

ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертацию на соискание ученой степени

**кандидата физико-математических наук Мандрика Петра Сергеевича на
тему «Поиск аномальных взаимодействий топ-кварков на адронных
коллайдерах» по специальности 01.04.23 – «Физика высоких энергий»**

Десятилетие успешной работы Большого адронного коллайдера (БАК, LHC) убедительно продемонстрировало справедливость стандартной модели и вывело на новый уровень точностей задачи её проверки. В связи с этим особое внимание привлекают исследования редких процессов, где наиболее вероятно обнаружение эффектов новой физики, способной повлиять на измеряемые характеристики реакций. Топ-кварк является самой тяжелой фундаментальной частицей, масса которой является одним из важнейших параметров стандартной модели (СМ). Его вклад является определяющим во многих реакциях. При поиске новой физики особое место занимают исследования взаимодействий топ-кварка с меняющимися аромат нейтральными токами FCNC, где могут проявиться вклады аномальных взаимодействий топ-кварков. Вслед за измерениями LEP и Теватрона в последние годы появились результаты первых измерений сечений рождения одиночных топ-кварков и констант таких редких распадов на БАК. Но для достижения требуемых точностей ещё предстоит длительная работа по набору и анализу данных, получаемых в постоянно меняющихся условиях. К ним относятся новые проекты HL-LHC и HE-LHC на БАК и создание коллайдера FCC.

С развитием коллайдеров меняются и детекторы. Время работы крупнейших детекторов на БАК уже достигло планового периода эксплуатации и дальнейшие исследования предусматривают значительную модернизацию их подсистем и развитие как программного обеспечения экспериментов, так и методов анализа. Указанные моменты определяют актуальность темы диссертации Петра Сергеевича Мандрика, посвященной

поиску аномальных взаимодействий топ-кварков на модернизированной установке CMS и на планируемом новом адронном коллайдере FCC-hh.

Планирование и создание новых экспериментов физики высоких энергий требует надежных оценок их возможностей в достижении физических результатов. Задача получения таких оценок решена в диссертации П.С. Мандрика для эксперимента CMS в новых условиях с модернизированным детектором при накопленной интегральной светимости 300 и 3000 fb^{-1} и для проектной установки на коллайдере FCC-hh с интегральной светимостью 30000 fb^{-1} . Достоверность полученных П.С. Мандриком результатов обусловлена использованием стандартизированных программных пакетов для моделирования как физических реакций, так и детекторов и систем обработки данных, апробированием результатов расчетов в научном сообществе, что демонстрируется включением полученных им результатов в проектные документы коллабораций CMS и FCC. Все рассчитанные оценки чувствительности экспериментов и ожидаемых пределов на вероятности рассмотренных редких распадов топ-кварков для этих экспериментов получены П.С. Мандриком впервые, что определяет безусловную новизну результатов диссертации.

Достоинством работы является адекватный учет условий наблюдения исследуемых реакций для широкого ряда экспериментов, для которых проведены расчеты. С увеличением энергии взаимодействия протонов и текущей светимости коллайдера БАК существенно меняются условия наблюдения реакций как из-за увеличения наложения событий при соударениях сгустков протонов, достигающих в среднем 200 в режиме HL-LHC, так и из-за изменения конфигурации событий реакции, например, слияния нескольких адронных струй в одну широкую струю, именуемую в английском варианте как fat jet. Результаты расчетов дают возможность оценить достижимые значения верхних ограничений на вероятности рассмотренных редких распадов топ-кварков в ближайшие десятилетия.

Достижением исследования является получение количественных оценок верхних границ вероятностей редких распадов топ-кварков $t \rightarrow gq$, $t \rightarrow \gamma q$, где $q = c$ или u , которые удастся достичь на БАК, и $t \rightarrow \gamma q$, $t \rightarrow qH$, где $q = c$ или u , $H \rightarrow b\bar{b}$, на коллайдере FCC-hh, и какие модели расширения СМ станут возможным исключить при отсутствии обнаружения искомым реакций. Так, при увеличении энергии протонных соударений до 100 ТэВ и интегральной светимости до 30 аб^{-1} , планируемых для FCC-hh, что по светимости примерно в 200 раз больше по сравнению с уже накопленной на БАК, оценки верхних границ вероятностей редких распадов $t \rightarrow \gamma q$ будут иметь порядок 10^{-7} , т.е. понизятся примерно на 3-4 порядка величины, а рассчитанные вероятности распадов $t \rightarrow uH$ и $t \rightarrow cH$ составят соответственно $4.8 \cdot 10^{-5}$ и $4.3 \cdot 10^{-5}$, что на два порядка ниже достигнутых к настоящему времени.

Проведенный в П.С. Мандриком анализ является оригинальным и взаимодополняющим к аналогичным расчетам коллаборации ATLAS, где, например, для FCC-hh рассматривались распады $t \rightarrow qZ$ и $t \rightarrow qH$, $H \rightarrow \gamma\gamma$.

По содержанию диссертации можно сделать следующие замечания.

1) На стр.19 при описании критериев отбора полуплептонных каналов распада пар топ-кварков не упомянуты две струи от адронного распада W бозона;

2) рисунок 1.3 на стр.20 содержит существенно неполные данные измерений сечений одиночного рождения топ-кварка;

3) нет пояснения для реакции в нижней строке таблицы 1.2 на стр.21, использованного обозначения I' ;

4) на стр.38 выпали номера разделов 2.4-2.6 при описании структуры главы 2;

5) на стр.79 приведена неизвестная реакция распада $H \rightarrow u\bar{u}$;

б) нет определения переменных t , используемых для анализа многоструйных объектов с помощью пакета TMVA.

На стр.18 существенные опечатки также в указании параметров времени жизни топ кварка (10^{24} с вместо 10^{-24} с), аналогичные опечатки там же в указании времён адронизации и жизни b кварка.

Работа не свободна от опечаток в тексте. Они присутствуют на стр. 11, 18, 40, 43, 47, 56, 65, 104.

Указанные недостатки ни в коей мере не снижают уровня диссертации и не мешают пониманию текста и полученных результатов.

Выполненный в диссертации анализ редких распадов топ-кварков демонстрирует высокий профессионализм автора, в котором сочетаются хороший теоретический уровень, владение современными программными средствами обработки и анализа данных и способность самостоятельно решать проблемы в методике статистического анализа.

Личный вклад автора является определяющим и не вызывает сомнений. Особо следует отметить разработанный им метод учета отрицательных весов при построении функции правдоподобия, что является существенным вкладом в методику статистического анализа.

Все результаты диссертации опубликованы. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, является высокой, соответствует современному уровню развития теоретических расчетов, программных пакетов моделирования и анализа данных и методики эксперимента в физике высоких энергий.

Диссертационная работа П.С. Мандрика «Поиск аномальных взаимодействий топ-кварков на адронных коллайдерах» полностью удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а её автор, Мандрик Пётр Сергеевич, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – «Физика высоких энергий».

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук,
Профессор кафедры общей ядерной физики
Физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова
«Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Московский государственный университет имени
М.В.Ломоносова»».

СМИРНОВА Лидия Николаевна

2.03.2020

Контактные данные:

тел.: 7(915)4804164, e-mail: lns@physics.msu.ru, Lidia.Smirnova@cern.ch

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.04.16 – Физика атомного ядра и элементарных частиц

Адрес места работы:

119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова, д. 1,
строение 2, Физический факультет, кафедра общей ядерной физики

Тел.: +7(495)9393160; +1(495)9328972; e-mail: www@phys.msu.ru

Подпись сотрудника Физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова
Л.Н. Смирновой удостоверяю:

Декан Физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова

Профессор
Н.Н.Сысоев

