля. Сформулированный подход позволяет разрешить ряд проблем, связанных с использованием теории возмущений, и расширить область сопоставления результатов, полученных на основе квантовой хромодинамики, с экспериментальными данными.

Эффективность разработанного подхода показана для таких процессов сильного взаимодействия элементарных частиц, как электрон-позитронная аннигиляция в адроны, инклюзивный распад τ -лептона, глубоконеупругое лептон-адронное рассеяние, а также при определении адронного вклада в аномальные магнитные моменты мюона, электрона, τ -лептона и постоянную тонкой структуры.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи

а) журналы

1. Беляев В.Б., Соловцова О.П. О возможных обобщениях эволюционного по константе связи метода // Ядерная физика. – 1981. – Т. 34, № 2(8). – С. 339 – 343.
2. Беляев В.Б., Соловцова О.П. Пороговое фоторождение π^0 -мезонов на легчайших ядрах // Ядерная физика. – 1982. – Т. 35, № 4. – С. 868 – 874.
3. Соловцов И.Л., Соловцова О.П. Калибровочно-инвариантная функция Грина в модели Швингера // Изв. вузов. Физика. – 1984. – № 12. – С. 49 – 52.
4. Беляев В.Б., Соловцова О.П. Адронный атом в модели Ли // Краткие сообщения ОИЯИ. – 1986. – № 18-[86]. – С. 18 – 24.
5. Sissakian A.N., Solovtsov I.L., Solovtsova O.P. β -function for φ^4 -model in variational perturbation theory // Phys. Lett. B. – 1994. – Vol. 321, № 4. – P. 381 – 384.
6. Sissakian A.N., Solovtsov I.L., Solovtsova O.P. Non-perturbative β -function in quantum chromodynamics // Mod. Phys. Lett. A. – 1994. – Vol. 9, № 26. – P. 2437 – 2443.
7. Solovtsov I.L., Solovtsova O.P. $R_{e^+e^-}$ at low energies in variational perturbation theory // Phys. Lett. B. – 1995. – Vol. 344, № 1-4. – P. 377 – 382.
8. Jones H.F., Solovtsov I.L., Solovtsova O.P. Analytic properties of the QCD running coupling constant and τ decay // Phys. Lett. B. – 1995. – Vol. 357, № 3. – P. 441 – 445.
9. Jones H.F., Sissakian A.N., Solovtsov I.L., Solovtsova O.P. τ decay and e^+e^- annihilation at low energies in the nonperturbative approach to QCD // Chin. J. Phys. – 1996. – Vol. 34, № 3-II. – P. 973 – 978.

10. Соловцова О.П. Роль аналитичности константы связи КХД при описании инклюзивного распада τ лептона в адроны // Письма в ЖЭТФ. – 1996. – Т. 64, вып. 9-10. – С. 664 – 667.
11. Ebert D., Solovtsov I.L., Solovtsova O.P. Variational nonperturbative expansion in QCD, momentum renormalization scheme and e^+e^- annihilation at low energies // Nuovo Cim. A. – 1997. – Vol. 110, № 3. – P. 315 – 329.
12. Milton K.A., Solovtsov I.L., Solovtsova O.P. Analytic perturbation theory and inclusive τ decay // Phys. Lett. B. – 1997. – Vol. 415, № 1. – P. 104 – 110.
13. Milton K.A., Solovtsova O.P. Analytic perturbation theory: A new approach to the analytic continuation of the strong coupling constant α_s into the timelike region // Phys. Rev. D. – 1998. – Vol. 57, № 9. – P. 5402 – 5409.
14. Milton K.A., Solovtsov I.L., Solovtsova O.P. The Bjorken sum rule in the analytic approach to perturbative QCD // Phys. Lett. B. – 1998. – Vol. 439, № 5. – P. 421 – 427.
15. Milton K.A., Solovtsov I.L., Solovtsova O.P. The Gross-Llewellyn Smith sum rule in the analytic approach to perturbative QCD // Phys. Rev. D. – 1999. – Vol. 60, № 1. – Art. № 016001. – P. 1-8.
16. Solovtsova O.P. Role of the Q^2 analyticity of α_s for timelike processes // Ядерная физика. – 2000. – Т. 63, № 4. – С. 738 – 741.
17. Milton K.A., Solovtsov I.L., Solovtsova O.P. Timelike and spacelike QCD characteristics of the e^+e^- annihilation process // Eur. Phys. J. C. – 2000. – Vol. 13, № 3. – 497 – 502.
18. Milton K.A., Solovtsov I.L., Solovtsova O.P., Yasnov V.I. Renormalization scheme and higher loop stability in hadronic τ decay within analytic perturbation theory // Eur. Phys. J. C. – 2000. – Vol. 14, № 3. – P. 495 – 501.
19. Milton K.A., Solovtsov I.L., Solovtsova O.P. The Adler function for light quarks in analytic perturbation theory // Phys. Rev. D. – 2001. – Vol. 64, № 1. – Art. № 016005. – P. 1-6.
20. Sissakian A.N., Solovtsov I.L., Solovtsova O.P. A nonperturbative α -expansion technique and the Adler D -function // Письма в ЖЭТФ. – 2001. – Т. 73, № 4. – С. 186 – 189.
21. Solovtsov I.L., Solovtsova O.P. Non-perturbative expansion technique and threshold resummation for the inclusive tau-decay and annihilation into hadrons processes // Nonlin. Phenom. Complex Syst. – 2002. – Vol. 5, № 1. – P. 51 – 58.

