

Ա.Ի. Ալիխանյանի անվան ԱԶԳԱՅԻՆ ԳԲՏԱԿԱՆ ԼԱԲՈՐԱՏՈՐԻԱ
(Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտ)

Եղիազարյան Արսեն Գագիկի

ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ ՔՐՈՄՈԴԻՆԱՄԻԿԱՅԻ $O(\alpha_s)$ ԿԱՐԳԻ

ՈՒՂՂՈՒՄՆԵՐԸ $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$ ՏՈՂՆՄԱՆ ՀԱՄԱՐ

Ա.04.02 – «Տեսական ֆիզիկա» մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական
գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՄԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ-2012

НАЦИОНАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ им. А.И. Алиханяна
(Ереванский Физический Институт)

Егизарян Арсен Гагикович

$O(\alpha_s)$ ПОПРАВКИ КВАНТОВОЙ ХРОМОДИНАМИКИ

ДЛЯ РАСПАДА $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности
01.04.02 – "Теоретическая физика"

ЕРЕВАН-2012

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Ա.Ի.Ալիխանյանի անվան Ազգային Գիտական Լաբորատորիայում (Երևանի Ֆիզիկայի Ինստիտուտ):

Գիտական ղեկավար՝ ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր
Ն.Մ. Ասատրյան (ԱԱԳԼ)
Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր
Ա.Յու.Լուջանիդյան(Ջիզնի Վամ.,ԳԴՎ)
ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր
Դ.Ռ. Կարախանյան (ԱԱԳԼ)
Առաջատար կազմակերպություն՝ Երևանի Պետական Վարչապարան

Պաշտպանությունը կայանալու է 2012թ. ապրիլի 10-ին ժամը 14:00-ին Ա.Ի. Ալիխանյանի անվան Ազգային Գիտական Լաբորատորիայում գործող ԲՈՎ-ի 024 մասնագիտական խորհրդի նիստում (0036, Երևան, Ալիխանյան Եղբայրների փ. 2):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ Ա. Ի. Ալիխանյանի անվան Ազգային Գիտական Լաբորատորիայի գրադարանում:

Մեղմագիրն առաքված է 2012թ. մարտի 2-ին:

Մասնագիտական խորհրդի գիտ. քարտուղար
ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր

 Է.Գ. Գազարյան

Тема диссертации утверждена в Национальной Научной Лаборатории имени А.И. Алиханяна (Ереванском Физическом Институте).


Научный руководитель: доктор физико-математических наук
Асатрян Г.М. (ННЛА)
Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
Ходжамирян А.Ю. (Унив. Зигена, ФРГ)
доктор физико-математических наук,
Караханян Д. Р. (ННЛА)
Ведущая организация: Ереванский Государственный
Университет

Защита диссертации состоится 10 апреля 2012 года в 14:00 часов на заседании специализированного совета ВАК 024 действующего при Национальной Научной Лаборатории им. А.И. Алиханяна (0036, г. Ереван, ул. братьев Алиханян 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ННЛА.

Автореферат разослан 2 марта 2012г.

Ученый секретарь спец. совета д.ф.м.н.

 Э.Д. Газарян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Стандартная Модель (СМ), основанная на работах Вайнберга–Салама–Глэшоу, является объединением слабого и электромагнитного взаимодействий. В описании взаимодействий элементарных частиц СМ является очень успешной теорией. Однако, возможно она не является окончательной теорией, а является низкоэнергетическим пределом более общей теории. Ожидается, что физика вне СМ должна проявиться при энергиях от нескольких сотен GeV до 1 TeV.

Редкие инклюзивные распады В-мезонов являются важным источником информации в физике масштабов нескольких сотен GeV. В рамках СМ эти процессы идут через петлевые диаграммы, и их вклад подавлен из-за больших масс калибровочных бозонов. В некоторых расширениях СМ вклады в эти процессы от диаграмм с ‘новыми’ частицами соизмеримы, а иногда и больше вкладов СМ. Поэтому, получение точных экспериментальных данных для редких распадов накладывает сильные ограничения на СМ, и может привести к несогласию с СМ, что будет доказательством некой ‘новой физики’.

Важной частью СМ является матрица ККМ (Кабиббо-Кобаяши-Маскава), которая параметризует взаимодействие кварков с заряженными токами. Матрица ККМ является единственным источником CP нарушений в СМ. В этой связи исследования в области редких распадов В-мезонов имеют особое значение, так как накладывают ограничения на элементы ККМ матрицы.

Некоторые особенности *b*-адронов способствуют изучению теоретических и экспериментальных сторон физики В-мезонов. Первое - сравнительно долгое время жизни $\tau_b \approx 1.6 ps$. Второе - масса *b*-кварка намного

больше характерного масштаба КХД $m_b \gg \Lambda_{\text{QCD}} \approx 0.3 \text{ GeV}$. Масса b -кварка в полюсе $\approx 4.8 \text{ GeV}$. Малость величины Λ_{QCD}/m_b снабжает нас удобным параметром для разложения в ряд по теории возмущений. Вместе с фактом, что $\alpha_s(m_b) \approx 0.2$, это дает возможность для использования последовательных приближений по степеням этих параметров, что и используется в некоторых приложениях теории тяжелого кварка, в частности в HQE (Heavy Quark Expansion).

В случае с инклюзивными B -распадами, эти процессы могут быть описаны на уровне партонных переходов (т.е. на уровне кварков, а не адронов) в рамках HQET (Heavy Quark Effective Theory) и HQE.

В работе рассматривается инклюзивный распад B -мезона $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$. Известно, что инклюзивные распады имеют большую теоретическую значимость, чем эксклюзивные, так как непертурбативные эффекты играют соподчиненную роль.

Цель диссертационной работы

- Применение представления Меллина-Барнеса и автоматизированного алгоритма Лапорты для получения аналитического выражения для вкладов древесного порядка интерференций между операторами O_1 , O_2 и O_7 в ширину распада $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$.
- Вывод вклада порядка $O(\alpha_s^2)$ электромагнитного дипольного оператора в двойную дифференциальную ширину распада $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$ в аналитическом виде.
- Исследование зависимости от ренормализационного масштаба $O(\alpha_s)$ вклада оператора O_7 в двойную дифференциальную ширину распада $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$.

Научная новизна

- Впервые вычислены NLL поправки квантовой хромодинамики электромагнитного дипольного оператора для распада $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$.
- Произведено исследование зависимости полного NLL вклада интерференции (O_7, O_7) от ренормализационного масштаба.
- Впервые с помощью представления Меллина-Барнеса получены аналитические выражения для вкладов в двойную дифференциальную ширину распада $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$ интерференций (O_1, O_1) , (O_1, O_2) , (O_1, O_7) , (O_2, O_2) и (O_2, O_7) .
- Впервые произведено исследование величины α_s поправки интерференции (O_7, O_7) по сравнению с суммарным древесным вкладом для распада $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$.

Практическая ценность работы

Как уже отмечалось, редкие инклюзивные распады B -мезонов играют очень важную роль в тестировании состоятельности Стандартной Модели. До сих пор, ширина редкого распада $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$ была известна с точностью только до LL поправок, что является недостаточной точностью. Скоро в Италии и Японии будут построены ускорители SuperB и Super KEKB, на которых будет измерена ширина распада $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$, и для сравнения теоретических данных с экспериментом нужны высшие поправки. Вычисленная в этой работе NLL поправка является первым шагом в этом направлении.

Также, методы, освоенные при вычислениях, произведенных в диссертационной работе, могут быть полезны для вычислений других NLL поправок для данного распада, а также при проведении подобных расчетов для других редких распадов.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 115 наименований. Общий объем работы составляет 108 страниц печатного текста.

Научные положения, выносимые на защиту

- Вычисление α_s поправок электромагнитного дипольного оператора в двойную дифференциальную ширину распада $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$.
- Применение методов дифференциальных уравнений и представления Меллина-Барнеса для получения аналитических выражений для α_s вклада оператора O_7 и суммарного древесного вклада операторов O_1 , O_2 и O_7 .
- Исследование зависимости NLL поправок оператора O_7 от ренормализационного масштаба.
- Исследование величины NLL поправок по сравнению с суммарным древесным вкладом.

Апробация работы

Основные результаты диссертационной работы докладывались на научном семинаре в Национальной Научной Лаборатории им. А. И. Алиханяна.

Публикации

По теме диссертационной работы опубликованы 3 научные работы, список которых приводится в конце автореферата.

Структура диссертации

Содержание работы

Во введении обсуждена важность этой работы, изложены ее практическая ценность и краткое содержание.

В первой главе кратко описываются основные положения теории, в рамках которой проделана работа. Сперва описаны некоторые важные свойства СМ, в частности, механизм Хиггса и ККМ матрица. Показано, как в рамках СМ реализуются процессы, меняющие аромат нейтральным током (FCNC). В СМ FCNC процессы идут только через петлевые диаграммы, которые делятся на два типа – пингвинные и боксовые, приведены примеры обоих типов диаграмм. Также, кратко обсуждена схема размерной регуляризации и модифицированная схема минимальных вычитаний (MS схема), которые использованы в диссертационной работе. В разделе 1.5 описывается метод Эффективного Гамильтониана, который состоит из двух частей – операторного разложения и ренормгрупповых уравнений. Основные особенности обоих этих методов также обсуждены в этой главе, в частности, возникновение больших логарифмов в FCNC процессах, вычисление коэффициентов Вильсона, их перенормировка, понятие матрицы аномальной размерности и решения уравнений ренормализационной группы. Приводится вид эффективного Гамильтониана для редкого инклюзивного В-распада и явный вид операторов, входящих в эффективный Гамильтониан. В конце главы в общих чертах описывается эффективная теория тяжелого кварка (HQET) и метод разложения по массе тяжелого кварка (HQE), с помощью которых адронный распад приводится к рассмотрению кваркового распада.

Во второй главе с помощью автоматизированного алгоритма Лапорты и представления Меллина-Барнеса вычисляется в аналитическом виде вклад древесного порядка интерференции (O_2, O_7) для распада $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$. Сперва обсуждается, как работает алгоритм Лапорты. Алгоритм основан на методе

интегрирования по частям и позволяет большое число интегралов, получающихся из диаграмм Фейнмана, выразить через небольшое число так называемых мастер-интегралов. Описывается также представление Меллина-Барнеса, с помощью которого выражения типа $1/(x+y)^\lambda$, ($\lambda > 0$) можно представить в следующем виде

$$\frac{1}{(x+y)^\alpha} = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_C \frac{ds}{2\pi i} \frac{x^s}{y^{\alpha+s}} \Gamma(-s) \Gamma(\alpha+s),$$

где интегрирование производится по C -контуре, который проходит параллельно мнимой оси в комплексной плоскости s , пересекает реальную ось между точками $-\lambda$ и 0 и отделяет друг от друга возрастающие и убывающие полюса подынтегральной функции, обусловленные $\Gamma(-s)$ и $\Gamma(\lambda+s)$, соответственно.

После рассмотрения методов вычисления описывается процесс вычисления вклада интерференции (O_2, O_7). В рамках низкоэнергетической эффективной теории скорость партонного распада $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$ может быть записана в следующем виде:

$$\Gamma(b \rightarrow s \gamma \gamma) = \sum_{i < j} \frac{G_F^2 \alpha_{em}^2 \overline{m_b}(\mu) m_b^4}{1024 \pi^5} |V_{tb} V_{ts}^*|^2 C_i^{\text{eff}} C_j^{\text{eff}} G_{ij}.$$

Из этого выражения в этой главе мы рассматриваем только вклад G_{27} . Для него в древесном приближении получаем простое выражение

$$G_{27} = 16 q_d q_u^2 \text{Re} \left[1 - s_1 - s_2 - 4 m_c^2 \arcsin \left(\sqrt{\frac{1 - s_1 - s_2}{4 \hat{m}_c^2}} \right)^2 \right],$$

что является основным результатом этой главы.

Третья глава посвящена изучению вклада электромагнитного дипольного оператора O_7 для распада $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$. Произведено вычисление $O(\alpha_s)$ поправок к двойной дифференциальной ширине $d\Gamma_{77}/(ds_1 ds_2)$ для распада $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$ ($s_i = (p_b - q_i)^2 / m_b^2$). Для этого, согласно оптической теореме, были рассмотрены два типа разрезов собственно-энергетических диаграмм b -кварка – трехчастичные (содержащие глюонную петлю) и четырехчастичные (содержащие

глюон как конечное состояние). Также, рассматриваются диаграммы с контрчленами, регулирующие ультрафиолетовые расходимости глюонной петли. Пример диаграммы Фейнмана, определяющую одну из виртуальных поправок к ширине распада, приведен на рис.1.

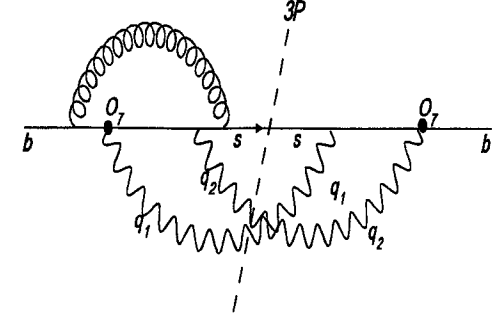


Рис. 1. Диаграмма, определяющая одну из виртуальных поправок к ширине распада $b \rightarrow s \gamma \gamma$.

Виртуальные поправки вычислены точно для некоторого интервала значений s_1 и s_2 (исключающего излучение мягких фотонов). Четырехчастичные поправки вычислены с точностью до ведущего порядка относительно (нормированной) адронной массы $s_3 = (p_b - q_1 - q_2)^2 / m_b^2$ в тройной дифференциальной ширине распада $d\Gamma_{77}/(ds_1 ds_2 ds_3)$. Рассмотрена зависимость полученного результата от ренормализационного масштаба. Для этого построены графики для двойной дифференциальной ширины распада $d\Gamma_{77}/(ds_1 ds_2)$ как функций от s_1 при фиксированном $s_2 = 0.2$ для трех разных значений ренормализационного масштаба $\mu = m_b/2, m_b, 2m_b$. Показано, что NLL поправки меняют LL результат примерно на 50%. В конце главы мы приводим детали вычисления, в том числе и

коротко описываем метод дифференциальных уравнений, использованный для вычисления сложных мастер интегралов. Этот метод позволяет получить аналитические выражения для всех результатов этой главы. На примере диаграммы рис.1 этот метод работает следующим образом. В этом случае мы имеем пять мастер интегралов. Четыре из них можно вычислить путем прямого интегрирования по Фейнмановским параметрам. Для вычисления последнего мастер интеграла (обозначим его P_{1111} , так как он содержит четыре пропагатора в первой степени в знаменателе) мы решаем дифференциальные уравнения относительно s_1 и s_2 , и получаем решение, которое обозначим через Q_{1111} . На этой стадии вычисления Q_{1111} содержит константы интегрирования (которые не фиксируются дифференциальными уравнениями). Чтобы получить эти константы, мы поступаем следующим образом. Мы переписываем мастер интеграл P_{1111} с помощью Фейнмановских параметров:

$$P_{1111} = s_1^{-\epsilon} s_2^{-\epsilon} (1 - s_1 - s_2)^{-\epsilon} \int_0^1 g_0(s_1, s_2, \epsilon, u, v, y) du dv dy,$$

где u , v и y - параметры Фейнмана (все меняющиеся с 0 до 1). Фактор $s_1^{-\epsilon} s_2^{-\epsilon} (1 - s_1 - s_2)^{-\epsilon}$ идет из трехчастичного фазового пространства. Подставляем $s_2=0$ в $g_0(s_1, s_2, \epsilon, u, v, y)$ и интегрируем по Фейнмановским параметрам. Получается новая функция

$$g_1(s_1, \epsilon) = \int_0^1 g_0(s_1, 0, \epsilon, u, v, y) du dv dy.$$

Мы вычислили ведущий член разложения функции $g_1(s_1, \epsilon)$ по s_1 вокруг нуля, который является пропорциональным s_1^{-2} . Из этого сразу получаем ведущий член разложения P_{1111} по s_1 и s_2 , который пропорционален s_2^0/s_1^2 . Сравнивая результаты этого вычисления с соответствующим разложением решения Q_{1111} дифференциального уравнения, определяем константы интегрирования.

Аналитический вид для четырехчастичных поправок получаем с помощью того же метода, однако в этом случае вычисления меняются из-за того, что в промежуточных стадиях фигурирует также параметр s_3 .

В четвертой главе мы вычисляем вклады древесного порядка операторов O_1 , O_2 и O_7 в двойную дифференциальную ширину $d\Gamma/(ds_1 ds_2)$ распада $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$ и рассматриваем их зависимость от перенормировочного масштаба. Мы приводим аналитические выражения для всех вкладов, порядка α_s для интерференции (O_7, O_7) (из третьей главы), и древесного порядка для интерференций (O_1, O_1) , (O_1, O_2) , (O_1, O_7) , (O_2, O_2) и (O_2, O_7) , вычисленных с помощью представления Меллина-Барнеса. Рассмотрена зависимость суммарного древесного вклада от ренормализационного масштаба. Для этого рассмотрена зависимость двойной дифференциальной ширины распада от s_1 при фиксированном $s_2=0.2$ для трех значений ренормализационного масштаба $\mu = m_b/2, m_b, 2m_b$. Произведено исследование величины α_s поправки интерференции (O_7, O_7) по сравнению с суммарным древесным вкладом для распада $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$. Показано, что зависимость NLL поправки оператора O_7 от перенормировочного масштаба значима, и следовательно, поправки оператора O_2 также должны быть учтены, чтобы суммарная зависимость NLL вклада от ренормализационного масштаба уменьшилась.

В заключении излагаются основные результаты диссертационной работы:

- Произведено вычисление $O(\alpha_s)$ поправок к двойной дифференциальной ширине $d\Gamma_{77}/(ds_1 ds_2)$ распада $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$, возникающих от диаграмм, содержащих электромагнитный дипольный оператор O_7 . Для этого были вычислены виртуальные поправки и поправки, содержащие глюон как конечное состояние, для наиболее интересного кинематического интервала. Результаты получены в аналитической форме. Для этого был использован метод дифференциальных уравнений.

- Рассмотрена зависимость NLL поправки интерференции (O_7, O_7) от ренормализационного масштаба. Показано, что для уменьшения μ -зависимости суммарной NLL поправки, вклад оператора O_2 также должен быть значительным.
- Используя представление Меллина-Барнеса вычислены в аналитическом виде вклады древесного порядка интерференций (O_1, O_1) , (O_1, O_2) , (O_1, O_7) , (O_2, O_2) и (O_2, O_7) для процесса $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$.
- Рассмотрена зависимость от ренормализационного масштаба вклада всех вышеперечисленных интерференций. Исследована величина α_s поправки интерференции (O_7, O_7) по сравнению с суммарным древесным вкладом для распада $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$.

Основные результаты диссертация отражены в следующих публикациях:

1. А.Егиазарян, “Вычисление интерференции (O_2, O_7) для распада $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$ ”, Известия НАН Армении, Физика, 47, 1 (2012).
2. H. M. Asatrian, C. Greub, A. Kokulu, A. Yeghiazaryan, “Next-to-leading logarithmic QCD contribution of the electromagnetic dipole operator to $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$ ”, Phys. Rev. D 85, 014020, (2012)
3. H. M. Asatrian, A. Yeghiazaryan, “ $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$ double differential decay rate”, Armenian Journal of Physics, 4, 193-199, ISSN 1829-1171, (2012)

Ամփոփում

Ատենախոսությունը նվիրված է հազվագյուտ ինքլյուզիվ B-մեզոնային տրոհումների ուսումնասիրությանը:

Ատենախոսությունը սկսվում է ներածությամբ, որտեղ բերվում է ատենախոսության կառուցվածքը և հակիրճ բովանդակությունը:

Առաջին գլխում ներկայացված են մի քանի հիմնական դրույթներ տեսությունից, որի շրջանակներում կատարվել են ատենախոսության աշխատանքները: Բերված են օրինակներ դիագրամների տեսքով, թե ինչպես են Ստանդարտ Մոդելի շրջանակներում իրականացվում չնգոք հոսանքների միջոցով ընթացող պրոցեսներ, որոնք փոխում են քվարկների բոլորը: Նկարագրված է նաև էֆֆեկտիվ Համիլտոնիանի տեսությունը, որը հիմնված է օպերատորային վերլուծության և ռենոմալիզացիոն խմբի հավասարումների վրա: Բերված է էֆֆեկտիվ համիլտոնիանի տեսքը B-մեզոնի հազվագյուտ տրոհման համար, որը քննարկվում է հետագա աշխատանքում:

Երկրորդ գլխում նկարագրվում է $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$ տրոհման համար (O_2, O_7) օպերատորական ինտերֆերենցիայի հաշվարկը: Նկարագրված են մաթեմատիկական մեթոդները, որոնք կիրառվել են այդ հաշվարկը կատարելու համար՝ Մելլին-Բարնեսի ներկայացումը և ինտեգրալների քանակի կրճատման (մաստեր - ինտեգրալների բերման) ալգորիթմը: Այդ ալգորիթմի հիման վրա աշխատող համակարգչային ծրագիրը հնարավորություն է տալիս բազմաթիվ ինտեգրալների հաշվարկը, որոնք ստացվում են դիտարկվող պրոցեսի Ֆեյնմանի դիագրամներից, բերելի փոքր թվով մաստեր ինտեգրալների հաշվարկի: Մնացած ինտեգրալները արտահայտվում են այդ մաստեր ինտեգրալների միջոցով գծային ձևով: Այս գլխում բերված են $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$ տրոհման համար (O_2, O_7) ինտերֆերենցիայի ծառային մակարդակի դիագրամները, նրանց համապատասխանող մաստեր ինտեգրալների բացահայտ տեսքերը, ինչպես նաև այդ ինտերֆերենցիայի ներդրումը տրոհման կրկնակի դիֆֆերենցիալ լայնության մեջ:

Երրորդ գլխում ուսումնասիրված են էլեկտրամագնիսական դիպոլային օպերատորի քվանտային քրոմոդինամիկայի NLL ուղղումները $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$ տրոհման համար: Արդյունքները բերված են անալիտիկ տեսքով՝

կինեմատիկական առավել մեծ հետաքրքրություն ներկայացնող ինտերվալի համար: NLL ուղղումների ներդրումը հաշվելու համար դիտարկված են երկու տիպի դիագրամներ՝ վիրտուալ գլյուոնով դիագրամներ (որոնք համապատասխանում են երեք մասնիկանի վերջնական վիճակին) և գլյուոնային ցրումով դիագրամներ (որոնք պարունակում են նաև գլյուոնը որպես վերջնական վիճակ և համապատասխանում են քառամասնիկ վերջնական վիճակին): Վիրտուալ ուղղումները հաշվված են ճշգրիտ՝ կինեմատիկական առավել մեծ հետաքրքրություն ներկայացնող ինտերվալի համար, և բերված են անալիտիկ տեսքով: Քառամասնիկ վերջնական վիճակով պրոցեսների հաշվարկում պահված է միայն ըստ նորմավորված հաղորդային զանգվածի վերլուծության առաջատար անդամը: Հետևաբար, այդ մոտավորությունը ճիշտ է հաղորդային զանգվածի փոքր արժեքների դեպքում, բայց քանի որ դիտարկված կինեմատիկական ինտերվալում այդ զանգվածը առավելագույնը ընդունում է 1/4 արժեք, ապա դիտարկված մոտավորությունը տալիս է բավականին ճշգրիտ արդյունք դիտարկվող ողջ տիրույթի համար: Կարճ քննարկվել է նաև դիֆֆերենցիալ հավասարումների մեթոդը, որը կիրառվել է հաշվարկների ժամանակ: Հետազոտվել է ստացված արդյունքների կախվածությունը ռենորմալիզացիոն մասշտաբից, և քննարկվել են այդ կախվածությունից բխող հետևանքները:

Չորրորդ գլխում ուսումնասիրված են O_1 , O_2 և O_7 օպերատորների բոլոր հնարավոր ինտերֆերենցիաների ծառային մակարդակի ներդրումները $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$ տրոհման կրկնակի դիֆֆերենցիալ լայնության մեջ: Բերված են հաշվարկվող դիագրամները, և վերը նշված երեք օպերատորների միջև բոլոր հնարավոր վեց ինտերֆերենցիաների ներդրումների անալիտիկ տեսքերը: Բննարկված է բոլոր ինտերֆերենցիաների $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$ տրոհման կրկնակի դիֆֆերենցիալ լայնության մեջ գումարային ներդրման, ինչպես նաև որոշ մասնակի ներդրումների կախվածությունը ռենորմալիզացիոն մասշտաբից: Գրաֆիկի տեսքով ցույց է տրված, թե որքանով է զգալի ներդրող գլխում հաշվված (O_1, O_7) ինտերֆերենցիայի NLL ներդրումը ծառային մակարդակի գումարային ներդրման հետ համեմատ, և կրկին դիտարկված է այդ հարաբերության կախվածությունը ռենորմալիզացիոն մասշտաբից:

Summary

In this thesis rare inclusive B – decays are studied.

The thesis starts with the introduction, where the structure and the brief description of the thesis are presented.

In the first chapter the main features of the theoretical framework are described. We give examples of the diagrams with flavor changing neutral currents (FCNC processes). We discuss also the theory of Effective Hamiltonian, which is based on operator product expansion and renormalization group equation methods. Each of them is described separately in this chapter. We then give the form of the effective Hamiltonian for the rare B – decay, which is used in the rest of the thesis. We finish the first chapter with the brief discussion of the heavy quark effective theory (HQET) and heavy quark expansion (HQE).

In the second chapter the contribution of the (O_2, O_7) interference for $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$ decay is calculated. First we describe the mathematical tools used for the calculations – the Mellin-Barnes representation and the algorithm of Laporta. The computer programs based on that algorithm reduce the large number of integrals, coming from Feynman diagrams, to small number of master-integrals. All the other integrals are then expressed through the master-integrals linearly. In this chapter the diagrams of the (O_2, O_7) interference for $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$ decay are presented, the analytical form of the master integrals and of the tree level contribution of (O_2, O_7) interference to the double differential decay width are calculated, using the Mellin-Barnes representation.

In the third chapter the NLL corrections of quantum chromodynamics of the electromagnetic dipole operator for $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$ decay are calculated. The results are obtained in analytical form for the most interesting kinematical interval. For that purpose two types of diagrams are considered – the virtual corrections and the gluon bremsstrahlung corrections. While the (renormalized) virtual corrections are worked exactly for a certain range of s_1 and s_2 , we retain in the gluon bremsstrahlung process only the leading power with respect to the normalized hadronic mass $s_3 = (p_b - q_1 - q_2)^2 / m_b^2$ in the underlying triple differential decay width

$d\Gamma_{77}/(ds_1 ds_2 ds_3)$. The combined decay width, based on this approximation, is free of infrared and collinear singularities. The approximation is correct only for small values of the hadronic mass, but in the considered kinematical range its value is maximum 1/4, and therefore it gives good precision result in the whole considered region. Also, the method of differential equations is described, which was used to obtain analytical results for the master-integrals. The dependence of the results from renormalization scale is analyzed.

In the fourth chapter the tree level contributions of O_1 , O_2 and O_7 operators to the double differential decay width for the process $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma \gamma$ are discussed. The relevant Feynman diagrams, as well as the analytical form of the contributions of all six interferences between the three mentioned operators are presented. The dependence of the total tree level contribution from the renormalization scale is analyzed. We also discuss the magnitude by which the NLL result, calculated in the third chapter, changes the total tree level correction, and also analyze its dependence from the renormalization scale.

