

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

Ասատրյան Հայկ Հրայրյանի

В УБЭНУНԵՐԻ ՀԱԶՎԱԳՅՈՒՏ ՏՐՈՂՈՒՄՆԵՐԸ ԵՎ ՇՐ ԻՆՎԱՐԻԱՆՏՈՒԹՅԱՆ  
ԽԱՆՏՈՒՄԸ ՄՏԱՆԴԱՐՏ ՄՈԴԵԼՈՒՄ ԵՎ ՆՐԱՆԻՑ ԴՈՒՐՄ

Ա.04.02. «տեսական ֆիզիկա» մասնագիտությամբ  
ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների  
քեկմածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՄԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ-2001

---

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Асатрян Гайк Грачьевич

РЕДКИЕ РАСПАДЫ В МЕЗОНОВ И НАРУШЕНИЕ СР  
ИНВАРИАНТНОСТИ В СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ И ВНЕ ЕЕ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.02. — теоретическая физика

ЕРЕВАН-2001

Ատենախոսության քննան հաստատվել է Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտում

Գիտական ղեկավար. ֆիզմաթ. գիտությունների դոկտոր  
Ա.Յու. Խոջամիրյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ. ֆիզմաթ. գիտությունների դոկտոր  
Ա.Գ. Գրոզին (ԵՖԻ, Նովոսիբիրսկ),  
ֆիզմաթ. գիտությունների դոկտոր  
Ա.Ա. Գրիգորյան (ԵրՖԻ)

Առաջատար կազմակերպություն՝ Վրաստանի ԳԱ Ֆիզիկայի ինստիտուտ

Պաշտպանությունը կայանալու է "10" իուլիսի 2001թ. ժամը 14.00 -ին Երևանի  
Ֆիզիկայի Ինստիտուտի 024 մասնագիտական խորհրդում (Երևան-36, Ալիխանյան  
տրայքների փ. 2):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵրՖԻ-ի գրադարանում:

Սերմագիրը առարկած է "9" իունիսի 2001թ.

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար *Շ. Գազազյան* Է.Գ. Գազազյան

Тема диссертации утверждена в Ереванском физическом институте

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,  
Ходжамирян А.Ю.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук  
Грозин А.Г. (ИЯФ, Новосибирск),  
доктор физико-математических наук  
Григорян А.А. (ЕрФИ)

Ведущая организация: Институт физики АН Грузии

Защита состоится "10" июля 2001 г. в 14.00 часов на заседании  
специализированного совета 024 Ереванского физического института  
(Ереван-36, ул. Братьев Алиханян 2)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕрФИ.

Автореферат разослан "9" июня 2001г.

Ученый секретарь спец. совета *Շ. Գազազյան* Э.Д. Газазян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

*а) Актуальность темы.* За последнее десятилетие физика В мезонов очень бурно развивалась как с теоретической, так и с экспериментальной стороны. Интерес к распадам В мезонов прежде всего обусловлен возможностью точного определения элементов матрицы Кабиббо-Кобайаши-Маскава (СКМ) параметризирующей взаимодействие кварков через заряженные токи. Исследования полупертоновых распадов  $b \rightarrow cl\bar{\nu}_i$  и  $b \rightarrow ul\bar{\nu}_i$  уже позволили определить матричные элементы  $V_{cb}$  и  $V_{ub}$  соответственно [1]. Ожидается, что слабые распады В мезонов сыграют решающую роль в выяснении истинной картины нарушения CP-инвариантности [2], за которое (в рамках стандартной модели) ответственна единственная фаза в матрице СКМ [3].

Феномен нарушения CP-инвариантности является одной из наиболее плохо исследованных областей в современной физике элементарных частиц. Как известно, нарушение CP-инвариантности возникает естественным образом в стандартной модели с тремя поколениями фермионов. Однако есть основания полагать, что предсказываемая стандартной моделью картина CP-нарушения не является точной. В частности, по всей видимости ее не достаточно для объяснения происхождения барионной асимметрии в наблюдаемой Вселенной (нарушение CP-инвариантности является одним из необходимых условий для бариогенезиса [4]).

С экспериментальной стороны изучение CP-нарушающих эффектов находится еще на ранней стадии развития. Они наблюдались только в распадах нейтральных К-мезонов [5]. В настоящее время твердо установлено наличие так называемого прямого CP-нарушения [6]; тем самым исключен сценарий сверхслабого нарушения. Однако, измеренное значение для величины  $Re[\epsilon'/\epsilon]$ , являющееся количественной характеристикой прямого CP-нарушения, больше значений предсказываемых (в рамках стандартной модели) большинством теоретических оценок. В то же время теор. неопределенности этих предсказаний не позволяют окончательно прояснить этот вопрос [7].

Стратегия дальнейших экспериментальных исследований проста: для проверки картины предлагаемой стандартной моделью планируется провести как можно большее число независимых измерений сторон и углов так называемого "треугольника унитарности", что привело бы либо к противоречивым результатам, либо к подтверждению состоятельности стандартной модели.

Эксперименты нового поколения BABAR (в SLAC, США) и BELLE (в KEK, Япония) на так называемых В мезонных фабриках, стартовавшие в последнее время, будут посвящены детальному изучению распадов В-мезонов, таких как  $B \rightarrow J/\Psi K_s^0$ ,  $B \rightarrow \pi\pi$ ,  $B \rightarrow \pi K$  и др., предлагающих теоретически относительно "чистые" возможности определения углов "треугольника унитарности" [8]. Предварительные измерения CP-нарушающих эффектов в распаде  $B \rightarrow J/\Psi K_s^0$  [9] уже свидетельствуют о ненулевом значении одного из этих углов, однако большие (в основном статистические) неопределенности не позволяют с полной уверенностью утверждать об обнаружении CP-нарушения в В мезонных распадах. Свою роль на арене исследований CP-нарушающих эффектов несомненно сыграют также редкие распады В-мезонов.

Редкие распады определяются как слабые переходы, которые в стандартной модели протекают через диаграммы с одной и более петлями. Тем самым в стандартной модели они имеют относительно малые ширины и в ее расширениях могут получать вклады сравнимые со вкладом SM даже при массах новых частиц в несколько сот ГэВ. Следовательно, измерения различных характеристик редких распадов нетривиальным образом тестируют состоятельность стандартной модели. Так, измеренная ширина инклюзивного распада  $B \rightarrow X_s \gamma$  [10], которая находится в разумном согласии с предсказанием стандартной модели, уже играет важную роль в феноменологии слабых распадов, налагая строгие ограничения на наиболее популярные модели "новой физики".

Следует отметить, что сугубо в рамках стандартной модели редкие распады тестируют ее как квантовую теорию поля на однопетлевом уровне. Они также могут быть использованы для

косвенного определения взаимодействий t кварка (в частности для получения ограничений на элементы  $V_{td}, V_{ts}$  матрицы СКМ) часто доминирующего в петлевых вкладках.

Структура матрицы СКМ приводит к тому, что распады  $b \rightarrow s \dots$  имеют относительно большие ширины, тогда как в распадах  $b \rightarrow d \dots$  ожидаются большие CP-нарушающие эффекты. Следовательно, изучение CP-нарушающих асимметрий в таких распадах, как  $B \rightarrow X_d \gamma$  или  $B \rightarrow X_d \ell^+ \ell^-$  [11],[12] может быть полезно для понимания феномена нарушения CP-инвариантности.

#### б) Целью диссертационной работы является

- Вычисление вклада виртуальных поправок порядка  $\alpha_s$  для инклюзивного распада  $B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-$ ;
- Исследование CP-нарушающей асимметрии в распаде  $B \rightarrow X_d \gamma$  вне стандартной модели;
- Исследование эксклюзивного распада  $B \rightarrow K^* \gamma$  в стандартной модели за рамками приближения ведущих логарифмов.

#### в) Научная новизна.

- Впервые были вычислены виртуальные  $O(\alpha_s)$  поправки для инклюзивного распада  $B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-$ , включение которых существенно ослабляет зависимость теоретических предсказаний от точки перенормировки. Полученные оценки для спектра и частично интегрированной ширины распада являются наиболее точными из имеющихся на сей день предсказаний в рамках стандартной модели.

- Исследованы CP нарушающие эффекты в инклюзивных редких распадах В мезонов в рамках некоторых расширений стандартной модели. Показано, что в этих моделях CP-асимметрия в распаде  $B \rightarrow X_d \gamma$  может существенно отличаться от значений предсказываемых в SM и в частности менять знак даже при отсутствии новых CP-нарушающих фаз.

Впервые вычислен вклад "жестких" глюонов для эксклюзивного процесса  $B \rightarrow K^* \gamma$  в рамках ковариантной модели для связанных состояний. Показано, что включение поправок следующего (по отношению к ведущему) порядка приводит к увеличению теор. предсказания для ширины распада на (10-20)%.

#### г) Практическая ценность работы.

Полученные результаты для спектра распада  $B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-$  в области  $0.05 \leq q^2/m_b^2 \leq 0.25$  (где  $q^2$  - инвариантная масса лептонной пары) и для ширины распада, интегрированной по этой области, являются наиболее точными теоретическими оценками этих величин и могут быть использованы для сравнения с будущими экспериментальными данными. Таким образом можно будет проверить состоятельность стандартной модели или получить новые ограничения на ее расширения, такие как суперсимметричные теории.

Следует также отметить, что техника развитая для вычисления двухпетлевых диаграмм, дающих вклад для распада  $B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-$ , может быть полезна для проведения подобных расчетов и для других интересных распадов.

Результаты исследований CP-асимметрии в распаде  $B \rightarrow X_s \gamma$  показывают, что значение этой величины может сильно отличаться от предсказания стандартной модели. Измерение ее знака может послужить для модельно-независимого экспериментального определения знака Вильсоновского коэффициента  $C_7^{eff}$ , который не фиксируется имеющимися данными.

#### д) Научные положения выносимые на защиту.

1. Вычислены поправки порядка  $\alpha_s$  для инклюзивного распада  $B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-$ . Получены аналитические результаты как для виртуальных поправок, так и для тех из поправок, связанных с излучением одного добавочного глюона, которые необходимы для

сокращения инфракрасных и коллинеарных расходимостей. Полученные результаты применимы в кинематической области  $0.05 \leq q^2/m_b^2 \leq 0.25$ .

2. Учет вычисленных поправок для (интегрированной по области  $0.05 \leq q^2/m_b^2 \leq 0.25$ ) ширины распада  $B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-$  приводит к значительному ослаблению зависимости от точки перенормировки до  $\pm 6.5\%$ . В рамках стандартной модели для частично интегрированного "branching ratio" получается оценка  $(1.31 \pm 0.08) \cdot 10^{-6}$ , где учтена только неопределенность связанная с остаточной зависимостью от точки перенормировки. Неопределенность связанная с неизвестностью точного значения соотношения  $m_c/m_b$  составляет  $\pm 7.6\%$ .

3. CP-нарушающая асимметрия в распаде  $B \rightarrow X_s \gamma$  является удобной величиной для тестирования стандартной модели. Например, в случае суперсимметричных теорий она может иметь знак противоположный своему знаку в СМ. При отсутствии новых комплексных фаз ее знак определяется знаком Вильсоновского коэффициента  $C_7^{eff}$ ; это может быть использовано для экспериментального определения  $sign[C_7^{eff}]$ .

4. Учет поправок следующего (по отношению к ведущему) логарифмического порядка для распада  $B \rightarrow K^* \gamma$  приводит к значительному ослаблению зависимости от точки перенормировки. В результате теор. предсказание для ширины распада увеличивается на (10-20)%.

#### е) Апробация работы.

Учитывая сложность вычислений произведенных в работах вошедших в диссертацию, они независимо были выполнены различными соавторами и затем всесторонне проверены. Следует отметить, что в трех работах в качестве соавторов были выбраны известные зарубежные ученые, имеющие большой опыт работы в исследуемых областях. Часть результатов после публикации была подтверждена в работах других авторов.

Результаты работ были представлены на научных семинарах в ЕрФИ, на кафедре теор. физики ЕрГУ, институтов теор. физики при университетах Берна и Цюриха, в центре Democritos и техническом университете в Афинах.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международной конференции "Quarks 2000", Санкт-Петербург, Россия, 2000; на республиканской конференции молодых ученых "Физика-99", Ереван, 1999.

#### ж) Публикации.

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

#### з) Структура диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и списка литературы включающей 161 ссылку на оригинальные работы, обзоры и доклады на конференциях. Объем работы составляет 139 страниц печатного текста, включая 34 рисунка.

### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе делается довольно детальный обзор тем, затронутых в диссертации, приводятся формулы, которые будут использованы в следующих главах.

§1.1 посвящен матрице Кабиббо-Кобаяши-Маскава (СКМ). Приводятся наиболее популярные представления этой матрицы: стандартная параметризация и приближенная параметризация Волфенштейна. Вводится понятие "треугольника унитарности" (unitarity triangle), приводятся численные значения параметров Волфенштейна с учетом теоретических и экспериментальных неопределенностей.

В §1.2 проводится общее рассмотрение редких распадов В мезонов. На примере распада  $b \rightarrow s\gamma$  иллюстрируется действие механизма Глэшоу-Илиопулоса-Мауани (GIM); показывается, что

большая (по сравнению с массами промежуточных векторных бозонов) масса  $t$  кварка эффективно устраняет GIM-подавление создавая возможность исследования процессов обусловленных нейтральными токами меняющимися ароматом (flavor changing neutral currents- FCNC) и в частности редких распадов В и К мезонов. Показывается, что квантовые поправки за счет обмена глюонами имеют важную роль при исследовании 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 для суммирования больших логарифмов во всех порядках теории возмущений.

В §1.3 проводится детальное рассмотрение редких распадов  $B \rightarrow X_{s(d)}\gamma$  и  $B \rightarrow X_{s(d)}\ell^+\ell^-$  в эффективной теории в рамках стандартной модели. Приводятся результаты вычислений для распадов  $B \rightarrow X_{s(d)}\gamma$  с учетом поправок следующего по отношению к ведущему порядку (next-to-leading order – NLO), а также формулы для соответствующих CP-нарушающих асимметрий. Рассматривается NLO вычисление для процессов  $B \rightarrow X_{s(d)}\ell^+\ell^-$ . Мотивируется необходимость учета глюонных поправок следующего порядка для устранения теоретических неопределенностей, связанных с большой зависимостью от точки перенормировки.

Во второй главе рассмотрены виртуальные поправки порядка  $\alpha_s$  для распада  $B \rightarrow X_s\ell^+\ell^-$  в рамках стандартной модели с использованием метода эффективного Гамильтониана.

В §2.1 детально иллюстрируется вычисление поправок порядка  $\alpha_s$  для матричных элементов эффективных четырехфермионных операторов  $O_1$  и  $O_2$ . Эти поправки даются двухпетлевыми диаграммами Фейнмана, для которых получение аналитических результатов является нетривиальной задачей. Излагаются математические методы позволяющие вычислить сложные интегралы по Фейнмановским параметрам и получить результат в виде рядов по степеням и (или) логарифмам малых

величин, таких как  $m_c/m_b$ ,  $q^2/m_b^2$ . Последнее означает, что наши результаты верны для достаточно малых  $q^2$ : это условие выполняется для области  $0.05 \leq q^2/m_b^2 \leq 0.25$  представляющий наибольший интерес. Учитываются вклады соответствующих контрчленов необходимых для устранения ультрафиолетовых расходимостей, возникающих при вычислении двухпетлевых диаграмм. Показывается, что вклады содержащие инфракрасные и коллинеарные сингулярности могут быть учтены посредством надлежащего переопределения Вильсоновского коэффициента  $C_9^{eff}$ .

В §2.2 рассматриваются поправки к матричным элементам операторов  $O_7$ ,  $O_8$  и  $O_9$ . Соответствующие однопетлевые диаграммы вычисляются стандартными методами. Демонстрируется сокращение ультрафиолетовых расходимостей. Инфракрасные расходимости регулируются с помощью размерной регуляризации, а коллинеарные сингулярности – путем сохранения ненулевого значения массы странного кварка  $m_s$ .

§2.3 посвящен анализу поправок к спектру распада  $B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-$ , обусловленных процессом  $B \rightarrow X_s g \ell^+ \ell^-$  с излучением одного добавочного глюона (bremsstrahlung process). Учитывается та часть поправок, которая необходима для сокращения соответствующих инфракрасных и коллинеарных сингулярностей в виртуальных поправках.

В §2.4 приводится выражение для спектра распада  $B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-$  с учетом вычисленных поправок.

В §2.5 производится численный анализ для спектра, а также для ширины распада интегрированной по выше упомянутому кинематическому интервалу. Получается численное значение  $(1.31 \pm 0.08) \times 10^{-6}$  для частично интегрированного "branching ratio", где неопределенность соответствует остаточной зависимости от точки перенормировки.

В приложении представлены полные перенормированные выражения для поправок к матричным элементам четырехфермионных операторов  $O_1$  и  $O_2$ .

Третья глава посвящена изучению CP-нарушающих асимметрий в распадах  $B \rightarrow X_{s(a)} \gamma$  и  $B \rightarrow X_{s(a)} \ell^+ \ell^-$ .

В §3.1 кратко описывается минимальное суперсимметричное расширение стандартной модели (Minimal Supersymmetric Standard Model-MSSM). Описывается версия MSSM с универсальными членами реализующими "мягкое" нарушение суперсимметрии.

В §3.2 рассматривается CP-асимметрия в распаде  $B \rightarrow X_d \gamma$  в рамках выше упомянутой версии MSSM, с отсутствием суперсимметричных CP-нарушающих фаз. Сканированием пространства параметров модели показывается, что имеются два набора суперсимметричных параметров, которые феноменологически приемлемы, так как не нарушают экспериментальных ограничений на ширину распада  $B \rightarrow X_s \gamma$ . В случае первого набора Вильсоновский коэффициент  $C_7^{eff}$  имеет тот же (отрицательный) знак, что и в стандартной модели, что приводит к положительной (как и в SM) CP-асимметрии. Для второго же набора  $C_7^{eff}$  положителен, приводя к отрицательной CP-асимметрии.

В §3.3 описывается расширение стандартной модели с двумя Хиггсовскими дуплетами (2 Higgs doublets model- 2HDM). Определяются наиболее популярные ее версии, известные как модели типа I, II и III.

В §3.4 исследуется CP-асимметрия в распаде  $B \rightarrow X_d \gamma$  в рамках 2HDM. Показывается, что для моделей типа I и II отклонения исследуемой величины от предсказания стандартной модели не велики, тогда как для модели типа III могут иметь место большие отклонения. Исследуется эффект введения новой CP-нарушающей фазы, которая может появляться в модели типа III.

§3.5 посвящается изучению CP-асимметрии в распаде  $B \rightarrow X_d \ell^+ \ell^-$  в рамках 2HDM. Показывается, что с учетом теор. неопределенностей этой величины, 2HDM практически не отличаются от предсказаний SM.

В четвертой главе излагаются результаты вычисления ширины эксклюзивного распада  $B \rightarrow K^* \gamma$  в рамках стандартной модели с учетом NLO поправок.

В §4.1 проводится общее рассмотрение для распада  $B \rightarrow K^* \gamma$ . Определяются форм-факторы описывающие этот переход.

В §4.2 представляется использованная нами модель описывающая адроны в начальном и конечном состояниях.

В §4.3 рассматриваются глюонные поправки инклюзивного типа. Обсуждается проблема инфракрасных расходимостей. Предлагаются два метода для их устранения и получения конечной ширины распада  $B \rightarrow K^* \gamma$ .

В §4.4 приводятся результаты вычислений для глюонных поправок эксклюзивного типа, в которых участвует второй (легкий) кварк.

В §4.5 проводится численное изучение эффекта вычисленных поправок с использованием двух методов для устранения инфракрасных сингулярностей.

В приложении к четвертой главе приводятся вычисления инфракрасно-сингулярных вкладов инклюзивного типа с использованием обрезания снизу в интегралах по виртуальным импульсам.

В заключении излагаются основные результаты диссертационной работы.

1. Вычислены виртуальные поправки порядка  $\alpha_s$  для инклюзивного распада  $B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-$  в рамках эффективной теории. В частности получены аналитические выражения матричных элементов четырехфермионных операторов  $O_1$  и  $O_2$ , которые определяются сложными двухпетлевыми диаграммами Фейнмана. Для этой цели использованы иерархии массовых параметров входящих в диаграмматические выражения и произведены разложения по соответствующим малым параметрам. Вычислены также вклады операторов  $O_7$ ,  $O_8$ ,  $O_9$  и  $O_{10}$ .

2. Вычислены те из  $O(\alpha_s)$  поправок к процессу  $B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-$ , обусловленных излучением одного добавочного глюона, которые необходимы для сокращения инфракрасных и коллинеарных сингулярностей в виртуальных поправках.

3. Вычисленные поправки использованы с целью получения улучшенного теор. предсказания стандартной модели для спектра

распада  $B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-$  в кинематической области  $0.05 \leq q^2/m_b^2 \leq 0.25$ . Продемонстрировано существенное ослабление зависимости от точки перенормировки. Для частично интегрированного "branching ratio" получена оценка  $(1.31 \pm 0.08) \cdot 10^{-6}$ , где неопределенность обусловлена остаточной зависимостью от точки перенормировки.

4. Рассмотрена CP-нарушающая асимметрия в распаде  $B \rightarrow X_s \gamma$  в расширениях стандартной модели. Показано, что эта величина может быть полезной для тестирования стандартной модели. В частности даже в случае отсутствия новых CP-нарушающих фаз она может иметь знак, обратный своему знаку в стандартной модели. Измерение знака CP-асимметрии представляет собой удобный метод модельно-независимого определения Вильсоновского коэффициента  $C_7^{eff}$ .

5. Вычислены поправки следующего (по отношению к ведущему логарифмическому) порядка для эксклюзивного распада  $B \rightarrow K^* \gamma$ . Для описания адронов в начальном и конечном состояниях была привлечена простая ковариантная модель, адекватная для рассмотрения распадов В мезонов на легкие мезоны. Используя два метода для решения проблемы инфракрасных расходимостей, показано, что вычисленные поправки приводят к увеличению теор. предсказания для ширины распада  $B \rightarrow K^* \gamma$  на  $(10 \div 20)\%$ .

#### Литература

- [1] M. Bargiotti et al., "Present knowledge of the Cabibbo-Kobayashi-Maskawa matrix", Riv. Nuovo Cim. 23 N3:1, 2000.
- [2] By BABAR Collaboration (P.F. Harrison, ed. et al.), "The BaBar physics book: Physics at an asymmetric B factory".
- [3] M. Kobayashi, T. Maskawa, "CP violation in the renormalizable theory of weak interaction", Prog. Theor. Phys. 49: 652, 1973.
- [4] A.D. Sakharov, "Violation of CP invariance, C asymmetry, and baryon asymmetry of the Universe", Письма в ЖЭТФ 5:32-35, 1967.
- [5] J.H. Christenson, J.W. Cronin, V.L. Fitch, R. Turlay, "Evidence for the  $2\pi$  Decay Of The  $K_2^0$  Meson", Phys. Rev. Lett. 13:138, 1964.

- [6] KTeV Collaboration (A. Alavi-Harati et al.), "Observation of direct CP violation in  $K_{S,L} \rightarrow \pi\pi$  decays", Phys. Rev. Lett. 83: 22, 1999;
- NA48 Collaboration (V. Fanti et al.), "A new measurement of direct CP violation in two pion decays of the neutral kaon", Phys. Lett. B 465: 335, 1999.
- [7] S. Bertolini, "Theory of  $\epsilon'/\epsilon$ ", in RADCOR 2000, Carmel, California, 11-15 Sep 2000.
- [8] R. Fleischer, "CP violation and the role of electroweak penguins in non-leptonic B decays", Int. J. Mod. Phys. A 12: 2459, 1997.
- [9] BABAR Collaboration (B. Aubert et al.), "Measurement of CP violating asymmetries in  $B^0$  decays to CP eigenstates", Phys. Rev. Lett. 86: 2515, 2001;
- BELLE Collaboration (A. Abashian et al.), "Measurement of the CP violation parameter  $\sin(2\phi_1)$  in  $B_d^0$  meson decays", Phys. Rev. Lett. 86: 2509, 2001.
- [10] CLEO Collaboration (M. S. Alam et al.), "First measurement of the rate for the inclusive radiative penguin decay  $b \rightarrow s\gamma$ ", Phys. Rev. Lett. 74, 2885 (1995).
- [11] A. Ali, H. Asatrian, C. Greub, "Inclusive decay rate for  $B \rightarrow X_s \gamma$  in next-to-leading logarithmic order and CP asymmetry in the standard model", Phys. Lett. B 429: 87, 1998.
- [12] H.H. Asatryan, H.M. Asatrian, G.K. Yeghiyan, G.K. Savvidy, "Direct CP-asymmetry in inclusive rare B decays in 2HDM", Accepted in Int. J. Mod. Phys. A (2001).

#### Список опубликованных работ по теме диссертации

- [1] H.H. Asatrian, H.M. Asatrian (Yerevan Phys. Inst.), C. Greub, M. Walker (Bern U.), "Two-loop virtual corrections to  $B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-$  in the standard model", Phys. Lett. B 507:162-172, 2001.
- [2] H.H. Asatrian, H.M. Asatrian (Yerevan Phys. Inst.), D. Wyler (Zurich U.), "NLL corrections for B meson radiative exclusive decays", Phys. Lett. B 470:223-232, 1999.
- [3] H.H. Asatrian, H.M. Asatrian (Yerevan Phys. Inst.), "CP asymmetry for inclusive decay  $B \rightarrow X_s \gamma$  in the minimal supersymmetric standard model", Phys. Lett. B 460:148-156, 1999.

#### Ամփոփում

Ատենախոսությունը նվիրված է B մեզոնների մի շարք հազվագյուտ տրոհումների և դրանցում CP-խախտող էֆեկտների ուսումնասիրությանը ստանդարտ մոդելում և նրա շրջանակներից դուրս:

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

Առաջին գլուխն ունի օժանդակ բնույթ: Այստեղ մանրամասնորեն քննարկված են հազվագյուտ տրոհումների տեսական հետազոտությունների հիմնական արդյունքները, ներմուծված են հիմնական հասկացությունները, դուրս են գրված մի շարք անհրաժեշտ բանաձևեր, որոնք օգտագործվում են հաջորդող գլուխներում:

$B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-$  ինկլյուզիվ հազվագյուտ տրոհումը մեկն է այն խոստումնալից տրոհումներից, որոնք կարող են գրանցվել մոտ ապագայում և որոնց համար փորձարարական և տեսական տվյալների համեմատությունը խիստ հետաքրքիր է ստանդարտ մոդելի կանխագուշակումների ստուգման տեսանկյունից: Ատենախոսության մեջ ներկայացված հիմնական խնդիրներից մեկն է  $\alpha_s$  կարգի վիրտուալ ուղղումների հաշվարկը այդ տրոհման համար, ինչն անհրաժեշտ է տեսական կանխագուշակումներում հիմնական անորոշության վերանորմավորման կետից կախման կրճատման համար: Այս խնդրի լուծմանն է նվիրված ատենախոսության երկրորդ գլուխը:

Էֆեկտիվ տեսության շրջանակներում այս խնդրի առավել դժվարին մասը  $O_1$  և  $O_2$  քառաֆերմիոնային օպերատորների մատրիցական տարրերին ուղղումների հաշվարկն է, ինչը պահանջում է մի շարք բարդ երկօղականի Ֆեյնմանի դիագրամների դիտարկում: Դրանց համար անալիտիկ արդյունքներ ստանալու նպատակով օգտագործվել են դիագրամատիկ արտահայտությունների մեջ մտնող զանգվածային պարամետրերի (դրանք են charm և bottom քվարկների  $m_c, m_b$  զանգվածները և լեպտոնային զույգի  $q^2$  ինվարիանտ զանգվածը) միջև առկա հիերարխիաները հետաքրքրություն ներկայացնող  $0.05 \leq q^2/m_b^2 \leq 0.25$  կիներատիկ տիրույթում և կատարվել են վերլուծություններ ըստ համապատասխան փոքր պարամետրերի: Հաշվի են առնվել նաև համապատասխան կարգի ներդրումները  $O_7,$

$O_8$ ,  $O_9$  և  $O_{10}$  օպերատորների համար: Հաշվարկված վիրտուալ ուղղումներում հայտնվող ինֆրակարմիր և կոլիմեար սինգուլյարություններից ազատվելու և տրոհման ամպլիտուդի համար վերջավոր արդյունքներ ստանալու համար հաշվի է առնվել լրացուցիչ գլյուոնի ճառագայթմամբ պայմանավորված ուղղումների այն մասը, որն անհրաժեշտ է այդ անվերջությունների կրճատման համար:

Այս բոլոր ուղղումների համար ստացված արդյունքներն օգտագործվել են ստանդարտ մոդելում  $B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-$  տրոհման սպեկտրի համար նորացված տեսական կանխագուշակումներ ստանալու նպատակով: Ցույց է տրվել վերանորմավորման կետից կախվածության էական թուլացումը: Մասնակիորեն ինտեգրված տրոհման "branching ratio"-ի համար ստացվել է  $(1.31 \pm 0.08) \cdot 10^{-6}$  գնահատականը, որտեղ անորոշությունը պայմանավորված է վերանորմավորման կետից մնացորդային կախմամբ, այսինքն՝ անորոշությունը նվազել է  $\pm 13\%$ -ից մինչև  $\pm 6.5\%$ :

Երրորդ գլուխը նվիրված է ինկլուզիվ հազվագյուտ տրոհումներում CP-խախտող ասիմետրիաների ուսումնասիրությանը ստանդարտ մոդելի ընդհանրացումներում: Մասնավորապես, դիտարկված է  $B \rightarrow X_s \gamma$  տրոհման մեջ CP-ասիմետրիան միմիմալ սուպերսիմետրիկ ստանդարտ մոդելում ենթադրելով սուպերսիմետրիան խախտող անդամների ունիվերսալությունը և նոր CP-խախտող փուլերի բացակայությունը: Ցույց է տրվել, որ գոյություն ունեն սուպերսիմետրիկ պարամետրերի երկու համախմբեր, որոնք չեն բերում հակասության  $B \rightarrow X_s \gamma$  տրոհման լայնության համար փորձնական տվյալների հետ: Դրանցից մեկի համար CP-ասիմետրիան ունի նույն նշանը, ինչ որ ստանդարտ մոդելում, իսկ երկրորդի համար՝ հակառակ նշանը: Երկու դեպքում էլ CP-ասիմետրիան բավականաչափ մեծ է դիտվելու համար փորձնականորեն: Պարզաբանված է, որ դրա նշանը որոշվում է  $C_7^{eff}$  Վիլսոնյան գործակցի նշանով:

Ցույց է տրվել, որ նույն պատկերը  $B \rightarrow X_s \gamma$  տրոհման մեջ CP-ասիմետրիայի համար տեղի ունի նաև այսպես կոչված III տիպի երկու Յիգսի դուալետում լրացուցիչ կոմպլեքս փուլի բացակայության դեպքում: Վերջինիս առկայության դեպքում CP-ասիմետրիան փոխվում է  $(-25, 37)\%$  միջակայքում: Նույն մոդելում դիտարկվում է նաև CP-ասիմետրիան  $B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-$  տրոհման մեջ, ցույց է տրվում, որ մեծ

անորոշությունները խանգարում են համեմատությանը ստանդարտ մոդելի շրջանակներում ստացվող արդյունքների հետ:

Չորրորդ գլխում ներկայացվում է առաջատարի նկատմամբ հաջորդ լուգարիթմիկ կարգի ուղղումների հաշվարկը  $B \rightarrow K^* \gamma$  էքսկլուզիվ տրոհման համար: Սկզբնական և վերջնական վիճակներում հաղորդների նկարագրության համար օգտագործված է պարզ կոմպոզիտ մոդել: Օգտագործելով երկու տարբեր մեթոդներ ինֆրակարմիր անվերջություններ պրոբլեմի լուծման համար՝ ցույց է տրվել, որ հաշվված ուղղումները բերում են  $B \rightarrow K^* \gamma$  տրոհման լայնության համար տեսական կանխագուշակման աճի՝  $(10 \div 20)\%$ -ով: