

Ա.Ի. Ալիխանյանի անվան ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

Գարրիելյան Հայկ Արամի

Քվանտային քրոմադինամիկայի  $O(\alpha_s^2)$  ուղղումները  
 $\bar{B} \rightarrow X, \gamma$  արոհման համար

Ա.04.02 – «Տեսական ֆիզիկա» մասնագիտությամբ  
Ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի  
գիտական ստիճանի հայցման ատենախոսության

ՄԵՂՍԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ-2009

---

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им А.И. Алиханяна

Габриелян Айк Арамович

$O(\alpha_s^2)$  поправки квантовой хромодинамики для распада  $\bar{B} \rightarrow X, \gamma$

АВТОРЕФЕРАТ

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

ЕРЕВАН-2009

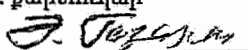
Ատենախոսության թեման հաստատվել է Ա.Բ.Ալիխանյանի անվան Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտում:

Գիտական ղեկավար՝ Տիգրան Գևորգյան  
Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ Տիգրան Գևորգյան  
Ա.Յու.Խոջամիրյան(Ջիեգենի Համ.ԳԴՀ)  
Տիգրան Գևորգյան, Թեկնաձու  
Ն.Յա. Բվանով (ԵրՖԻ)  
Առաջատար կազմակերպություն՝ Երևանի պետական համալսարան

Պաշտպանությունը կայանալու է 2009թ. մայիսի 5-ին ժամը 16.00-ին Ա.Բ. Ալիխանյանի անվան Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտում գործող ԲՈՀ-ի 024 մասնագիտական խորհրդի նիստում (0036, Երևան, Ալիխանյան եղբայրների փ. 2):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ Ա.Բ. Ալիխանյանի անվան Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտի գրադարանում:

Մեղմագիրն առաքված է 2009թ. ապրիլի 3-ին:

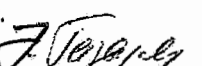
Մասնագիտական խորհրդի գլխ. քարտուղար  
Տիգրան Գևորգյան  Է.Դ. Գազազյան

Тема диссертации утверждена в Ереванском физическом институте имени А.И. Алиханяна.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук Асатрян Г.М. (ЕрФИ)  
Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, Ходжамирян А.Ю. (Унив. Зиегена, ФРГ) кандидат физико-математических наук, Иванов Н.Я. (ЕрФИ)  
Ведущая организация: Ереванский государственный университет

Защита диссертации состоится 5 мая 2009 года в 16.00 часов на заседании специализированного совета ВАК 024 действующего при Ереванском физическом институте им. А.И. Алиханяна (0036 г. Ереван, ул. братьев Алиханян 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕрФИ.

Автореферат разослан 03 апреля 2009г.  
Ученый секретарь спец. совета д.ф.м.н.  Э.Д. Газазян

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы

Стандартная Модель (СМ) [1,2,3] в описании взаимодействий элементарных частиц является весьма успешной теорией. Однако, возможно СМ не является окончательной теорией, а является низкоэнергетическим пределом более общей теории. Дело в том, что в СМ есть свои проблемы, например в модели есть 18 свободных параметров, которые определяются только экспериментально. Есть и другие проблемы: непонятное ограничение модели тремя фермионными поколениями или необъяснимая разница в массах фермионов.

Успешность СМ доказывается на основе феноменологии ККМ (Кабибо–Кобаяши–Маскава) матрицы, СР нарушений и редких распадов. Матрица ККМ параметризует взаимодействие кварков заряженными токами. Матрица ККМ единственный источник СР нарушений, поэтому точное определение элементов ККМ важно для изучения СР нарушающих феноменов.

Впервые СР нарушающие эффекты были обнаружены в распадах К мезонов [4]. Множество СР нарушающих эффектов обнаружены также в В распадах.

