

«УТВЕРЖДАЮ»



Проректор Московского Государственного Университета  
имени М.В. Ломоносова  
профессор

*А.А. Федянин*

А.А. Федянин

### ОТЗЫВ

ведущей организации Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московского Государственного Университета имени М.В. Ломоносова о диссертационной работе Разумова И.А. «Прецизионное измерение массы топ-кварка в эксперименте D0», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 — физика высоких энергий

Одним из интригующих предсказаний Стандартной модели (СМ) взаимодействия частиц является соотношение Сирлина, связывающее, при учёте петлевых поправок, в одной формуле массы калибровочных бозонов  $W$ ,  $Z$ , угол Вейнберга с массами топ-кварка, и скалярного бозона Хиггса. В лидирующем порядке, квантовые поправки квадратично зависят от массы топ-кварка, а зависимость от массы скалярного поля — логарифмична. При уже известных массах всех частиц, данное соотношение позволяет проверить самосогласованность Стандартной модели и выяснить, соответствует ли масса недавно найденной на Большом Адронном Коллайдере тяжелой частицы, массе бозона Хиггса. Но для этого требуется измерение массы частиц с очень высокой точностью. Массы  $W$  и  $Z$  бозонов измерены с точностью лучшей несколько сотых долей процента. Чрезвычайно актуальным является измерение массы топ-кварка с наилучшей, при существующих данных, точностью.

В диссертационной работе И.А. Разумова приводятся результаты измерения массы топ-кварка, полученные им из анализа данных по протон-антипротонным столкновениям на коллайдере Теватрон в рамках эксперимента D0. Целью исследования было прецизионное измерение массы топ-кварка на полной статистике периода Run II, что позволило уменьшить погрешности измерений в несколько раз.

Диссертационная работа оформлена в виде введения и трех глав общим объемом 86 страниц текста, включающих 33 рисунка, 7 таблиц и 76 ссылок на литературу.

Во введении показана актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна, а также краткое содержание работы по главам.

В первой главе дан обзор установки D0 и её компонент, использованных для регистрации струй частиц и заряженных лептонов: кремниевый микростриповый трекер, центральный оптоволоконный трекер, соленоид, предливневый детектор, калориметры и мюонная система.

Во второй главе, после краткого введения в физику топ-кварка в рамках СМ и обсуждения смысла термина «масса топ-кварка», приводится, тоже кратко, описание методов, использованных для извлечения информации о массе топ-кварка из данных. Данное измерение является продолжением и расширением анализа 2011 г [5], соавтором которого является И.А. Разумов. Используется техника матричного элемента и функция правдоподобия, но на полной статистике периода Run II, что более чем в 2.5 раз превосходит использованный ранее объем данных. В статье [5], и в рабочей записке D0 (D0 Note 6420, И.А. Разумов один из авторов), дано достаточно подробное описание главного инструмента анализа, функции правдоподобия, метода её конструирования, построение передаточной функции, но в диссертации данное описание было опущено.

Использование метода матричного элемента требует значительных вычислительных

ресурсов, а в связи с возросшим объемом анализируемых данных, требовалось значительно повысить эффективность численного интегрирования методом Монте-Карло. Это было достигнуто в два этапа. Во-первых, вместо псевдослучайных чисел, было предложено использовать последовательность Соболя. Во-вторых, было оптимизировано вычисления сигнальных и фоновых плотностей вероятности. В результате, удалось повысить скорость вычислений на два порядка.

Дальнейшее изложение посвящено описанию того, как используя псевдоэксперименты, отдельно выполнить калибровку метода матричного элемента для каждого канала ( $e + \text{струи}$ ,  $\mu + \text{струи}$ ), периода набора данных с тем, чтобы учесть различие отклика детектора, откалибровать коэффициент масштабирования энергии струй, среднее значение массы топ-кварка, и определить доли сигнальных событий  $f$  в отобранном для анализа наборе данных.

Важным и трудоемким этапом является анализ систематических погрешностей. Всего было изучено 18 источников систематической погрешности (см. таблицу 2.5 и раздел 2.4). Среди них, в частности, влияние настроек параметров Монте-Карло генераторов и влияние излучения в конечном и/или начальном состоянии на результат измерения массы топ-кварка (раздел 2.5).

В третьей главе представлен результат применения метода матричного элемента к полной выборке данных соответствующих светимости  $9.7 \text{ фб}^{-1}$ . Определенные ранее калибровочные прямые для массы и коэффициента масштабирования энергии струй, позволили построить двумерную функцию правдоподобия и по одномерным проекциям этой функции определить среднее значение и дисперсию измеряемых величин. Отдельно приведены результаты для массы топ-кварка в каналах  $e + \text{струи}$  и  $\mu + \text{струи}$  и в отдельные периоды набора данных Run II. Выполнено сравнение с результатом предыдущего анализа, со средним значением массы топ-кварка в экспериментах на Тэватроне, и со среднемировым значением.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертации, вошедшие в основу защищаемых положений, отмечаются те новые методы, что позволили повысить точность измерений массы топ-кварка и в два раза уменьшить величину статистических и систематических погрешностей.

Текст автореферата хорошо отражает содержание диссертации, сформулирован личный вклад автора, а материал диссертации в полной мере отражен в публикациях указанных в автореферате.

В качестве замечаний к работе следует отметить следующее.

1. Выше уже указывалось, что автор чрезмерно кратко изложил технологию построения функции правдоподобия и опустил детали алгоритмов ускорения численного интегрирования методом Монте-Карло. Обычно, диссертации являются более богатым источником технических деталей выполненных анализа или расчетов, чем научные статьи. В данном случае, по ряду пунктов, наоборот.
2. Не все ссылки на цитируемые публикации оформлены согласно существующим правилам. Так у большого числа ссылок опущен год публикации (см. [26]-[29], [31]-[34] и т.д). В ссылках [6]-[9] указан только адрес веб-ресурса, без указания автора и названия материала. На странице 53 обсуждается пакет программ ComrNEP, но ссылки на источник/публикацию нет, хотя по другим программам-генераторам детальные ссылки даны. В отличии от автореферата, не указаны ссылки на D0 Note 6408 и 6420, материалы которых использовались при написании §2.2-§2.5.
3. Укажем на неточность в тексте на стр 36 . Указывается, что «параметры кривых отклика получались после аппроксимации этих графиков прямыми... Значения этих параметров приведены в таблице 2.3» . Однако, в таблице 2.3 приводится лишь «доля сигнала, определенная из данных до и после калибровки ...»
4. Текст диссертации содержит ряд опечаток, например, на стр 67 слова «соответствующей



сечению  $9.7 \text{ фб}^{-1}$ » следует читать как «соответствующих светимости  $9.7 \text{ фб}^{-1}$ ».

Однако высказанные замечания не влияют на положительную оценку диссертационной работы в целом. Диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу. Результаты, полученные в ходе данного исследования, являются новыми, использованные методики обеспечивают достоверность измеренных величин. Результаты работы имеют существенное значение как для экспериментальной, так и для теоретической физики высоких энергий. Прикладное значение полученных в ходе эксперимента D0 прецизионных данных также очень велико. Данные могут быть использованы для проверки Стандартной модели.

По значимости и актуальности полученных результатов диссертационная работа Разумова И.А. удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а её автор достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 — физика высоких энергий.

Отзыв был заслушан и одобрен на семинаре Отдела экспериментальной физики высоких энергий НИИЯФ МГУ.

И.о. Директора НИИЯФ имени Д.В. Скобельцына  
МГУ имени М.В. Ломоносова  
профессор

В.И. Саврин

Заведующий ОЭФВЭ НИИЯФ МГУ  
доктор физ-мат. наук

Э.Э. Боос

Отзыв составил: кандидат физ-мат. наук  
старший научный сотрудник Отдела экспериментальной физики высоких энергий  
НИИЯФ МГУ  
Тел.: (495)9393064 Эл. почта: [levtchen@mail.desv.de](mailto:levtchen@mail.desv.de)

Б.Б. Левченко

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына (НИИЯФ МГУ),  
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2, Тел.:(495)9391818,  
Факс: (495)9390896, Эл. адрес: [info@sinp.msu.ru](mailto:info@sinp.msu.ru) <http://www.sinp.msu.ru/ru>

Подпись Б.Б. Левченко удостоверяю,  
ученый секретарь НИИЯФ МГУ

С.И. Страхова