22. Milton K.A., Solovtsov I.L., Solovtsova O.P. Remark on the perturbative component of inclusive tau decay // *Phys. Rev. D.* – 2002. – Vol. 65, № 7-B. – Art. № 076009. – P. 1-4.
23. Milton K.A., Solovtsova O.P. Perturbative expansions in the inclusive decay of the tau lepton // *Int. J. Mod. Phys. A.* – 2002. – Vol. 17, № 26. – P. 3789 – 3808.
24. Соловцова О.П. Теория возмущений и аналитический подход в инклюзивном распаде тау лептона // *Теор. и мат. физ.* – 2003. – Т. 134, № 3. – С. 416 – 429.
25. Solovtsov I.L, Solovtsova O.P., Chernichenko Yu.D. Relativistic resummation of threshold singularities in the quasipotential approach // *Письма в ЭЧАЯ.* – 2005. – Т. 2, № 4(127). – С. 17 – 23.
26. Solovtsova O.P. Inclusive τ -decay and QCD sum rules in variational perturbation theory // *Nonlin. Phenom. Complex Syst.* – 2005. – Vol. 8, № 1. – P. 49 – 55.
27. Соловцова О.П. Непертурбативные решения уравнений Дайсона-Швингера в квантовой хромодинамике и свойства ρ мезона // *Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого.* – 2005. – № 1. – С. 3 – 10.
28. Соловцова О.П. Q^2 -зависимость интеграла для правила сумм Гросса-Ллевеллина Смита в аналитической теории возмущений // *Весці НАН Беларусі, Сер. фіз. - мат. навук.* – 2005. – № 4. – С. 72 – 76.

б) сборники

29. Sissakian A.N., Solovtsov I.L., Solovtsova O.P. Nonperturbative Gell-Mann-Low function in ϕ^4 -model // *Nonlinear Phenomena in Complex Systems: Proc. of the Third Annual Seminar.* – Polatsk, Belarus, 14–16 Febr. 1994 / Eds. V. Kuvshinov, G. Krylov, Institute of Physics, Minsk, 1995. – P. 218 – 222.
30. Sissakian A.N., Solovtsov I.L., Solovtsova O.P. Method of variational perturbation theory in QCD // *Symmetry Methods in Physics (ICSMP-95): Proc. of the VII Int. Conf.* – Dubna, Russia, 10–16 Jul. 1995 / Eds. A.N. Sissakian, G.S. Pogosyan. – JINR, Dubna, 1996. – Vol. II. – P. 513 – 519.
31. Sissakian A.N., Solovtsov I.L., Solovtsova O.P. e^+e^- annihilation into hadrons at low energies and τ decay in the nonperturbative approach to quantum chromodynamics // *High Energy Physics and Field Theory: Proc. of the XVIII Workshop – Protvino, Russia, 26–30 Jun. 1995 / Protvino, 1996.* – P. 235 – 242.

