

ОТЗЫВ

Официального оппонента

д.ф.-м.н. Беднякова Вадима Александровича,

на диссертацию на соискание ученой степени доктора физико-математических наук Дудко Льва Владимировича на тему «Физические основы и методы оптимизации исследований одиночного рождения топ-кварка на адронных коллайдерах» по специальности 1.3.15 «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий».

Актуальность темы диссертации не вызывает сомнения, поскольку в современной физике частиц топ-кварк представляет собой не только самую интересную и загадочную элементарную частицу материи, но и общепризнанно является наиболее информативным потенциальным источником уникальной информации как о свойствах самой КХД-материи, так и о «Новой Физике» за рамками Стандартной Модели.

Научная новизна исследований, проведенных диссертантом, очевидна. Она заключается в том, что *впервые* при недостижимых ранее самых высоких энергиях сталкивающихся протонов и антипротонов были получены важнейшие научные данные, касающиеся свойств топ-кварка, образованного в одиночку (без анти-топ-кварка) в результате слабого взаимодействия элементарных частиц.

Практическая значимость результатов диссертации заключается в том, что эти фундаментальные результаты с одной стороны укрепляют базис Стандартной Модели элементарных частиц – уникального достижения человеческого разума и основы физического мировоззрения, а с другой – приближают современного исследователя к границам применимости этой Модели, или, иными словами, стимулирует поиск «Новой Физики» за ее рамками.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов данной диссертационной работы обеспечена, во-первых, безошибочным использованием всей «машинерии» квантово-полевой теории, во-вторых, высокой надежностью многократно проверенных вычислительных методов Монте-Карло, в-третьих, тщательной, многоплановой «перекрестной» проверкой полученных численных результатов, и наконец, адекватностью этих результатов современным теоретическим представлениям.

Краткое содержание диссертации. Диссертация Л.В.Дудко насчитывает 273 стр. Включает в себя введение, где в контексте значимости Стандартной модели в современной

физике, а также ее «концептуальной» неполноты, автором сформулированы задачи, изложено содержание, актуальность и новизна диссертационной работы. Далее следуют четыре главы основного текста, заключение, где подведены основные итоги работы, а также список литературы (из 274 наименований).

Глава 1 носит название «Феноменология и моделирование рождения топ-кварка на адронных коллайдерах». Первые два раздела этой главы информируют читателя о самом топ-кварке, его свойствах, вариантах его образования и распада. Далее обсуждаются пути моделирования процессов одиночного образования топ-кварков на основе квантово-хромодинамических (КХД) диаграмм Фейнмана как в лидирующем, так и в следующем за ним приближении (т.е. с учетом КХД-поправок). Отмечены недостатки Монте-Карло генераторов образования топ-кварков, имевшихся до данной диссертации. Представлен разработанный автором МК-генератор “SingleTop”, свободный от недостатков предыдущих генераторов и позволяющий с хорошей точностью моделировать события образования топ-кварка с учетом лидирующих NLO-поправок. В заключительной части третьего раздела этой главы приведены полные сечения процессов рождения одиночного топ-кварка в LO- и NLO-приближениях и описаны элементы, необходимые для создания этого МК-генератора, а также изложен сам метод эффективного NLO-приближения, лежащий в основе этого генератора. Проведено сравнение эффективного NLO-приближения с вычислениями в точном NLO-приближении, показано хорошее согласие. В четвертом разделе первой главы подробно обсуждается моделирование фоновых процессов и различные варианты «борьбы с ними» (введение обрезаний фазового пространства). В последнем, 5-ом разделе этой главы обсуждаются процессы образования трех топ-кварков на коллайдерах высоких энергий. Эти процессы, по мнению автора, топологически неразличимы от одиночного рождения топ-кварка. Здесь же (на численном уровне) было замечено, что электрослабый канал образования трех топ-кварков достаточно велик и в ряде случаев компенсирует заметную часть основного канала образования трех топ-кварков за счет КХД-глюонов.

Вторая глава диссертации называется «Оптимизация методов экспериментального исследования топ-кварка». Здесь описано несколько общих подходов к повышению эффективности экспериментальных исследований. Сначала дается описание метода нейронных сетей, затем излагается методология применения этих нейронных сетей для выделения редких событий, что по словам автора «позволяет существенно повысить эффективность отбора и, тем самым, уменьшить статистическую ошибку и часть систематической ошибки получаемых результатов». Затем обсуждаются «оптимальные наблюдаемые», предложенные автором для наиболее эффективного разделения сигнальных и фоновых событий на основе из критического различия в кинематике. Показано, что совместное использование набора оптимальных переменных и нейронных сетей дает наилучший результат, позволяющий учитывать различные многомерные корреляции в пространстве кинематических переменных. В заключительной части главы обсуждается оптимизация анализа данных за счет введения единообразия как в моделировании различных процессов, так и в форматах их записи. На последнем шаге, была предложена и внедрена идея публичной базы знаний смоделированных событий.

