

ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н. Баранова Сергея Павловича
на диссертацию Козачук Анастасии Дмитриевны
**"Редкие радиационные распады B -мезонов в Стандартной
модели"**

представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических
наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Актуальность работы

Успехи так называемой Стандартной Модели в описании широко круга явлений в области физики высоких энергий позволяют рассматривать её как опорную систему координат для осмысления вновь получаемых результатов. Вместе с тем не вызывает сомнений также и неполнота Стандартной Модели, где не находится места тёмной материи, барионной асимметрии вселенной и нейтринным осцилляциям. Указанные явления с неизбежностью требуют либо расширения Хиггсовского сектора Стандартной Модели, либо расширения её калибровочной симметрии сверх обычной $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ до некоторой большей группы, либо и того и другого. Не следует также исключать и возможность существования дополнительных частиц с некалибровочной природой взаимодействий. Настоящая диссертация посвящена изучению редких радиационных распадов B_d - и B_s -мезонов как одного из мест, где существование дополнительных частиц и взаимодействий могло бы проявиться наиболее заметным образом.

Актуальность работы усиливается возможностью непосредственного сравнения теоретических предсказаний с результатами измерений, проводимых в настоящее время на Большом Адронном Коллайдере в ЦЕРНе (в рамках коллаборации LHCb), и на ускорителе SuperKEKB в Японии (в рамках коллаборации Belle).

Задачи и предмет исследования диссертации

Предметом исследования диссертации являются радиационные распады B -мезонов с образованием лептонной пары, в том числе в области резонансов ϕ , J/ψ и ψ' , а именно $B \rightarrow l^+l^-\gamma$, $B \rightarrow V\gamma$ (с последующим распадом $V \rightarrow l^+l^-$). Ключевым результатом является построение дифференциальных распределений (парциальных ширин распадов) и зарядовых асимметрий по инвариантной массе лептонной пары. Значительный интерес представляет также вычисление относительных ширин распадов $\bar{B}_d^0 \rightarrow D^{*0}\gamma$ и $\bar{B}^- \rightarrow D_s^{*-}\gamma$.

Научная новизна

Принципиальная новизна теоретического исследования состоит в (никогда ранее не предпринимавшемся) учёте вклада излучения фотона из кварковой петли векторного мезона, а кроме того, в учёте вклада виртуального чарма в амплитуду нейтрального тока с несохранением аромата (FCNC) в аннигиляционном блоке B -мезона. В отношении всех остальных вкладов новым является проведение расчётов с конкретным обоснованным выбором модельных параметров.

Структура Диссертации и её оформление

Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения и приложения. Объём диссертации составляет 93 страницы, включая 26 рисунков, 10 таблиц и список литературы из 82 наименований. Структура и объём диссертации полно и точно отражены в автореферате.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, дано общее представление о проводимых в данной области экспериментальных исследованиях и их текущих результатах, определены цели и задачи работы, кратко описан метод исследования.

Первая глава посвящена описанию используемого в диссертации математического аппарата: даётся понятие эффективного гамильтониана, приводится структура его операторов; излагается метод описания взаимодействий адронов в виде дисперси-

онного интеграла; обсуждаются адронные формфакторы различной структуры, приводятся формулы для их вычисления.

Во второй главе рассматриваются примеры конкретных процессов: радиационный распад $B \rightarrow V\gamma$ с испусканием фотона из кварковой петли B -мезона и с испусканием фотона из кварковой петли векторного мезона.

Третья глава посвящена применению описанных методов к реальным распадам и проведению численных расчётов. В ней обосновывается выбор модели для волновой функции мезонов, приводится параметризация формфакторов и рассматриваются ограничения на их поведение. Подробно (и впервые так) разобран вклад виртуального s -кварка в амплитуду FCNC в аннигиляционном канале. В этой же главе сосредоточены и все численные результаты работы.

В заключении приведены основные выводы диссертации и положения, выносимые на защиту.

В качестве отдельных **приложений** даны: список используемых сокращений, список таблиц и список иллюстраций.

Достоверность полученных результатов и их апробация

Достоверность полученных результатов обусловлена применением надёжных и хорошо себя зарекомендовавших методов современной теоретической физики, а также сравнением с предсказаниями, полученными другими авторами в тех случаях, когда аналогичные расчёты имелись в литературе.

Результаты диссертации докладывались на многочисленных конференциях, как то: Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных "Ломоносов" (Москва - 2015, 2016, 2017 гг.); Научная конференция "Ломоносовские чтения" (Москва - 2016, 2017, 2018 гг.); Международная сессия-конференция Секции ядерной физики Отделения физических наук РАН (Дубна - 2016); International workshop on Quantum Field Theory and High Energy Physics QFTHEP (Самапа - 2015 г., Ярославль - 2017 г.); International seminar on High Energy Physics –QUARKS (Пушкин - 2016 г., Валдай - 2018 г.); Hadron Structure and QCD: from low to high energies

(Гатчина - 2016); Quark Confinement and the Hadron Spectrum (Салоники - 2016 г., Мейнута - 2018 г.); The European Physical Society Conference on High Energy Physics – EPS-HEP (Венеция - 2017 г.).

Вклад автора в получение результатов

Материалы диссертации опубликованы в семи печатных работах; при этом все – в научных журналах, индексируемых в базах SCOPUS и WEB OF SCIENCE. Основные результаты, представленные в диссертации, получены лично автором. Автор принимал непосредственное участие в постановке и решении задач, а также в подготовке статей к публикации.

ЗАМЕЧАНИЯ ПО РАБОТЕ

Диссертация написана на удивление аккуратно, в особенности в отношении формул (которых в диссертации много, что позволяет подробно проследить весь ход вычислений). Диссертация достаточно аккуратно также и с грамматической точки зрения и содержит едва ли не рекордно малое в моей практике количество опечаток. Ниже я привожу немногочисленные технические и стилистические погрешности, которые ни в малейшей степени не отражаются на качестве проведенного исследования.

Смысл расстановки знаков при W на рис.1.1 и 1.2 не вполне понятен: выбор знака условен, в зависимости от условного направления тока на диаграмме. На рис. 1.2 (правый) вероятно допущена опечатка: направление стрелок одной из фермионных линий следует изменить на обратное.

Вероятно, есть опечатка в третьем члене в уравнении (1.4) на стр. 13.

Имеется некоторая чехарда с обозначениями B_d и B_s мезонов. Так, на стр.20 написано, что фотон излучается d -кварком, тогда как на рисунке 1.6 и в последующем тексте обозначен s -кварк. То же и на стр. 21 и рис. 1.7. Перескоки с B_d на B_s продолжаются на протяжении всей главы. Понятно, что формализм в обоих случаях совершенно одинаковый, но проще это было обговорить с самого начала, раз навсегда

указав, что под символом $d(s)$ может подразумеваться как d -кварк, так и s -кварк.

Стр.25, рис. 1.10.b: опечатка в обозначении нижней кварковой линии.

Имеются некоторые повторения в изложении материала: формулы (2.42)-(2.45) и сопровождающий текст воспроизводятся в дальнейшем под номерами (3.53)-(3.56) с тем же текстом.

Отмеченные выше стилистические погрешности ни в коей мере не отражаются на полученных результатах и не умаляют их научной значимости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация Анастасии Дмитриевны Козачук "Редкие радиационные распады B -мезонов в Стандартной модели" представляет собой законченное научное исследование, устанавливающее форму и абсолютную нормировку дифференциальных распределений, то есть парциальных ширин распадов $B \rightarrow l^+l^-\gamma$, $B \rightarrow V\gamma$ и зарядовых асимметрий этих распадов по инвариантной массе лептонной пары. а также численные значения относительных ширин распадов $\bar{B}_d^0 \rightarrow D^{*0}\gamma$ и $\bar{B}^- \rightarrow D_s^{*-}\gamma$.

Диссертация основана на работах, опубликованных в реферируемых высокорейтинговых журналах. Основные её результаты докладывались автором на семинарах, рабочих совещаниях и международных конференциях. Выводы диссертации обоснованны, полностью соответствуют поставленной задаче и логично вытекают из проведённой работы. Все выносимые на защиту результаты получены при определяющем вкладе самого автора. Автореферат полно и ясно отражает содержание диссертации. Полученные диссертантом результаты могут использоваться в ИТЭФ, ИФВЭ, ИЯИ, НИИЯФ, ПИЯФ, ОИЯИ, ФИАН, а также других научных центрах России, Европы, Азии и США.

Диссертация А.Д.Козачук отвечает всем требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.23 – "физика высоких энергий" (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском

государственном университете имени М.В.Ломоносова. Диссертация оформлена в полном соответствии с приложениями № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель А.Д.Козачук заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник
Лаборатории взаимодействия излучения с веществом ФИАН
Баранов Сергей Павлович

Баранов 05.11.2019

Контактные данные: Тел.: (499) 132 6317 e-mail: baranovsp@lebedev.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
01.04.16 – "физика атомного ядра и элементарных частиц"

Место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физический институт им.П.Н.Лебедева Российской Академии Наук
119991 Москва, Ленинский проспект 53, Тел.: (499) 132 4264, Fax: (499) 135 7880
E-mail: office@lebedev.ru <http://www.lebedev.ru>

Подпись С.П.Баранова удостоверяю,
заместитель директора ФИАН
С.Ю.Савинов