Особое место в физике В мезонов занимают редкие В распады. Редкие В распады интересны тем, что в СМ появляются только в петлевом приближении (петлевых диаграммах) и эти распады подавлены. Подавление происходит за счет больших масс калибровочных бозонов, так как они дают вклад  $1/m_w$  и  $1/m_z$ . Редкие распады в стандартной модели имеют относительно малые ширины, однако в ее расширениях редкие распады могут получать вклады сравнимые со вкладом СМ даже при массах новых частиц в несколько сот ГэВ. Следовательно, измерения различных характеристик редких распадов нетривиальным образом могут тестировать состоятельность Стандартной Модели. Так, измеренная ширина инклюзивного распада, которая находится в хорошем согласии с предсказанием стандартной модели, уже играет важную роль в феноменологии слабых распадов, налагая строгие ограничения на наиболее популярные модели “новой физики”.

Исследования слабых распадов, содержащих b-кварк, дают возможность для изучения СР нарушений и элементов матрицы ККМ.

Так как константа связи сильного взаимодействия мала при масштабах энергий равных массе b-кварка ( $\alpha_s(m_b) \approx 0.215$ ), можно с

большой точностью использовать пертурбативную КХД для предсказания партонных  $b$  распадов. Для оценки распадов нужно знать форм факторы, которые определяются на основе физики больших расстояний и не могут быть определены пертурбативными методами. Для вычисления форм-факторов нужно использовать дополнительные методы. Один из таких методов – эффективная теория тяжелых кварков (HQET – Heavy Quark Effective Theory), в основе которой лежит тот факт, что масса  $b$ -кварка  $m_b$  намного больше характерного масштаба КХД  $\Lambda$ .

В работе рассматривается инклюзивный распад  $B$  мезонов в рамках СМ. На кварковом уровне этот распад появляется в однопетлевом приближении в процессе FCNC. Хорошо известно, что инклюзивные распады имеют большую теоретическую значимость, чем эксклюзивные, так как непертурбативные эффекты играют соподчиненную роль.

#### Цель диссертационной работы

- Исследование вклада электромагнитного дипольного оператора  $O_7$  в зависимости от массы  $c$ -кварка в общую ширину распада  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$ .
- Численное вычисление вклада электромагнитного дипольного оператора в общую ширину распада  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$  с учетом массивного  $c$ -кварка.
- Получение аналитического выражения для спектра энергии фотона распада  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$  с учетом массивного  $c$ -кварка.
- Исследование вклада петель  $c$ -кварка в интерференцию электромагнитного  $O_7$  и хромомангнитного  $O_8$  дипольных операторов для парциальной ширины инклюзивного  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$  распада в порядке  $O(\alpha_s^2)$ .
- Получение зависимости константы перенормировки волновой функции тяжелого кварка в квантовой хромодинамике от массы  $c$ -кварка в порядке  $O(\alpha_s^2)$ .

#### Научная новизна

- Впервые был вычислен вклад электромагнитного дипольного оператора  $O_7$  в зависимости от массы  $c$ -кварка в общую ширину распада  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$  в  $O(\alpha_s^2)$ . Полученное аналитическое выражение для этого вклада подтверждено численным значением, полученным отдельно.
- Полученные численные значения вклада электромагнитного дипольного оператора в зависимости от массы  $c$ -кварка в общую ширину распада  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$  согласуются с ранее проведенными оценками.
- Получено аналитическое выражение для спектра энергии фотона распада  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$  с учетом массивного  $c$ -кварка.
- Исследован вклад петель  $c$ -кварка в интерференцию электромагнитного  $O_7$  и хромомангнитного  $O_8$  дипольных операторов для парциальной ширины инклюзивного  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$  распада в порядке  $O(\alpha_s^2)$ .

#### Практическая ценность работы

Полученные результаты вклада электромагнитного дипольного оператора в зависимости от массы  $c$ -кварка в общую ширину распада  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$  в порядке  $O(\alpha_s^2)$  являются наиболее точными теоретическими оценками этих величин и могут быть использованы для сравнения с экспериментальными данными. Таким образом можно будет проверять состоятельность стандартной модели или получать новые ограничения на ее расширения (например суперсимметричные теории).

Следует отметить, что освоенные методы для вычисления  $O(\alpha_s^2)$  поправок дающих вклад в распад  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$  могут быть полезны для проведения подобных расчетов и для других распадов.

Полученные результаты для общей ширины распада и спектра энергии фотона распада  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$  могут быть непосредственно проверены экспериментально.

## Научные положения, выносимые на защиту

- На основе вычисления вклада электромагнитного дипольного оператора  $O_7$  в зависимости от массы с-кварка в общую ширину распада  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$ , получено аналитическое выражение для вклада электромагнитного дипольного оператора  $O_7$  в зависимости от массы с-кварка.
- Рассчитанные численные значения вклада электромагнитного дипольного оператора в общую ширину распада  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$  полученные с учетом массивного с-кварка. Результаты подтвердили полученное аналитическое значение. Полученные численные значения для вклада электромагнитного дипольного оператора в зависимости от массы с-кварка в общую ширину распада  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$  согласуются с ранее проведенными оценками.
- Аналитическое выражение для спектра энергии фотона распада  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$  полученное с учетом массивного с-кварка.
- Исследование вклада петель с-кварка в интерференцию электромагнитного  $O_7$  и хромомангнитного  $O_8$  дипольных операторов для парциальной ширины инклюзивного  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$  распада в порядке  $O(\alpha_s^2)$ .
- Оценка зависимости константы перенормировки волновой функции тяжелого кварка в квантовой хромодинамике от массы с-кварка в порядке  $O(\alpha_s^2)$ . Полученная оценка с большой точностью согласуется с соответствующим аналитическим выражением.

## Апробация работы

Основные результаты диссертационной работы докладывались на научных семинарах в Ереванском физическом институте.

## Публикации

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

## Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 130 наименований. Общий объем работы составляет 93 страниц печатного текста и включает 12 рисунков.

## **Содержание работы**

**Во введении** обоснована актуальность темы, изложены практическая ценность и краткое содержание работы.

**В первой главе** делается обзор тем, затронутых в диссертации, приводятся методы и соответствующие формулы, которые будут использованы в следующих главах.

§§ 1.1–1.4 посвящены процессам изменяющим аромат нейтральным током (FCNC). FCNC процессы появляются только в одно- или более петлевых приближениях и поэтому подавлены в СМ. Приводятся примеры FCNC распадов, например диаграммы, дающие вклад в распад  $b \rightarrow s\gamma$  в низшем порядке в СМ. Приводится также детальное рассмотрение редких В распадов на примере распада  $b \rightarrow s\gamma$ . Рассмотрение проводится с точки зрения эффективного Гамильтониана. Рассматриваются КХД поправки и показывается, что КХД поправки за счет обмена глюонами играют важную роль при исследованиях слабых распадов из-за возникновения больших логарифмов  $\ln(\mu/M_W)$ , где  $\mu$  – характерная энергия для данного распада (для распадов В мезонов  $\mu \sim m_b$ ). Мотивируется необходимость рассмотрения слабых распадов в рамках эффективной теории с легкими кварками с привлечением методов ренормализационной группы [5,6] для суммирования больших логарифмов во всех порядках теории возмущений.

В §§ 1.5–1.7 представлены методы для вычисления интегралов получаемых из фейнмановских диаграмм. Интегралы, получаемые из фейнмановских диаграмм в высших порядках теории возмущений очень сложны и вычисление каждого такого интеграла может занимать довольно длительное время и не всегда приводит к результатам. С помощью метода автоматического сокращения интегралов – AIR [7] можно существенно сократить число таких сложных интегралов, а в отдельных случаях и на порядок. Следующий метод – секторное разложение [8], которое используется для решения вопроса перекрывающихся инфракрасных (ИК) расходимостей. Применение данного метода приводит к интегралам, в которых инфракрасное сингулярное поведение не содержится в сложных

функциях. ИК сингулярное поведение содержится в простых произведениях фейнмановских параметров, возведенных в некоторую степень. Последним из методов является представление Меллина–Барнеса, с помощью которого можно вычислять интегралы, в которых содержатся пропагаторы типа  $1/(x+y)^k$ . Это достигается заменой данного выражения на интеграл в комплексной плоскости.

Во второй главе рассматривается зависимость перенормировки волновой функции тяжелого кварка в квантовой хромодинамике от массы с-кварка. В главе представлены теоретические оценки для перенормировки волновой функции тяжелого кварка. Представлены и прокомментированы методы для получения численных оценок и выражений, а также представлены численные результаты вычислений зависимости перенормировки волновой функции от массы с-кварка.

В § 2.1 представлена последовательность шагов для получения константы перенормировки волновой функции в КХД в общем виде. Связь перенормированного кваркового поля  $\psi$  с голым (bare) кварковым полем  $\psi_0$  имеет следующий вид:

$$\psi_0 = \sqrt{Z_2} \psi$$

где  $Z_2$  – константа перенормировки.

В этой главе получено значение для вклада в  $Z_2$  петель с-кварка, разложенное по степеням  $z = m_c^2 / m_b^2$ .

§ 2.2 посвящен включению учета с-кварка при вычислении константы перенормировки волновой функции тяжелого кварка и получению самих результатов. Последовательно используя методы, представленные в первой главе, получается окончательный результат. В параграфе детально описывается и приводится дираковская структура и фейнмановская диаграмма, соответствующая данному процессу. Делая соответствующие замены из пропагаторов дираковской структуры получается система линейных алгебраических уравнений. С помощью алгоритма Лапорта, основанного на интегрировании по частям, из полученной (в данном случае 6) системы алгебраических уравнений, фейнмановская диаграмма приводится к набору так называемых мастер-интегралов. В результате использования автоматического метода для сокращения интегралов получается 8 мастер-интегралов. Используя дополнительные возможности алгоритма, появляется возможность получить больше дополнительных условий и представить все мастер-интегралы меньшим числом мастер-интегралов. Возможность состоит в

дифференцировании (одно-, двух- или многократном) мастер-интегралов. Таким образом, окончательно получается 6 мастер-интегралов. Вычисление мастер-интегралов производится методом секторного разложения и представления Меллина–Барнеса. При вычислении константы перенормировки волновой функции тяжелого кварка нужно учитывать также перенормировку бегущей константы связи сильного взаимодействия  $\alpha_s$ . Таким образом, используя перенормировку  $\alpha_s$ , окончательно получается значение для вклада петель с-кварка в  $Z_{2b}$ , которое с учетом вклада перенормировки константы сильного взаимодействия принимает вид:

$$\delta Z_{2b} = \left( \frac{\alpha_s(\mu)}{4\pi} \right)^2 \left\{ \frac{1}{\epsilon} (1 + 8L_\mu - 4 \ln z) + \left( \frac{44}{3} - 16 \ln z \right) L_\mu + \right. \\ \left. + 24L_\mu^2 + \frac{16}{3} \ln z + 4 \ln^2 z + 41.06045174 - \right. \\ \left. - 59.21762638 z^{1/2} + 48z - 98.69604400 z^{3/2} + \right. \\ \left. + (81.14508457 + 6 \ln^2 z - 22 \ln z) z^2 \right\},$$

где  $L_\mu = \ln(\mu/m_b)$ . Численные расчеты показывают, что полученная точность результата удовлетворительна.

В третьей главе исследован вклад электромагнитного дипольного оператора в зависимости от массы с-кварка в общую ширину распада и спектр энергии фотона для распада  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$  в порядке  $O(\alpha_s^2)$ .

§ 3.1 является введением в описание распада  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$  и уже полученные теоретические и экспериментальные оценки [9,10]. Представлены ранее полученные результаты для распада  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$  в ведущем порядке и в следующем после ведущего порядке (NLO).

В § 3.2 рассмотрен вклад с-кварка в порядке NNLO в распаде  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$ . В рамках низкоэнергетической эффективной теории скорость партонного  $b \rightarrow X_s \gamma$  распада может быть записана в виде

$$\Gamma(b \rightarrow X_s^{parton} \gamma)_{E_s > E_0} = \frac{G_F^2 \alpha_{em} \bar{m}_b^2(\mu) m_b^3}{32\pi^4} |V_{cb} V_{cs}^*|^2 \sum_{i,j} C_i^{eff}(\mu) C_j^{eff}(\mu) G_{ij}(E_0, \mu).$$

Из этого уравнения рассматривается функция  $G_{\gamma\gamma}(E_0, \mu)$ , соответствующая самоинтерференции электромагнитного дипольного оператора

$$O_\gamma = \frac{e}{16\pi^2} \bar{m}_b(\mu) (\bar{s} \sigma^{\mu\nu} P_R b) F_{\mu\nu}.$$

Вычисляются собственно энергетические разрезы  $b$ -кварка с двумя или тремя частицами в промежуточном состоянии. Вычисление соответствующей фейнмановской диаграммы произведено с помощью алгоритма Лапорта, который приводит к сокращению скалярных произведений в числителе и к сокращению числа пропагаторов. Получившиеся мастер-интегралы с использованием автоматизированного алгоритма AIR сокращаются и получается 6 мастер-интегралов. Для расчета полученных мастер-интегралов сначала производится фейнмановская параметризация и интегрирование петлевых интегралов. Применяя представление Меллина–Барнеса [11]

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

где  $1/(x+y)^\alpha$  – в данном случае пропагатор типа  $1/(m_c^2 P_1 + m_b^2 P_2)^\alpha$ , окончательно вычисляются интегралы. Окончательно для случая  $\mu = m_b$  и  $m_c/m_b = 0.26$  получается

$$X_2(1,4,0) = -370.142; \quad X_2(1,3,1) = -386.638; \quad X_3(2,3,0) = -410.120,$$

где  $X_2(1,4,0)$  соответствует случаю отсутствия  $s$ -кварка и существованию одного тяжелого кварка и четырех легких кварков [12];  $X_2(2,3,0)$  – существованию двух тяжелых кварков и трех легких кварков [12]. Полученный нами результат соответствует промежуточному случаю –  $X_2(1,3,1)$  с учетом вклада виртуального массивного  $s$ -кварка, одного тяжелого и трех легких кварков.

В § 3.3 представлены полученные константы перенормировок, которые использованы при получении вышеприведенного результата.

В четвертой главе произведен расчет вклада петель  $s$ -кварка в интерференцию электромагнитного и хромагнитного дипольных операторов для парциальной ширины инклюзивного  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$  распада в порядке  $O(\alpha_s^2)$ . Работа выполнена для повышения точности теоретических предсказаний.

§ 4.1 вводный, где описано рассмотрение функции  $G_{78}(E_0, \mu)$ , которой соответствует интерференция электромагнитного и хромагнитного дипольных операторов

$$O_7 = \frac{e}{16\pi^2} \bar{m}_b(\mu) (\bar{s} \sigma^{\mu\nu} P_R b) F_{\mu\nu},$$

и

$$O_8 = \frac{g_s}{16\pi^2} \bar{m}_b(\mu) (\bar{s} \alpha \sigma^{\mu\nu} P_R b) \frac{\lambda_{\alpha\beta}^A}{2} G_{\mu\nu}^A.$$

В § 4.2 представлены диаграммы хромагнитного дипольного оператора  $O_8$  дающие вклад в распад  $b \rightarrow s \gamma$ . Для вычисления матричного элемента последовательно применяются методы, описанные в первой главе. Первым шагом является получение с помощью алгоритма Лапорта, так называемых, мастер-интегралов. Для получения мастер-интегралов использован автоматизированный алгоритм AIR, с помощью которого получены ИВР уравнения (ИВР – интегрирования по частям). Окончательно получено, что нужно вычислить из всего количества только девять мастер-интегралов. Для взятия мастер-интегралов по петлям сначала вводится фейнмановская параметризация и только потом проводится интегрирование. Для решения вопроса перекрывающихся ИК расходимостей используется метод секторного разложения. Применение секторного разложения приводит к интегралам, в которых инфракрасное сингулярное поведение не содержится в сложных функциях. Одна из конечных процедур, которая используется для расчетов, это представление Меллина–Барнеса пропагаторов типа  $1/(x+y)^k$  [13]. Расчеты проведены до квадратичной степени по  $z$  ( $z = m_c^2/m_b^2$ ). Численные расчеты показывают, что это приближение дает погрешность порядка нескольких процентов.

В заключении излагаются основные результаты диссертационной работы:

- Вычислен вклад электромагнитного дипольного оператора  $O_7$  в зависимости от массы  $s$ -кварка в общую ширину распада  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$ , получено аналитическое выражение для этого вклада в зависимости от массы  $s$ -кварка [1].
- Вычислены численные значения вклада электромагнитного дипольного оператора в общую ширину распада  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$  с учетом массивного  $s$ -кварка. Результаты подтвердили полученное аналитическое значение [1].
- Полученные численные значения для вклада электромагнитного дипольного оператора в зависимости от массы  $s$ -кварка в общую ширину распада  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$  согласуются с ранее проведенными оценками [1].
- Получено аналитическое выражение для спектра энергии фотона распада  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$  с учетом массивного  $s$ -кварка [1].

- Рассмотрен вклад петель с-кварка в интерференцию электромагнитного  $O_7$  и хромагнитного  $O_8$  дипольных операторов для парциальной ширины инклюзивного  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$  распада в порядке  $O(\alpha_s^2)$ . Полученные результаты будут обобщены в будущем, с учетом перенормировок и других типов поправок, а также с учетом вкладов от излучения реальных глюонов [2].
- Получена зависимость константы перенормировки волновой функции тяжелого кварка в квантовой хромодинамике от массы с-кварка в порядке  $O(\alpha_s^2)$ . При вычислении освоены и использованы численные методы для расчета высших поправок по теории возмущений. Полученная оценка выражения с большой точностью согласуется с соответствующим аналитическим выражением [3].

### Литература

1. S.Weinberg, "A model of leptons", Phys. Rev. Lett., 19, 1264 (1967).
2. A.Salam, "Elementary Particle Theory", ed N. Svartholm, Almquist and Wiksells, Stockholm, 367 (1969).
3. S.L.Glashow, J.Iliopoulos and L.Maiani, "Weak interactions with lepton-hadron symmetry", Phys. Rev. D, 2, 1285 (1970).
4. H.J.Christenson, J.W.Cronin, V.L.Fitch and R.Turlay, "Evidence for  $2\pi$  decay at the  $K_2^0$  meson", Phys. Rev. Lett 13, 138-140 (1964).
5. A.J.Buras, "Weak Hamiltonian, CP violation and rare decays", in "Probing the Standard Model of Particle Interactions", F.David and R.Gupta, eds., 1998, Elsevier Science B.V., hep-ph/9806471.
6. G.'t Hooft, "Dimensional regularization and the renormalization group", Nucl.Phys. B, 61, 455 (1973).
7. C.Anastasiou, A.Lazopoulos, "Automatic integral reduction for higher order perturbative calculations", JHEP, 0407, 046 (2004), hep-ph/0404258.
8. T.Binoth, G. Heinrich, "An automatized algorithm to compute infrared divergent multi-loop integrals" Nucl. Phys. B, 585, 741 (2000), hep-ph/0004013.
9. H.M.Asatrian, T.Ewerth, A.Ferrogliа, P.Gambino, C.Greub, "Magnetic dipole operator contributions to the photon energy spectrum in  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$  at  $O(\alpha_s^2)$ ", Nucl. Phys. B, 762, 212 (2007), [hep-ph/0607316].
10. M.Misiak et al., "Estimate of  $Br(\bar{B} \rightarrow X_s \gamma)$  at  $O(\alpha_s^2)$ ", Phys. Rev. Lett., 98, 022002 (2007), [hep-ph/0609232].
11. E.E.Boos, A.I.Davydychev, "A method of calculating massive Feynman integrals", Theor. Math. Phys., 89, 1052 (1991).
12. H.M.Asatrian, A.Hovhannisyan, V.Poghosyan, T.Ewerth, C.Greub, T.Hurth, "NNLL QCD Contribution of the Electromagnetic Dipole Operator to  $Br(\bar{B} \rightarrow X_s \gamma)$ ", Nucl. Phys. B, 749, 325 (2006), [hep-ph/0605009].
13. C.Greub, T.Hurth, D.Wyler, "Virtual  $O(\alpha_s)$  corrections to the inclusive decay  $b \rightarrow s \gamma$ ", Phys. Rev. D, 54, 3350 (1996), [hep-ph/9603404].

### Список работ опубликованных по теме диссертации:

1. H.M.Asatrian, T.Ewerth, H.Gabrielyan, C.Greub, "Charm quark mass dependence of the electromagnetic dipole operator contribution to  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$  at  $O(\alpha_s^2)$ " Phys. Lett. B, 647, 173 (2007), [hep-ph/0611123].
2. А.Габриелян, "О вкладе интерференции электромагнитного и хромагнитного дипольных операторов в распаде  $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$  в порядке  $O(\alpha_s^2)$ ", Известия НАН Армения, Физика, 44, 155 (2009).
3. Г.М.Асатрян, А.Г.Асатрян, А.Габриелян, "Зависимость перенормировки волновой функции тяжелого кварка в КХД от массы с-кварка", Известия НАН Армения, Физика, 44, 162 (2009).

## Ամփոփում

Ատենայտությունը նվիրված է B մեզոնների հազվագյուտ տրոհումների ուսումնասիրությանը:

Ատենայտությունը սկսվում է ներածությամբ, որտեղ հիմնավորվում է թեմայի արդիականությունը, համառոտ ուրվագծվում է այն խնդիրների շրջանակը, որոնց նվիրված է աշխատանքը:

Առաջին գլխում մանրամասն քննարկված են հազվագյուտ տրոհումների տեսական հետազոտությունների կարևորագույն արդյունքները, բերված են հիմնական հասկացությունները և մի շարք անհրաժեշտ բանաձևեր, որոնք օգտագործվում են հաջորդ գլուխներում: Ներկայացված են նաև այն մեթոդները, որոնց միջոցով կատարվել են հաշվարկները: Դրանք են՝ Լապորտայի ալգորիթմով ինտեգրալների ավտոմատացված կրճատման մեթոդը, սեկտորային տարրալուծման մեթոդը, Մելլին-Բարնետի ներկայացումը:

Երկրորդ գլխում ուսումնասիրվում է քվանտային քրոմադինամիկայի շրջանակներում ալիքային ֆունկցիայի վերանորմավորման կախվածությունը c-քվարկի զանգվածից: Գլխում ներկայացված են ծանր քվարկի ալիքային ֆունկցիայի վերանորմավորման տեսական գնահատումները: Ներկայացված և մեկնաբանված են թվային արդյունքների ստացման մեթոդները, ինչպես նաև c-քվարկի զանգվածից կախված ալիքային ֆունկցիայի վերանորմավորման թվային հաշվարկները:

Երրորդ գլխում ուսումնասիրված է c-քվարկի զանգվածից կախված էլեկտրամագնիսական դիպոլային օպերատորի ներդրումը  $\overline{B} \rightarrow X_s \gamma$  տրոհման ընդհանուր լայնության և ֆոտոնի էներգիայի սպեկտրի մեջ: Գլխում ներկայացված են մինչ այժմ ստացված արդյունքները  $O(\alpha_s)$  կարգում, որից հետո ներկայացված է c-քվարկի ֆիզիկական զանգվածից կախված էլեկտրամագնիսական դիպոլային օպերատորի ներդրման դերը  $\overline{B} \rightarrow X_s \gamma$  տրոհման մեջ՝  $O(\alpha_s^2)$  կարգում:

Չորրորդ գլխում իրականացված է  $O(\alpha_s^2)$  կարգում ինքնուզուզիվ  $\overline{B} \rightarrow X_s \gamma$  տրոհման մասնակի լայնության մեջ c-քվարկային օղակներից կախված էլեկտրամագնիսական և քրոմամագնիսական դիպոլային օպերատորների ինտեգրեցիայի ներդրման հաշվարկը: Ուսումնասիրությունը նպատակն էր բարձրացնել տեսական կանխատեսումների ճշտությունը: Արդյունքները ներկայացված են մինչև z-ի քառակուսային աստիճանի անդամը ( $z = m_c^2/m_b^2$ ): Այս մոտարկումը տալիս է մի քանի տոկոսի սխալանք: