

ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н. Баранова Сергея Павловича

на диссертацию Мандрика Петра Сергеевича

"Поиск аномальных взаимодействий топ-кварков на адронных коллайдерах"

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 и кажущуюся пока экзотической возможность существования дополнительных пространственных измерений. Настоящая диссертация посвящена выяснению возможностей поиска нейтральных токов, меняющих аромат (в английском произношении: Flavor Changing Neutral Currents, или FCNC) во взаимодействиях t -кварка. Выбранная тема предстает собой одну из областей поиска, где существование неучтённых в Стандартной Модели взаимодействий могло бы проявиться наиболее заметным образом.

Актуальность работы мотивируется возможностью непосредственного проведения измерений на Большом Адронном Коллайдере в ЦЕРНе в рамках коллаборации CMS и, в некотором гипотетическом будущем, на ускорителях HL-LHC и FCC-hh.

Задачи и предмет исследования диссертации

Предметом исследования диссертации является возможность обнаружения аномальных взаимодействий в распадах t -кварка; задачей диссертации – оценка возможностей проектируемых детекторов в отношении получения верхних границ для констант связи $tq\gamma$, tqg , tqH , где $q = c, u$.

Научная новизна

В диссертации впервые рассматриваются возможности проектируемого детектора "CMS Phase II Upgrade" ускорителя HL-LHC в отношении обнаружения или установления верхних границ для процессов с несохранением аромата в нейтральных токах с участием t -кварка. В том же аспекте в диссертации впервые рассматриваются возможности проектируемого ускорителя FCC-hh. Новизна научной работы определяется в обоих случаях новизной (уникальностью) проектируемых детекторов.

В диссертации впервые в явном виде приведён алгоритм построения функции правдоподобия для случая сгенерированных событий с отрицательными весами. Алгоритм (также впервые) реализован в виде программного кода для проведения соответствующего Байесовского анализа.

Структура Диссертации и её оформление

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и двух приложений. Объём диссертации составляет 121 страницу, включая 45 рисунков, 17 таблиц и список литературы из 117 наименований. Структура и объём диссертации полно и точно отражены в автореферате.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цели и задачи исследования, указана его новизна и практическая значимость, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе сообщаются основные теоретические положения Стандартной Модели, среди которых наибольшее внимание уделено тем, что имеют отношение к свойствам t -кварка и к несохранению аромата в нейтральных токах; приводятся некоторые гипотетически возможные расширения Стандартной Модели; даётся общее представление о проводимых в данной области экспериментальных исследованиях и их текущих результатах; описывается детектор CMS и проект его модернизации, а также проект модернизации самого ускорителя LHC (до HL-LHC) и проект нового адронного ускорителя FCC-hh.

Во второй главе, также имеющей вводный общеобразовательный характер, излагается общая стратегия анализа данных, а именно: методы моделирования сигнальных и фоновых событий, моделирование отклика детектора, алгоритмы реконструкции и отбора событий. Значительное внимание уделено описанию методов статистической обработки данных и предназначенных для этого пакетов программ

(задействованных далее в диссертационной работе).

Третьей главой открывается оригинальная часть исследования. Данная глава посвящена поиску FCNC токов в кварк-фотонной вершине в условиях модернизированного ускорителя HL-LHC. Здесь приведён список моделируемых сигнальных процессов и использованных для этого генераторов, описаны критерии отбора событий и изложены результаты статистического анализа. Итоги главы сформулированы в виде верхних ограничений на вероятности распада t -кварка по гипотетическим каналам $t \rightarrow u\gamma$ и $t \rightarrow c\gamma$.

Четвёртая глава повторяет структуру третьей главы, но уже применительно к поиску FCNC токов в кварк-глюонной вершине. Замена фотона на глюон (или, в конечном счёте, адронную струю) отвечает уже новому классу событий, потребовавшему отдельного рассмотрения. Итоги главы сформулированы в виде верхних ограничений на вероятности распада t -кварка по гипотетическим каналам $t \rightarrow ug$ и $t \rightarrow cg$.

Пятая глава отсылает нас к условиям будущего (планируемого) ускорителя FCC-hh с $\sqrt{s} = 100 \text{ TeV}$. Здесь рассматривается возможность обнаружения FCNC в парном рождении t -кварков с большими поперечными импульсами, из которых один распадается по известному и доминирующему каналу $t \rightarrow bW^+$, а второй - по гипотетическим FCNC каналам $\bar{t} \rightarrow \bar{q}\gamma$ или $\bar{t} \rightarrow \bar{q}H$ с $H \rightarrow \bar{b}b$. Ожидаемые ограничения на вероятности распадов t -кварка по FCNC каналам $t \rightarrow u\gamma$, $t \rightarrow c\gamma$, $t \rightarrow uH$, $t \rightarrow cH$ показывают существенное преимущество будущего ускорителя FCC-hh по сравнению с HL-LHC.

В заключении приведены основные выводы диссертации.

В качестве отдельных приложений вынесен раздел благодарностей, список используемых сокращений и словарь терминов.

Практическая значимость результатов

В диссертации решена конкретная задача определения чувствительности детектора "CMS Phase II Upgrade" ускорителя HL-LHC к поиску распадов $t \rightarrow q\gamma$ и $t \rightarrow qg$ (где $q = c, u$), а также задача определения чувствительности планируемых экспериментов на FCC-hh к поиску распадов $t \rightarrow q\gamma$ и $t \rightarrow qH$.

Опыт, приобретённый при сравнении функциональности различных пакетов статистического анализа может быть активно использован другими экспериментальными группами, занимающимися физическим анализом. Особый интерес представляет оригинальный алгоритм построения функции правдоподобия для случая, когда среди

сгенерированных событий могут встречаться как положительные, так и отрицательные веса.

Оценки чувствительности проектируемых детекторов могут быть с пользой учтены для предотвращения ошибок планирования экспериментов или для их оптимизации.

Полученные в диссертации результаты могут влиять и на принятие окончательного решения о строительстве нового ускорителя FCC-hh.

Достоверность полученных результатов и их апробация

Достоверность полученных результатов обусловлена применением надёжных, многократно проверенных и хорошо себя зарекомендовавших методов современной экспериментальной физики.

Результаты диссертации докладывались автором устно на международных конференциях: "Международная сессия-конференция Секции ядерной физики Отделения физических наук РАН" (Дубна - 2016 г.); "International workshop on Quantum Field Theory and High Energy Physics" – QFTHEP (Ярославль - 2017 г.); "International seminar on High Energy Physics" – QUARKS" (Валдай - 2018 г.); "IV International conference on Particle Physics and Astrophysics" ICPPA (Москва - 2018 г.); представлялись в качестве постера на конференции "The 2017 European School of High Energy Physics" (Evora, Portugal 2017); а также включались в доклады, представленные другими членами коллаборации CMS: by C.Helsens, at "XXXIX International conference on High Energy Physics" ICHEP (Seoul, Korea - 2018); by G.Vorotnikov and M.Perfilov, at "5th CMS Single Top workshop" (Oviedo - 2018).

Вклад автора в получение результатов

Материалы диссертации опубликованы в четырёх печатных работах (в научных журналах, индексируемых в базах SCOPUS и WEB OF SCIENCE), четырёх ЦЕРНовских препринтах и трёх сборниках конференций. 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 следует строгой логике изложения и опрятно оформлена. Ввиду отсутствия возражений принципиального характера, в качестве замечаний можно отметить лишь немногочисленные технические и стилистические погрешности, кото-

рые ни в малейшей степени не отражаются на качестве всей представленной работы.

Имеется опечатка в формуле (1.4): выражение 2_W следует читать как 2_{c_W} .

Смущают надписи на рис. 3.4: в главе обсуждаются кварк-фотонные вершины типа $tq\gamma$, на рисунках же обозначены кварк-глюонные вершины tcg и tug .

Имеется опечатка в Таблице 5.2 в размерности светимости: фб^{-1} .

Имеются (весьма немногочисленные) орфографические ошибки, как например слово "разыгрышь" на стр.38; а слово "апостериорный", следуя академической строгости, не нужно сокращать до "апостеорный", как на стр. 9, 44, 50, 52, 58, 77(трижды), 78. Имеются отдельные случаи несогласования в роде, числе и падеже. Например, в подписи к рис. 4.1 дважды встречается словосочетание "для подавления многоструйный КХД фона"; на стр. 77 - "оба соответствующих шаблонов"; а на стр. 91 - "с одной идентифицированными подструями".

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация Петра Сергеевича Мандрика "Поиск аномальных взаимодействий топ-кварков на адронных коллайдерах" представляет собой полноценное научное исследование, устанавливающее возможности проектируемых детекторов на действующем LHC и будущем FCC-hh коллайдерах в отношении обнаружения несохраняющих аромат нейтральных токов (FCNC) в распадах t -кварка.

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 П.С.Мандрика отвечает всем требованиям "Положения о порядке присуждения ученых степеней", утвержденного Постановлением 842 Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Пётр Сергеевич Мандрик,

заслуживает присуждения ему 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

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, Факс: (499) 135 7880

E-mail: office@lebedev.ru <http://www.lebedev.ru>

Подпись С.П.Баранова удостоверяю,

заместитель директора ФИАН

С.Ю.Савинов



[Handwritten signature]

Список публикаций оппонента по теме рецензируемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. S.P.Baranov, A.V.Lipatov, Prompt eta c meson production at the LHC in the NRQCD with k_T -factorization, The European Physical Journal C79, 621 (2019); DOI: 10.1140/EPJC/S10052-019-7134-4
2. S.P.Baranov, B.Z.Kopeliovich, Fragmentation of charm to charmonium in e+ e- and pp collisions, The European Physical Journal C79, 241 (2019); DOI: 10.1140/EPJC/S10052-019-6700-0
3. S.P.Baranov, A.V.Lipatov, Associated non-prompt $J/\psi + \mu$ and $J/\psi + J/\psi$ production at LHC as a test for TMD gluon density, The European Physical Journal C78, 820 (2018); DOI: 10.1140/EPJC/S10052-018-6297-8
4. S.P.Baranov, A.V.Lipatov, First estimates of the B_c wave function from the data on the B_c production cross section, Physics Letters B785, 338 (2018); DOI: 10.1016/J.PHYSLETB.2018.09.007
5. S.P.Baranov, H. Jung, A.V.Lipatov, M.A.Malyshev, Associated production of Z bosons and b-jets at the LHC in the combined k_T + collinear QCD factorization approach, The European Physical Journal C77, 772 (2017); DOI: 10.1140/EPJC/S10052-017-5369-5
6. S.P.Baranov, A.V.Lipatov, Prompt charmonia production and polarization at the LHC in the NRQCD with k_T -factorization. III. J/ψ meson, Physical Review D96, 034019 (2017); DOI:10.1103/PHYSREVD.96.034019
7. S.P.Baranov, H.Jung, A.V.Lipatov, M.A.Malyshev, Charmonia production from b -hadron decays at the LHC with $k(T)$ -factorization: J/ψ , $\psi(2S)$ and J/ψ plus Z , The European Physical Journal C78, 2 (2017); DOI:10.1140/EPJC/S10052-017-5489-Y
8. S.P.Baranov, H. Jung, A.V.Lipatov, M.A.Malyshev, Testing the parton evolution with the use of two-body final states, The European Physical Journal C77, 2 (2016); DOI: 10.1140/EPJC/S10052-016-4562-2
9. S.P.Baranov, A.H. Rezaeian, Prompt double J/ψ production in proton-proton collisions at the LHC, Physical Review D93,114011(2016); DOI:10.1103/PHYSREVD.93.114011
10. S.P.Baranov, A.V.Lipatov, N.P.Zotov, Prompt charmonia production and polarization at the LHC in the NRQCD with k_T -factorization. II. χ_c -mesons, Physical Review D93, 094012 (2016); DOI: 10.1103/PHYSREVD.93.094012
11. S.P.Baranov, A.V.Lipatov, M.A.Malyshev, A.M.Snigirev, N.P.Zotov, Associated production of electroweak bosons and heavy mesons at LHCb and the prospects to observe double parton interactions, Physical Review D93, 094013 (2016); DOI: 10.1103/PHYSREVD.93.094013
12. S.P.Baranov, Possible solution of the quarkonium polarization problem, Physical Review D93, 054037 (2016); DOI: 10.1103/PHYSREVD.93.054037
13. S.P.Baranov, A.V.Lipatov, N.P.Zotov, Prompt charmonia production and polarization at the LHC in the NRQCD with k_T -factorization. Part I: $\psi(2S)$ meson, The European Physical Journal C75, 455 (2015); DOI: 10.1140/EPJC/S10052-015-3689-X
14. S.P.Baranov, A.V.Lipatov, M.A.Malyshev, A.M.Snigirev, N.P.Zotov, Associated W^\pm and $D^{(*)}$ production at the LHC and prospects to observe double parton interactions, Physics Letters B746, 100 (2015); DOI: 10.1016/J.PHYSLETB.2015.04.059
15. S.P.Baranov, Kinematic corrections to quarkonium production in the nonrelativistic QCD approach, Physical Review D91, 034011 (2015); DOI: 10.1103/PHYSREVD.91.034011