32. Milton K.A., Solovtsov I.L., Solovtsova O.P. Analytic Perturbative Approach to QCD // High Energy Physics (ICHEP 98): Proc. of the XXIX Int. Conf. – Vancouver, Canada, 23-29 Jul. 1999 / Eds. A. Astbury, D. Axen, J. Robinson – World Scientific Publ. Co., Singapore, 1999, Vol. II. – P. 1608 – 1612.
33. Solovtsova O.P. Analytic approach to QCD and running coupling for time-like processes // Симметрии и интегрируемые системы: Тр. семина. / Под общ. ред. А.Н. Сисакяна. – Дубна, ОИЯИ, Д2-99-310, 1999, С. 240 – 246.
34. Milton K.A., Solovtsov I.L., Solovtsova O.P. Threshold effects in inclusive tau-lepton decay // Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics: Proc. of the XV Int. Seminar on High Energy Probl., Dubna, 25-29 Sep. 2000/ JINR, Dubna, Vol. II. – P. 34 – 138.
35. Sissakian A.N., Solovtsov I.L., Solovtsova O.P. D -function in nonperturbative α -expansion technique // Group Theoretical Methods in Physics: Proc. of XXIII Int. Colloquium / Eds. A.N. Sissakian, G.S. Pogosyan, L.G. Mardoyan. – JINR, Dubna, 2002, Vol. I. – P. 322 – 327.
36. Solovtsov I.L., Solovtsova O.P. Inclusive τ -decay and e^+e^- annihilation into hadrons in non-perturbative approach to QCD // Actual problems of particle physics: Proc. of the Int. School-Seminar – Gomel, 7-17 Aug. 2001 / Eds. A. Bogush, Ju. Fedotova, A. Ilichev e. a. – JINR, Dubna, 2002, Vol. I. – P. 312 – 327.
37. Solovtsova O.P. Analytic approach in QCD and τ decay // Multiparticle Dynamics: Proc. of the XXXII Int. Symp. – Alushta, Crimea, Ukraine, 7-13 Sept. 2002 / Eds. A. Sissakian e. a. – World Scientific Publ. Co., Singapore, 2003. – P. 208 – 211.
38. Solovtsova O.P. Nonperturbative effects in the hadronic decay of the tau-lepton // Actual problems of microworld physics: Proc. of the Int. School-Seminar – Gomel, Belarus, 28 Jul.– 8 Aug., 2003 / Ed. P. Starovoitov – JINR; E1,2-2004-93. – Dubna, 2004, Vol. I. – P. 265 – 280.
39. Solovtsova O.P. Nonperturbative effects in the hadronic decay of the tau-lepton // Particle Physics in Laboratory, Space and Universe: Proc. of the XI Lomonosov Conf. on Elementary Particle Physics – Moscow, Russia 21-27 Aug. 2003 / Ed. A.I. Studenikin, World Scientific Publ. Co., New York, 2005. – P. 237 – 243.

в) препринты

40. Беляев В.Б., Соловцова О.П. Модели Ли в эволюционном по константе связи методе. – Дубна, 1984. – 8 с. – (Сообщение / Объед. ин-т ядерн.

- исслед.; P2-84-97).
41. Jones H.F., Solovtsov I.L., Solovtsova O.P. Analytic properties of the QCD running coupling constant and τ decay. – London, 1995. – 11 p. – (Preprint / Imperial Coll.; IMPERIAL-TP-94-95-42).
 42. Ebert D., Solovtsov I.L., Solovtsova O.P. Nonperturbative expansion with massive quarks and e^+e^- annihilation into hadrons at low-energies. – Dubna, 1995. – 8 p. – (Preprint / JINR; E2-95-385).
 43. Jones H.F., Sissakian A.N., Solovtsov I.L., Solovtsova O.P. Tau decay and e^+e^- annihilation at low energies in the nonperturbative approach to QCD. – Dubna, 1996. – 6 p. – (Preprint / JINR; E2-96-12).
 44. Ebert D., Solovtsov I.L., Solovtsova O.P. Non-perturbative expansion in QCD and e^+e^- annihilation into hadrons at low energies. – Hamburg, 1996. – 20 p. – (Preprint / DESY; 96-075).
 45. Milton K.A., Solovtsov I.L., Solovtsova O.P. Threshold effects in inclusive tau-lepton decay. – Dubna, 2001. – 9 p. – (Preprint / JINR; E2-2001-16).

Тезисы докладов

46. Беляев В.Б., Соловцова О.П. О применении эволюционного по константе связи метода для анализа теоретико-полевых моделей // Тез. докл. IX Европейской конф. по проблеме нескольких тел в физике. – Тбилиси, 25-31 авг. 1984 г. / Тбилисский гос. ун-т, Тбилиси, 1984. – С. 6-7.
47. Solovtsova O.P. Effect of α_s analyticity in semileptonic τ decay // Тез. докл. XIII Межд. конф. по проблемам физики высоких энергий “Релятивистская ядерная физика и квантовая хромодинамика”. – Дубна, 2-7 сент. 1996 г. / Объед. ин-т ядерн. исслед. – Дубна, 1996. – С. 33.
48. Solovtsova O.P. Threshold effects in the inclusive tau lepton decay // Тез. докл. XV Межд. конф. по проблемам физики высоких энергий “Релятивистская ядерная физика и квантовая хромодинамика”. – Дубна, 25-29 сент. 2000 г. / Объед. ин-т ядерн. исслед. – Дубна, 2000. – С. 20.

РЕЗЮМЕ

Соловцова Ольга Павловна

КВАНТОВОХРОМОДИНАМИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ АДРОННЫХ ПРОЦЕССОВ В НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ

Ключевые слова: элементарные частицы, квантовая хромодинамика, адронные процессы, непертурбативные методы

Объектом исследования являются процессы сильного взаимодействия элементарных частиц. Предмет исследования – характеристики адронных процессов в низкоэнергетической области квантовой хромодинамики и методы их изучения, выходящие за рамки теории возмущений. Цель работы состоит в разработке квантовохромодинамического метода описания адронных процессов в низкоэнергетической области.

В работе сформулирована аналитическая теория возмущений и установлена стабильность аналитических аппроксимаций по отношению к высшим петлевым поправкам как в пространственно-, так и во времениподобной областях. Впервые исследована роль аналитичности при описании инклюзивного распада τ -лептона. Установлено, что применение аналитической теории возмущений позволяет существенным образом снизить теоретическую неопределенность получаемых результатов, обусловленную зависимостью аппроксимации конечного порядка от выбора схемы перенормировки. Разработан метод анализа правил сумм глубоконеупругого лептон-адронного рассеяния, позволяющий обеспечить корректные аналитические свойства интегралов от структурных функций. Найден явный вид дополнительных степенных вкладов и установлено их влияние на величину непертурбативных поправок. Развита метод вариационной теории возмущений в высших порядках и с учетом кварковых масс. Разработан общий подход к анализу различных R -зависимых физических величин и впервые с единых позиций дано описание функций R_Δ , D_τ и $D_{e^+e^-}$, величины R_τ , вклада сильных взаимодействий в аномальные магнитные моменты мюона, электрона и τ -лептона, а также адронного вклада в постоянную тонкой структуры.

Развитый в работе подход расширяет область хромодинамического описания процессов сильного взаимодействия элементарных частиц, что позволяет использовать полученные результаты для дальнейшего тестирования квантовой хромодинамики в области промежуточных и низких энергий и, в частности, более детально исследовать закон эволюции инвариантного заряда и непертурбативные эффекты.

РЭЗЮМЭ

Салаўцова Вольга Паўлаўна

КВАНТАВАХРОМАДЫНАМІЧНАЕ АПІСАННЕ АДРОННЫХ ПРАЦЭСАЎ У
НІЗКАЭНЕРГЕТЫЧНАЙ ВОБЛАСЦІ

Ключавыя словы: элементарныя часцінкі, квантавая хромадынаміка, адронныя працэсы, непертурбатыўныя метады

Аб'ектам даследавання з'яўляюцца працэсы моцнага ўзаемадзеяння элементарных часцінак. Прадмет даследавання – характарыстыкі адронных працэсаў у нізкаэнергетычнай вобласці квантавай хромадынамікі і метады іх вывучэння, выходзячы за рамкі тэорыі узбурэння. Мэта работы – распрацоўка квантавахромадынамічнага метада апісання адронных працэсаў у нізкаэнергетычнай вобласці.

У рабоце сфармулявана аналітычная тэорыя узбурэння і ўстаноўлена стабільнасць аналітычных апраксімацый у дачыненні да вышэйшых петлявых паправак як у прасторавай, так і ў часападобнай вобласцях. Упершыню даследавана роля аналітычнасці ў апісанні інклюзіўнага распаду τ -лептона. Устаноўлена, што выкарыстанне аналітычнай тэорыі узбурэння дазваляе істотным чынам знізіць тэарэтычную невызначанасць атрымліваемых вынікаў, абумоўленную залежнасцю апраксімацыі канчатковага парадку ад выбару схемы перанарміроўкі. Распрацаваны метады аналізу правіл сум глыбоканяпруткага лептон-адроннага рассеявання, які дазваляе забяспечыць карэктныя аналітычныя ўласцівасці інтэгралаў ад структурных функцый. Знойдзены яўны від дапаўняючых ступенных укладаў і ўстаноўлены іх уплыў на велічыню непертурбатыўных паправак. Развіты метады варыяцыйнай тэорыі узбурэння у вышэйшых парадках і з улікам кваркавых мас.

Распрацаваны агульны падыход да аналізу розных R -залежных фізічных велічынь і ўпершыню з адзіных пазіцый дадзена апісанне функцый R_Δ , D_τ , велічыні R_τ , укладка моцных узаемадзеянняў у аномальныя магнітныя моманты мюона, электрона, і τ -лептона, а таксама адроннага ўкладу ў пастаянную тонкай структуры.

Развіты ў працы падыход пашырае вобласць хромадынамічнага апісання працэсаў моцнага ўзаемадзеяння элементарных часцінак, што дазваляе выкарыстоўваць атрыманыя вынікі для далейшага тэстыравання квантавай хромадынамікі ў вобласці прамежкавых і нізкіх энергій і, у прыватнасці, больш дэталёва даследваць закон эвалюцыі інварыянтнага зараду і непертурбатыўныя эфекты.

RESUME

Solovtsova Olga Pavlovna

CHROMODYNAMICAL DESCRIPTION OF HADRONIC PROCESSES
IN LOW ENERGY DOMAIN

Key words: elementary particles, quantum chromodynamics, hadronic processes, nonperturbative methods

Object of research are processes of strong interaction of elementary particles. An subject of research are characteristics of hadronic processes in low energy area of quantum chromodynamics and methods of their studying which are beyond perturbation theory. The purpose of research consists in development a method of chromodynamical description of hadronic processes at low energies.

In dissertation an analytic perturbation theory is formulated and a stability of analytic approximations with respect to the higher loop corrections is established both in the spacelike, and in the timelike regions. For the first time the role of analyticity is investigated in a description of inclusive decay of the τ -lepton. It is established, that an application of analytic perturbation theory allows us to reduce the theoretical uncertainty of results obtained significantly caused by a dependence of the finite order approximation from a choice of the renormalization scheme. The method of the analysis of the deep inelastic lepton-hadron scattering sum rules is developed. This method allows to provide correct analytic properties of integrals from the structure functions. The explicit form of additional power contributions is found and their influence on a size nonperturbative corrections is established. The method of variational perturbation theory in higher orders and including quark masses is developed. The general approach to the analysis of different R -related physical quantities is developed. It is shown that the method suggested allows us to describe well such objects as the functions R_Δ , D_τ и $D_{e^+e^-}$, the quantity R_τ , the hadronic contributions to the anomalous magnetic moments of the muon, electron and τ -lepton, and the hadronic contribution to the fine structure constant.

The approach developed in the dissertation expands an area describing within chromodynamics of strong interaction processes of elementary particles that allows us to use the results obtained for the further quantum chromodynamics testing in the field of intermediate and low energies and, in particular, investigate in more details the evolution of the invariant charge and nonperturbative effects.

Соловцова Ольга Павловна



8000000228702 1

**КВАНТОВОХРОМОДИНАМИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ
АДРОННЫХ ПРОЦЕССОВ
В НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук
по специальности

01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц

Подписано в печать **20** декабря 2005 г.

Формат 60 × 90 1/16. Бумага офисная.

Печать офсетная. Печ. л. 2,3. Учетн. изд. л. 2,1.

Тираж 60 экз. Заказ № **45**

Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, 220072,
г. Минск, пр. Независимости, 68. Отпечатано на ризографе
Института физики НАНБ. Лицензия ЛП № 20 от 27.05.2003 г.