Глава 3 посвящена описанию стадий поиска и открытие одиночного образования топ-кварка в эксперименте D0 (Run1 и Run2), в которых принимал участие автор. Сначала излагается «классический», по словам автора, метод анализа данных (отбор событий и т.п.) и приводятся его результаты. Затем делается первый шаг оптимизации критериев отбора для

поиска с помощью нейронных сетей, что дает существенное улучшение результата классического анализа. Описан метод получения верхних границ на сечения искомого процесса. Долго обсуждаются систематические ошибки. Получены первые ограничения на сечение процесса одиночного рождения топ-кварка. Использование нейронных сетей позволило в два (три) раза улучшить (уменьшить) верхние границы.

Как известно, обновленный D0 детектор получил кремниевый микростриповый вершинный детектор, позволивший идентифицировать адронные струи происходящие от b-кварков с высокой эффективностью, что критически важно для выделения событий с рождением топ-кварка. В результате далее в этой главе последовательно описаны 1) первое наблюдение ($0.9/fb$) одиночного образования топ-кварка (и измерения параметра tb -смешивания), 2) статистически достоверного открытия этого процесса ($2.3/fb+5.4/fb$) и 3) окончательный результат эксперимента D0 ($9.7/fb$) по регистрации одиночного топ-кварка в s- и t-канале, объединенный далее с аналогичных результатов эксперимента CDF. Очень много места в этой главе уделено обсуждению различных критериев отбора событий, и перечислению разнообразных источников систематических неопределенностей проведенного анализа.

В четвертой главе изложены теоретические основы и результаты поиска Новой физики (т.е. отклонений от предсказаний СМ) в процессах одиночного рождения топ-кварка в экспериментах D0 и CMS. Были проанализированы две основные возможности. Первая касалась «аномальности» в tbW -вершине взаимодействия, вторая – так называемых «меняющих аромат кварков нейтральных токов» в данном случае в виде вершины взаимодействия топ-кварка с глюоном и одним из «легких, верхних» кварков. Представлены экспериментальные результаты прямого поиска таких отклонений, основанные на феноменологическом анализе и проведенном моделировании соответствующих сигнальных процессов. Установлены верхние ограничения на соответствующие параметры, характеризующие вклад «Новой Физики».

Ниже приведены вопросы и замечания по диссертационной работе.

Замечания по введению:

Цели исследования сформулированы «мимоходом» в конце большого фрагмента текста в верхней части стр. 8. Следовало бы их выделить в тексте отдельным абзацем, поскольку эти цели представляют собой главную смысловую характеристику диссертационной работы.

Положения, выносимые на защиту, сформулированы «завуалировано». Например, фразу «Созданный новый метод моделирования процессов электрослабого рождения топ-кварка на адронных коллайдерах позволяет моделировать события на уровне точности, учитывающей следующий за лидирующим порядок теории возмущений», следовало бы написать в утвердительной форме: «Создан новый метод моделирования процессов электрослабого рождения топ-кварка на адронных коллайдерах, учитывающей следующий за лидирующим порядок теории возмущений». По-существу, это замечание относится к половине остальных формулировок положений, вынесенных автором на защиту.

Замечания по главе 1:

Подпись к Рис 1.1 должна иметь вид: «Парное рождение топ-АНТИтоп кварков», а не просто топ-кварков. Явный «жаргон» на стр. 50 в фразе: «Основным **обрезанием**, дающим возможность уменьшить этот фон, является **ограничение** на число струй в событии.» На

стр. 59 отсутствует ссылка на работу автора. На стр. 61 очень мелкие рисунки (особенно Рис. 1.28), при этом на них имеются очень странные обозначения, явно выходящие за рамки СМ.

Вопросы и замечания по главе 2:

На стр. 130 написано: «В таком подходе создавались последовательные каскады нейронных сетей объединяемых суперсетью (SuperNN). ... К сожалению, оказалось, что такое усложнение структуры нейронных сетей приводило к увеличению систематической ошибки.» Эта фраза вызывает недоумение, поскольку из общих соображений следует, что переход от простого к более сложному алгоритму (методу вычисления) всегда сопровождается большей гибкостью и большими возможностями, что обеспечивает, как правило, увеличение точности и т.п. По-видимому, здесь необходимы какие-то дополнительные пояснения.

Главный вопрос по применению нейронных сетей – в чем физическая причина их эффективной работы, или точнее, какая «физика» стоит за корреляциями, которые сеть использует вслепую?

Вопросы и замечания по главе 3.

На стр. 148 автор пишет: «Показаны два направления поиска. Поиск s-канального рождения одиночного топ-кварка, в данном случае t-канальный процесс добавляется к полному фону. Поиск t-канального процесса одиночного рождения топ-кварка, с добавлением s-канального процесса к фону.» На стр. 181: «Двумерная измеренная плотность вероятности была получена при независимой вариации сечений $t\bar{b}$ и $tq\bar{b}$ процессов. ... Для измерения одномерных плотностей вероятности для сечений s- и t-канальных процессов, двумерная плотность вероятности была проинтегрирована по значениям сечения для второго сигнального процесса.»

Вопрос: Почему нельзя просто «отфитировать» данные измерений функцией, содержащей одновременно три различающихся слагаемых — вклад s-канального топ-кварка, вклад t-канального топ-кварка и вклад всех остальных фоновых процессов?

Вопрос: Какой смысл (зачем) приводить ожидаемые (в СМ) значения уже измеренных значений сечений (параметров смешивания и т.п.)?

Вопросы и замечания по главе 4:

Что именно изображено на рисунках 4.3 и 4.4? Какие-то странные обозначения на них. В подписи к Рис. 4.6 сказано, что для ЛНС изображен процесс p-анти-p в Wb +анти-b. Надеюсь это опечатка, поскольку в начальном состоянии на ЛНС могут быть только протоны. Аналогичная опечатка на рис 4.7 для Теватрона.

На стр. 226 написано, что «Такой трехмерный анализ можно считать наиболее точным, так как он учитывает возможность одновременных отклонений от СМ в трех различных фермионных токах». Не очень понятно, что в данном случае понимать под точностью анализа. Для модели, где имеют место именно эти три фермионных тока, такой анализ выглядит скорее единственно правильным, а не самым точным. Для моделей, где присутствует лишь часть из этих трех фермионных токов, этот анализ выглядит, вообще говоря, мало полезным. Далее: «Чтобы установить одномерные количественные ограничения по каждому параметру в отдельности ... проводится интегрирование полученной плотности вероятности по возможным значениям оставшихся аномальных параметров».

Вопрос: Как можно доказать, что «...интегрирование полученной плотности вероятности по возможным значениям оставшихся аномальных параметров» дает более точное ограничение, чем метод «one-variable-at-a-time», когда все влияние «новой физики» параметризуется только одной переменной, ограничения на которую получается из данных?

На стр. 238 написано: «Измеренная плотность вероятности, зависящая от аномальных констант связи, представлена на рисунке 4.30 ...». Аналогично на стр. 223: «Измеренное распределение плотности вероятности получалось следующим образом...»

Вопрос: Возможно ли измерить плотность вероятности? Может правильнее сказать – плотность вероятности, вычисленная с учетом измеренных данных?

Замечания по заключению:

Пункт 6 заканчивается фразой: «Предложенные методы позволили упростить цепочку моделирования коллайдерных экспериментов и, как следствие, снизить теоретические неопределенности получаемых экспериментальных результатов».

Вопрос: почему упрощение моделирования снижает теоретические неопределенности?

Далее автор пишет: «... большой электрослабый вклад, сравнимый с вкладом сильных взаимодействий, большая отрицательная интерференция электрослабых и сильных вкладов и эффект сокращения основных вкладов за счет отрицательной интерференции.»

Можно ли объяснить, почему электрослабый и сильный вклады оказались в данном случае одинакового масштаба величины?

Общие замечания:

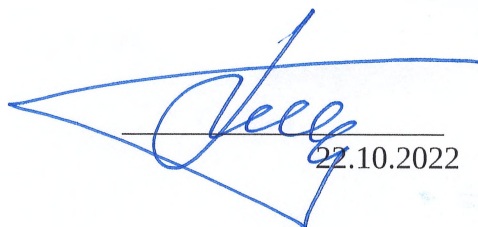
Не удалось найти в тексте обоснование необходимости использования генераторов, и в целом моделирования процессов на коллайдерах. Присутствует немало жаргонных понятий, значения которых плохо определены. Например, «не-коллайдерному физику» остается только догадываться, что автор подразумевает под «феноменологическим исследованием». Текст диссертации перегружен разного рода деталями (таблицами, вспомогательными рисунками и т.п.). Их следовало бы поместить в отдельные приложения.

Перечисленные замечания имеют не принципиальный, а, скорее, терминологический характер. Они не снижают важность и значимость проделанной диссертантом огромной работы, несомненно, доказывающей его высокий профессиональный уровень.

Диссертационная работа Л.В.Дудко является законченной научно-квалификационной работой. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к научно-квалификационным работам. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.15 – «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий» (физико-математические науки), а также критериям, определенным пп.2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Дудко Лев Владимирович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.15 – «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий» (физико-математические науки).

Официальный оппонент
доктор физико-математических наук,
директор Лаборатории Ядерных Проблем ОИЯИ
Бедняков Вадим Александрович



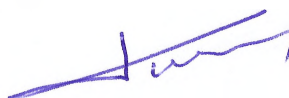
27.10.2022

Контактные данные:
тел.: +7 (49621) 6-21-21, 6-52-63, e-mail: bedny@jinr.ru
Специальность, по которой официальным оппонентом
защита диссертация: 01.04.16 – физико-математические науки

Адрес места работы:
Лаборатория ядерных проблем имени В.П. Джелепова,
**Международная межправительственная организация Объединенный институт
ядерных исследований ул. Жолио-Кюри, 6, г. Дубна, Московская обл., Россия, 141980**
Рабочий e-mail: bedny@jinr.ru , рабочий телефон: +7 (49621) 6-21-21, 6-52-63

Подпись директора Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ
Беднякова Вадима Александровича удостоверяю:

зам. директора ЛЯП



/ ГлазOLEV В. В. /

«22» октября 2022 г.

