

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

Физический ИНСТИТУТ



имени
П.Н.Лебедева

Российской академии наук

Ф И А Н

119991, ГСП-1, Москва,
Ленинский проспект, 53, ФИАН
Телефоны: (499) 135 1429
(499) 135 4264
Телефакс: (499) 135 7880
<http://www.lebedev.ru>
postmaster@lebedev.ru

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора ФГБУ
Физический институт им. П.Н. Лебедева
РАН

Доктор физ.-мат. наук
Савинов Сергей Юрьевич



« » 2016 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук на диссертацию **ВОРОБЬЕВА Виталия Сергеевича «Модельно-независимое получение СР-нарушающих параметров с использованием когерентных состояний нейтральных D-мезонов»**, представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц

Диссертация Воробьева Виталия Сергеевича посвящена одной из наиболее интересных и актуальных задач современной физики элементарных частиц – изучению СР-нарушения в распадах В-мезонов. Сегодня мы понимаем, что явление нарушения СР-симметрии отвечает за преобладание материи над антиматерией во Вселенной, однако известный механизм СР-нарушения не объясняет большую наблюдаемую величину этого различия. Экспериментам Belle и BaBar на В-фабриках КЕКВ и PEP-II, специально созданным для изучения СР-нарушения в распадах В-мезонов и набравшим статистику, начиная с 1999 года, более десятилетия, удалось не только наблюдать СР-нарушение в распадах В-мезонов, но и измерить его параметры с высокой точностью. Тем не менее, поиск новых механизмов СР-нарушения и прецизионное измерение его параметров по-прежнему актуальны. Исключительно важной представляется возможность модельно-независимого измерения параметров СР-нарушения, которую демонстрирует автор представленного исследования.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и пяти приложений. Полный объём диссертации составляет 172 страницы, включая 59 рисунков и 19 таблиц, а также 138 библиографических наименований и 5 приложений. Основные результаты по теме диссертации изложены в 5 научных статьях, опубликованных в журналах, рекомендованных ВАК.

Во введении автор определяет цель работы как разработку и доказательство практической реализуемости модельно-независимого подхода к измерению параметров смешивания мезонов и параметров СР-нарушения с использованием многочастичных

распадов В- и D-мезонов и обосновывает актуальность подобных исследований. Здесь же сформулированы задачи, которые необходимо решить для достижения поставленной цели, перечислены основные положения, выносимые на защиту, а также обсуждается степень достоверности полученных результатов, их научная новизна, научная и практическая значимость. Приводится информация об апробации работы, личном вкладе диссертанта, об объёме и структуре работы и о количестве публикаций.

Первая глава посвящена феноменологическим подходам к исследованию и экспериментальному статусу СР-нарушения. Автор обсуждает дискретные симметрии в Стандартной модели, механизм Кобаяши-Маскавы, а также осцилляции нейтральных В- и D-мезонов. В разделе о СР-нарушении в распадах В-мезонов в качестве примера определения углов Треугольника Унитарности рассматривается измерение угла γ в распадах $B^\pm \rightarrow DK^\pm$, а также угла β с использованием осцилляций нейтральных D-мезонов, и формулируется принцип классификации СР-нарушающих распадов нейтральных В-мезонов. Затем обсуждается методика времязависимых измерений СР-нарушения на асимметричной В-фабрике. В разделе об экспериментальном статусе изучения СР-нарушения в распадах В-мезонов рассматривается измерение СР-нарушения в древесных переходах, в частности, определение $\sin 2\beta$ в процессах $b \rightarrow ccs$ и $b \rightarrow cud$, определение угла γ в интерференции переходов $b \rightarrow cus$ и $b \rightarrow ucs$, а также измерение прямого СР-нарушения в интерференции древесных и петлевых переходов, таких как $b \rightarrow uucq$. Дополнительно показано, как может быть получен угол α .

Во второй главе обсуждаются возможности модельно-независимого анализа многочастичных распадов В- и D-мезонов и описывается круг задач, который может быть решен, опираясь на эти возможности, на симметричной с-т-фабрике, работающей вблизи порога рождения пар D-мезонов, на асимметричной В-фабрике, работающей вблизи порога рождения пар В-мезонов, а также в эксперименте LHCb. Автор диссертации представляет впервые предложенный метод модельно-независимого измерения параметров смешивания D-мезонов в когерентных распадах DD-пар, а также впервые предложенный метод модельно-независимого измерения параметров смешивания D-мезонов во времязависимом анализе распадов $D \rightarrow K^0_S \pi^+ \pi^-$ (использованный в дальнейшем в эксперименте LHCb). В разделе, посвященном измерениям на В-фабриках, продемонстрировано влияние осцилляций D-мезонов на наблюдаемое значение угла γ при его модельно-независимом измерении в распадах $B^\pm \rightarrow DK^\pm$, $D \rightarrow K^0_S \pi^+ \pi^-$, и описан впервые предложенный автором метод измерения угла γ , при которой осцилляции D-мезонов смещают наблюдаемое значение не более чем на 0.2° . Затем автор рассматривает влияние СР-нарушения в распадах $D \rightarrow K^0_S \pi^+ \pi^-$ на наблюдаемое значение угла γ при его модельно-независимом измерении в распадах $B^\pm \rightarrow DK^\pm$, $D \rightarrow K^0_S \pi^+ \pi^-$. В последнем разделе описан впервые предложенный автором метод модельно-независимого измерения параметра β во времязависимом анализе распадов $B^0 \rightarrow D^{(*)0} h^0$, $D^0 \rightarrow K^0_S \pi^+ \pi^-$.

Третья глава посвящена экспериментальной установке Belle на асимметричном электрон-позитронном коллайдере КЕКВ. После обсуждения параметров ускорителя автор детально описывает подсистемы универсального детектора Belle: кремниевый вершинный детектор, центральную дрейфовую камеру, аэрогелевые черенковские счетчики, времяпролетные счетчики, электромагнитный калориметр, сверхпроводящий магнит, а также триггер и систему сбора данных. В разделе о модернизации электромагнитного калориметра в условиях повышенной фоновой загрузки для нового эксперимента Belle-II на Супер-В-фабрике SuperKEKB обсуждается созданное автором диссертации программное обеспечение для модифицированной считывающей электроники.

Четвертая глава содержит подробное изложение первого модельно-независимого измерения угла β в распадах $B^\pm \rightarrow D^{(*)0} h^0$, $D^0 \rightarrow K^0_S \pi^+ \pi^-$, где $h = \pi^0, \eta, \eta', \omega$. Автор обсуждает выбор реконструированных мод распада В- и D-мезонов, критерии отбора событий,

рассказывает, как осуществляется (при необходимости) выбор единственного из нескольких В-кандидатов, описывает процедуру определения аромата помечающего В-мезона, а также кинематическую реконструкцию распадов частиц. Затем речь идет об источниках фона и способах его подавления. Сигнальные события отбираются в результате анализа двумерных распределений кинематических параметров В-кандидатов, ΔE - M_{bc} . Все рассматриваемые процессы дают в сумме около 1000 сигнальных событий для измерения угла β . Затем осуществляется анализ распределений по Δt , разности собственных времен жизни сигнального и помечающих В-мезонов, откуда автор получает значение угла β . В конце главы автор приводит детальную оценку систематических неопределенностей параметров СР-нарушения и переходит к обсуждению полученных результатов.

В заключении изложены основные результаты работы, перспективы использования предложенных модельно-независимых методов измерений в других экспериментах, а также показана их практическая реализуемость.

Помимо основной части диссертация содержит пять приложений, где автор детально обсуждает формализм с учетом СР-нарушения в смешивании D-мезонов, процедуру проведения численных экспериментов методом Монте-Карло, кинематическую реконструкцию вершин распадов, параметризацию ΔE - M_{bc} распределений, а также параметризацию временного разрешения в эксперименте Belle.

Новизна и научная значимость диссертации В.С.Воробьева не вызывают сомнений. Автором разработаны новые методы измерений и получены оригинальные результаты. В частности, впервые предложен модельно-независимый метод измерения параметров смешивания D-мезонов и СР-нарушающего параметра β с использованием многочастичных распадов нейтральных D-мезонов, и выполнено первое модельно-независимое измерение параметра β в распадах $B^\pm \rightarrow D^{(*)0} h^0$, $D^0 \rightarrow K^0 \pi^+ \pi^-$. Достоверность результатов подтверждает хорошее согласие полученного угла β с предыдущими измерениями сотрудничества Belle и BaBar, а также публикация результатов в рецензируемых журналах с высоким индексом цитирования.

Научная и практическая ценность представленной работы очевидна. Предложенные автором диссертации метод измерения угла β , наряду с результатами изучения процедуры модельно-независимого измерения угла γ используются и будут использоваться в прецизионных измерениях в экспериментах BaBar, Belle, Belle-II и LHCb. Кроме того, разработанная методика измерения параметров осцилляций D-мезонов применима в эксперименте BES-III, а также в будущих экспериментах на с-т-фабрике.

Однако к диссертации имеется ряд замечаний, приведенных ниже.

При восстановлении распада $B^0 \rightarrow D^0 h^0$ существенный вклад в сигнальную область по ΔE - M_{bc} следует ожидать от распада $B^0 \rightarrow D^{*0} h^0$, где $D^{*0} \rightarrow D^0 \gamma$. При потере фотона из распада D^{*0} -мезона распределение по ΔE для комбинации $D^0 h^0$ смещается влево, но размывается широко и перекрывается с сигнальной областью (в отличие от распада $B^0 \rightarrow D^{*0} h^0$, $D^{*0} \rightarrow D^0 \pi^0$, для которого отражение смещено в отрицательную область на массу π^0 и не дает вклада в сигнальное окно). В диссертации не обсуждается, является этот процесс фоновым или же он рассматривается как сигнальный. Остается неясным, насколько велик его вклад, а также какое влияние он оказывает на результаты подгонки и полученное значение угла β .

В разделе 4.1.2., посвященном выбору из нескольких кандидатов, не сказано, отбирается единственный кандидат только в сигнальном окне по ΔE - M_{bc} или же в более широком интервале, кроме того, непонятно, разрешено ли существование в одном событии нескольких кандидатов, восстановленных в разных конечных состояниях. И если

разрешено, то каким образом производится усреднение по разным каналам, учитывая возможное перекрытие образов событий.

В разделе 4.1.4 автор описывает восстановление вершины сигнального В-мезона в процессе $B^0 \rightarrow D^{(*)0} \pi^0$, $B^0 \rightarrow D^{(*)0} [\gamma\gamma]_{\eta}$. В этом случае для определения вершины распада В-мезона используются в основном заряженные π -мезоны из распада $D^0 \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^-$ (единственные заряженные треки близкие к вершине В-мезона, хотя K_s^0 может также уточнять положение вершины, если распадается в вершинном детекторе). Можно ожидать, что разрешение по z-координате вершины будет зависеть от номера бина распределения Далица (для мягких треков разрешение ухудшается из-за многократного рассеяния). Хотелось бы понять, изучалось ли это явление, насколько отличается разрешение в разных бинах распределения Далица, учитывалось ли это явление в оценке систематических неопределенностей.

На фоне детального обсуждения технических подробностей методов физического анализа обсуждению полученных результатов посвящена всего лишь одна страница текста в конце четвертой главы. Хотелось бы увидеть развернутое сравнение с результатами других экспериментов и теоретическими предсказаниями.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации, представляющей собой добротное выполненное и законченное экспериментальное исследование. Диссертация написана хорошим литературным языком, содержит богатый иллюстративный материал, детальное описание предложенных методов и выполненных измерений, демонстрирует хорошее знание автором методики эксперимента и владение современными методами анализа данных. Результаты представленной работы докладывались на научных семинарах и международных конференциях и опубликованы в ведущих реферируемых журналах. Текст автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

Представленная диссертация отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.16 – “физика атомного ядра и элементарных частиц”. Автор диссертации, В.С.Воробьев, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании Ученого совета ОЯФА, ФГБУ Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН 20-го сентября, протокол №50.

Отзыв подготовил:

Заведующий сектором теоретической ядерной физики

ФГБУ Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

Профессор, доктор физ.-мат. наук

dalkarov@sci.lebedev.ru



О.Д. Далькаров

Учёный секретарь ФГБУ Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

Кандидат физ.-мат. наук

kolobov@lpi.ru



А.В. Колобов

Контакты ведущей организации:

Адрес: 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53, ФИАН

Телефон: 8(499)135-42-64, Факс: 8(499)135-78-80, e-mail: postmaster@lebedev.ru