

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный научный центр Российской Федерации Институт физики высоких энергий им. А.А.Логанова
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»
(НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ)

25 мая 2017 г.

Заседание Диссертационного совета

Д 201.004.01

Протокол № 2017-2

Стенограмма заседания Диссертационного совета Д 201.004.01

Защита диссертации на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук Каменщиковым Андреем Александровичем
«Поиск лепто кварков первого поколения при парном рождении в протон-протонных взаимодействиях в эксперименте ATLAS»
по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий

Председатель: председатель Диссертационного совета Д 201.004.01
д.ф.-м.н., профессор, Тюрин Николай Евгеньевич.

Секретарь: учёный секретарь Диссертационного совета Д 201.004.01 канд.ф.-м.н.
Рябов Юрий Григорьевич

Всего членов совета: 22 человека.

Присутствует: 19 человек.

На заседании присутствуют следующие члены Диссертационного совета
Д 201.004.01:

1. Тюрин Н.Е., доктор ф.-м.н., 01.04.02 – председатель;
2. Зайцев А.М., доктор ф.-м.н., 01.04.23 – заместитель председателя;
3. Рябов Юрий Григорьевич, канд. ф.-м.н, 01.04.23 – ученый секретарь диссовета;
4. Арбузов Б.А., доктор ф.-м.н., 01.04.02;
5. Балакин В.Е., доктор ф.-м.н, 01.04.20;
6. Герштейн С.С., доктор ф.-м.н., 01.04.20;
7. Денисов С.П., доктор ф.-м.н., 01.04.23;
8. Иванов С.В., доктор ф.-м.н, 01.04.20;
9. Качанов В.А., доктор ф.-м.н., 01.04.23;
10. Мочалов В.В., доктор ф.-м.н., 01.04.23;
11. Образцов В.Ф., доктор ф.-м.н., 01.04.23;
12. Петров В.А., доктор ф.-м.н, 01.04.02;
13. Петрухин А.А., доктор ф.-м.н., 01.04.23;
14. Саврин В.И., доктор ф.-м.н, 01.04.02;
15. Селезнев В.С., доктор ф.-м.н, 01.04.20;
16. Сенько В.А., доктор ф.-м.н, 01.04.20;

17. Ткаченко Л.М., доктор ф.-м.н., 01.04.20;
18. Фещенко А.В., доктор ф.-м.н., 01.04.20;
19. Чесноков Ю.А., доктор ф.-м.н., 01.04.20.

Диссертационный совет Д 201.004.01 утверждён приказом по Федеральной службе по надзору в сфере образования и науки № 105/нк от 11 апреля 2002 года в составе 22-х человек. На заседании присутствуют 19 членов совета, из них 6 докторов наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий, кворум имеется. На заседании присутствуют также официальные оппоненты доктор физ.-мат. наук Красников Николай Валерьевич и кандидат физ.-мат. наук Шматов Сергей Владимирович.

Тюрин Н.Е.: объявляет повестку дня: Сегодня на повестке дня защита диссертации Каменщиковым Андреем Александровичем «Поиск лептокварков первого поколения при парном рождении в протон-протонных взаимодействиях в эксперименте ATLAS» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий

Рябов Ю.Г. представляет материалы по диссертации: Соискатель Каменщиков Андрей Александрович, 1990 года рождения, в 2017 году окончил аспирантуру НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ, работает научным сотрудником в Отделении экспериментальной физики НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ. Диссертация выполнена в Отделении экспериментальной физики НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, Мягков Алексей Григорьевич, ведущий научный сотрудник Отделения экспериментальной физики НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ.

Диссертационный совет 13 марта 2017 г. принял к защите диссертацию Каменщикова и утвердил официальными оппонентами доктора физ.-мат. наук Красникова Николая Валерьевича, заведующего отделом Института ядерных исследований РАН, и кандидата физ.-мат. наук Шматова Сергея Владимировича, начальника сектора лаборатории физики высоких энергий Объединенного института ядерных исследований. Совет утвердил в качестве ведущей организации Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ». У соискателя 4 опубликованных работы по теме диссертации, в том числе 2 из них – в рекомендуемых ВАК изданиях. В деле имеются все документы. Документы соответствуют требованиям ВАК о присуждении ученых степеней.

Тюрин Н.Е.: Есть какие-либо вопросы? Нет вопросов? Спасибо. Переходим к выступлению. Андрей Александрович – вам слово.

Каменщиков А.А.: Представляю вашему вниманию материалы диссертации на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук «Поиск лептокварков первого поколения при парном рождении в протон-протонных взаимодействиях в эксперименте ATLAS».

После открытия бозона Хиггса в ряду наиболее актуальных направлений развития физики высоких энергий стоит проверка различных расширений Стандартной Модели. Одним из таких расширений является модель лептокварков, вдохновлённая в частности Теорией Великого Объединения ($SU(5)$, ограниченная $SU(5)$, являющаяся основной для данной работы, $SU(15)$) и, кроме того, моделью $SU(4)$ Пати-Салама, моделями суперструн и техницвета. В рамках основной для данной работы модели, лептокварки, подобно лептонам и кваркам, образуют 3 поколения и реализуют с ними диагональное смешивание, являются переносчиками одновременно барионного, лептонного и дробного электрических зарядов. Взаимодействие лептокварка и кварк-лептонной пары отражено Юкавской константой λ , которая является модельно-зависимой, неизвестной, однако ограничения на этот параметр, следующие из экспериментов на ускорителе HERA, позволяют полагать, что в наших экспериментальных условиях временем жизни лептокварка можно пренебречь. Парное рождение лептокварков в протон-протонных взаимодействиях полностью определяется константой сильного взаимодействия и не зависит от λ . Основной механизм парного рождения – глюонное слияние, диаграммы лидирующего порядка которого приведены в правой верхней части экрана, и следующий по значимости механизм парного рождения лептокварков – кварк-антикварковая аннигиляция (диаграмма справа внизу).

Предшествующий поиск лептокварков первого поколения осуществлялся в экспериментах на ускорителях HERA, LEP, Tevatron. Кроме того, установки Истра и ОКА на ускорителе У-70 также сообщали об ограничениях на отдельные параметры модели лептокварков. Последний результат установки ОКА по проверке модели лептокварков с экспериментальными данными приведён в рамочке в правом верхнем углу экрана, где проиллюстрирован механизм, посредством которого лептокварк мог бы давать вклад в спектры редких распадов каонов, и приведено значение ограничения для отношения массы лептокварка к λ^2 : 3.5 ТэВ на уровне значимости 95%. Проверялась модель лептокварков и в экспериментах на ускорителе LHC, в частности, в экспериментах ATLAS, CMS и LHCb. Предшествующий результат эксперимента ATLAS с использованием данных протон-протонных взаимодействий с энергией в системе центра масс 7 ТэВ проиллюстрирован двумя нижними рисунками, из которых следует, что при значении вероятности распада лептокварка в заряженном канале $\beta = 1$ масса лептокварка первого поколения составляет не менее 660 ГэВ, а при $\beta = 0.5$ – не ниже 600 ГэВ.

Экспериментальная установка, использовавшаяся для получения результата данной диссертации – эксперимент ATLAS, являющийся многоцелевым, представленным тремя основными группами подсистем, а именно: трековым детектором (он же внутренний), калориметром и мюонным спектрометром.

Номинальный первичный отбор событий для данной работы подразумевал срабатывание двухплечевого триггера (пара фотонов), наличие в событии строго двух объектов-электронов с абсолютным значением псевдо-быстроты, не превосходящим 2.47, исключая переходную область между центральной и торцевой частями калориметра; объекты-электроны должны удовлетворять требованиям идентификации не ниже уровня «medium» и проходить асимметричный отбор пары электронов с поперечным импульсом не менее 40 и не менее 30 ГэВ для лидирующего

и сублидирующего объектов, а также удовлетворять индивидуально оптимизированным требованиям изоляции для лидирующего и сублидирующего объектов. Кроме того, в событии присутствуют не менее двух струй, не перекрытых с ранее отобранными электронами в конусе $\Delta R < 0.4$; из множества отобранных струй далее рассматривались только 2 с наибольшими поперечными импульсами. Модифицированные условия первичного отбора использованы для построения топ-антитоп контрольной области (о которой далее), где условие двухплечевого триггера заменено на триггер одного электрона «medium», и требуется наличие строго одного электрона и строго одного мюона в событии.

Оценка вкладов фоновых и сигнальных процессов в данной работе в основном осуществлялась с помощью образцов, смоделированных методами Монте-Карло, когда для каждого моделируемого процесса использован Монте-Карло-генератор, рекомендованный коллаборацией ATLAS в качестве оптимального. Среди стандартномодельных (они же фоновые) процессов рассматривался процесс рождения Z -бозона с последующим его распадом в электронном канале, процесс Дрелла-Яна, процесс рождения и распада пар топ-антитоп, пар векторных бозонов, ассоциированного рождения топ-кварка с W -бозоном и рождение Z -бозона с распадом в τ -канале. Моделирование образцов сигнального процесса осуществлялось для масс лептокварка первого поколения от 300 до 1300 ГэВ с шагом 50 ГэВ. Специально оценивался фон ложных лептонов, представленный такими событиями, в которых хотя бы один из двух реконструированных электронов искомой топологии является истинной струей, некорректно идентифицированной как электрон. Оценка такого фона производилась с помощью управляемого данными матричного метода. Все образцы фоновых процессов подвергнуты коррекции с целью повышения качества моделирования физических величин при сопоставлении их спектров с данными: в частности, поправки вводились для эффективности триггера, изоляции, идентификации и реконструкции лептонов, эффектов загрузки и положения первичных вершин. Кроме того, поправка введена для образца процесса топ-антитоп с целью повышения качества моделирования спектра поперечных импульсов системы топ-антитоп и дополнительное исследование проведено с целью проверки качества моделирования процессов, вовлекающего быструю симуляцию, основанную на функциональной аппроксимации отклика калориметра на прохождение струи.

Для выделения областей фазового пространства, чувствительных к проявлению модели лептокварков, использованы дискриминирующие переменные. Среди возможных кандидатов выбраны 3 наиболее эффективные, среди которых наименьшая реконструированная масса лептокварка в событии, когда рассматриваются все возможные комбинации лептонов и струй и отбирается такая пара масс, которая обладает наименьшей относительной разницей (спектр переменной приведен на правом нижнем рисунке). Кроме того, использовалась переменная S_T , являющаяся скалярной суммой абсолютных значений поперечных импульсов двух лептонов и двух струй рассматривавшейся топологии (спектр переменной справа наверху); переменная чувствительна к асимметрии кинематики отдельных объектов в событии. Использована переменная двухлептонной инвариантной массы (спектр слева внизу); переменная позволяет подавлять вклад фоновых событий, в которых присутствует распадающийся в электронном канале Z -

бозон. Эффективность выбора данных дискриминирующих переменных подтверждена альтернативными методами с помощью технологий машинного обучения.

Для измерения нормировки главных фоновых процессов, а именно Z/γ^* и топ-анти топ, введены контрольные области, где в первом случае контрольная область построена с помощью требования для двухлептонной инвариантной массы располагаться в интервале от 60 до 120 ГэВ, а для случая топ-анти топ контрольной области, как ранее упоминалось, введено модифицированное условие первичного отбора, когда вместо требования строго двух электронов в событии требовался строго один электрон и строго один мюон в событии. Спектр поперечных импульсов мюонов в топ-анти топ контрольной области, а также двухлептонной инвариантной массы в Z -контрольной области приведены на рисунках соответственно слева внизу и справа наверху. На правом верхнем рисунке прослеживается Z -пик. Контрольные области введены в статистический анализ соответствующими членами функции правдоподобия. Кроме контрольных областей для проверки состоятельности оценки фона ложных лептонов управляемым данными матричным методом введена проверочная область с помощью требования для двухлептонной инвариантной массы располагаться выше 160 ГэВ и идентичного знака заряда двух электронов. Спектр четырехобъектной инвариантной массы из проверочной области приведён справа внизу, показывает совместимость оценок, даваемых матричным методом, и наблюдаемыми данными, демонстрирует отсутствие аномалий и очевидной некорректности в оценках вклада фона с помощью матричного метода; при этом проверочная область служит целям мониторинга и не вводится в статистический анализ.

Оптимизация сигнальных областей произведена с помощью критерия медианы значимости, выражение для которого приведено в левой верхней области экрана; оптимизация произведена с помощью вариации условий отбора для всех трёх дискриминирующих переменных одновременно. Правый верхний рисунок демонстрирует зависимость критерия медианы значимости от условий отбора для двух дискриминирующих переменных при фиксированном значении условия отбора для третьей. На рисунке видно ярко выраженный максимум, по положению которого выясняются условия отбора для двух оставшихся переменных. Затем сигнальные области, оптимизированные индивидуально для каждого рассматривавшегося значения массы лептокварка первого поколения, исследованы на предмет возможности их объединения без потери чувствительности анализа к проявлению модели лептокварков. В результате получен оптимизированный набор сигнальных областей (приведён справа внизу), представленный восемью сигнальными областями со значениями условий отбора для дискриминирующих переменных в крайнем правом столбце.

Неопределённости, рассматривавшиеся в рамках данного анализа, включают неопределённость измерения светимости, связанные с электронами и струями неопределённости; привнес методическую неопределённость подход к оценке фона ложных лептонов; учтена статистическая ограниченность Монте-Карло образцов в контрольных и сигнальных областях, неопределённость нормировки основных фоновых процессов; функции плотности распределения партонов внесли

соответствующие неопределённости в оценки вкладов процессов; учтены и погрешности значений сечений второстепенных фоновых процессов. Кроме того, исследована неопределённость моделирования главных фоновых процессов, выливающаяся в неопределённость связи их вкладов в контрольных и сигнальных областях. Для этого в контрольных областях проведено измерение величины абсолютного отклонения наблюдаемых чисел событий от ожиданий исходя из Стандартной Модели, аппроксимация данной величины линейной зависимостью; использована полученная зависимость для оценки систематической неопределённости в сигнальных областях. Таким образом, в результате заполнения модели всеми источниками систематических неопределённостей, в неё введено 30 мешающих параметров, их описывающих.

Исследование метода проверки совместимости расширения Стандартной Модели с измеряемыми экспериментальными данными проведено независимо от коллаборации ATLAS, для чего смоделирована характерная экспериментальная конфигурация с одной наблюдаемой величиной и одной контрольной областью, получены образцы фоновых и сигнальных процессов, получен комплект посевдоданных в предположении отсутствия сигнала и введены источники систематических неопределённостей с подробным описанием вспомогательных измерений. Функции плотности вероятности, использовавшиеся для постановки задачи приведены слева внизу, а спектры для полученных Монте-Карло образцов и образца псевдоданных – на рисунке справа внизу.

Функция правдоподобия, описывающая статистическую модель, использовавшуюся для расчёта поставленной задачи, подробно приведена на экране, откуда видно, что сигнальную и контрольную области описывают соответствующие им Пуассоновские члены, большая часть источников систематических неопределённостей описана Гауссовскими ограничивающими членами, а источники систематических неопределённостей, связанные с ограниченностью Монте-Карло образцов в контрольных и сигнальных областях введены последними Пуассоновскими членами. Эффект от состояния источников систематических неопределённостей введён с помощью функций влияния, факторизующих вклады процессов, при этом построение функций влияния включает полиномиальную интерполяцию и показательную экстраполяцию. Сечение искомого сигнального процесса факторизовано на интересующий параметр, обозначенный литерой μ , и номинальное теоретическое сечение искомого сигнального процесса.

В результате в частотном формализме получены верхние пределы на число сигнальных событий как функция массы сигнала и исследована чувствительность результата к выбору статистической модели для описания источника систематической неопределённости. Показано, что при изменении статистической модели для одного из значимых источников систематической неопределённости с Гауссовского на равномерный результат меняется, как видно по рисунку на экране. При этом в области малых масс пределы становятся более строгими, а в области больших – пределы (ожидаемые) согласуются лучше с наблюдаемыми, что в первом случае объясняется ограниченностью области определения равномерного члена, а во втором – повышенной гибкостью модели внутри своей области определения.

Аналогичные результаты получены и в Байесовском статистическом формализме,

сопоставлены с результатами, полученными в частотном формализме и позволяют сделать следующие выводы: в рамках каждого отдельно взятого формализма наблюдаемые пределы совпадают с ожидаемыми в границах полосы 1σ ; наблюдаемые пределы, полученные в рамках двух альтернативных формализмов, практически полностью совпадают, что приводит впоследствии к идентичности их физической интерпретации.

Возвращаясь к проверке совместимости модели лептокварков с экспериментальными данными можно резюмировать, что построена статистическая модель, вовлекающая 2 контрольные области, одну сигнальную, реализована концепция простого счётного эксперимента в частотном формализме, использована нормальная функция плотности вероятности для всех источников систематической неопределённости и результат сообщён на уровне значимости 95%. По результатам данной работы получен вывод: ни в одной из сигнальных областей, рассматривавшихся в работе, не наблюдается отклонений от Стандартной Модели; во всех сигнальных областях обнаружен дефицит наблюдаемого числа событий по отношению к ожидаемому исходя из Стандартной Модели. Подобный дефицит называется флуктуацией вниз (о превышении над ожиданием, исходящим из Стандартной Модели, речи не идёт), а величина данного отклонения проиллюстрирована рисунком на экране, откуда видно, что величина рассогласования ожидаемых оценок с наблюдаемыми данными не превышает 2σ . Результат даёт основание переходить к оценке верхних пределов на параметры модели лептокварков.

Пределы на значение сечения парного рождения лептокварков первого поколения, умноженного на β^2 как функция массы лептокварка первого поколения, приведены на рисунках, откуда следует, что при значении параметра $\beta = 1.0$ масса лептокварка первого поколения составляет не ниже 1050 ГэВ, а при $\beta = 0.5$ – не ниже 900 ГэВ.

Таким образом, переходим к основному выводу и заключению данной работы. В результате исследования получено новое ограничение для параметров модели лептокварков, в частности, для значения массы лептокварка первого поколения. Кроме того, исследована устойчивость результата статистической проверки совместимости расширения Стандартной Модели с экспериментальными данными по отношению к выбору между частотным и Байесовским статистическими формализмами, а также чувствительность результата к субъективным аспектам построения статистической модели, в результате чего выработаны методические рекомендации.

На этом у меня всё, спасибо.

Тюрин Н.Е.: Спасибо Андрей Александрович. Какие есть вопросы к диссертанту?

Герштейн С.С.: Простите, не совсем понял, что значит «первого поколения»?

Каменщиков А.А.: Дело в том, что согласно основной модели данной работы лептокварки, подобно кваркам и лептонам, образуют три поколения и реализуют с ними диагональное смешивание.

Герштейн С.С.: А чем отличается второе поколение от первого?

Каменщиков А.А.: Второе от первого отличается тем, что продуктами распада лептокварка второго поколения будут мюон и струя (в экспериментальных условиях), а не электрон и струя.

Тюрин Н.Е.: Ещё есть вопросы? Нет больше вопросов? Спасибо. Теперь переходим к выступлению научного руководителя. Алексей Григорьевич, пожалуйста, Вам слово.

Мягков А.Г.: Андрей Александрович работает у нас с 2013 года после окончания МИФИ. Уже в МИФИ он работал в группе, которая вовлечена в эксперимент ATLAS, и здесь он начал поиск лептокварков (понятно, что конкретная тема поменялась) и прежде всего, его квалификационная работа в CERN связана с адронным калориметром. С самого начала Андрей Александрович был вовлечён в работу по физическому анализу данных эксперимента ATLAS.

Поскольку мы понимаем, что Стандартную Модель надо расширять, а куда её расширять – непонятно, то делаются разные попытки, и одним из направлений является поиск лептокварков. Андреем Александровичем самостоятельно проведено полное исследование по поиску лептокварков первого поколения, которое и вылилось в результат по ограничению на массу, сечение и брэнчинг распада.

Другая часть работы связана со статистическим анализом, который в последние годы крайне важен для экспериментов на LHC потому, что важно, чтобы результаты были одинаково интерпретируемы как в CMS, так и в ATLAS. Поэтому важно было проделать некую работу, в которой будет показано, что использование, в частности, частотного и Байесовского подходов даёт совместимый результат.

Результаты работы Андрея Александровича использовались при поиске лептокварков при 13 ТэВ; работа была оценена в ATLAS и сейчас он возглавляет небольшую группу, которая занимается поиском возбуждённых лептонов, которые по своему конечному состоянию весьма похожи на поиск лептокварка.

Диссертант заслуживает присвоения ему учёной степени кандидата физико-математических наук. Диссертация соответствует всем требованиям.

Тюрин Н.Е.: Спасибо. Юрий Григорьевич, теперь переходим к оглашению письменных отзывов.

Рябов Ю.Г.: Заключение организации, в которой выполнена работа, было принято на заседании научного семинара Отделения экспериментальной физики НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ. В заключении говорится, что диссертационная работа по теме «Поиск лептокварков первого поколения при парном рождении в протон-протонных взаимодействиях в эксперименте ATLAS» выполнена на высоком научном уровне при непосредственном участии соискателя. Диссертант обеспечил определяющий вклад в работу коллаборации ATLAS по поиску лептокварков первого поколения в протон-протонных взаимодействиях при энергии $\sqrt{s} = 8$ ТэВ, опубликованную в виде одноимённой научной статьи. Являясь главным и единственным специалистом по анализу поиска скалярных лептокварков первого

поколения, диссертант выполнял и функции редактора статьи для журнала и внутренней документации коллаборации. В рамках диссертационной работы получены следующие результаты.

- Оптимизированы условия первичного отбора объектов и событий для поиска лепто кварков первого поколения.
- Получены оценки вкладов фоновых и сигнальных процессов при поиске лепто кварков первого поколения.
- Разработана стратегия статистического анализа для поиска лепто кварков первого поколения.
- Получены оценки систематических неопределённостей при поиске лепто кварков первого поколения.
- Разработан метод статистической проверки модели лепто кварков первого поколения.
- Проведено сопоставление результатов проверки новой физической модели в рамках частотного и Байесовского статистических формализмов, продемонстрирован уровень совместимости получаемых результатов и выявлены чувствительные аспекты построения статистической модели, влияющие на конечный результат.

Основные результаты диссертационной работы докладывались на семинарах ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ, на собраниях коллаборации ATLAS и на профильных международных научных конференциях.

Теоретическая и экспериментальная части работы представлены в диссертации в надлежащем объёме. Тематика работы полностью соответствует специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Диссертация Каменщикова Андрея Александровича рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности Заключение принято на заседании семинара Отделения экспериментальной физики.

Ведущая организация, которой является Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», дала положительный отзыв. Диссертационная работа Каменщикова А.А. посвящена поиску новой физики на Большом Адронном Коллайдере (LHC), что относится к приоритетной задаче, решаемой сейчас на LHC. Более конкретно, работа нацелена на поиск скалярных лепто кварков, предсказываемых в одной из моделей Великого Объединения. Предшествующие поиски этих частиц проводились на ускорителях HERA, Tevatron и LEP, которые дали ограничение доступной им области возможных значений параметров модели. При энергии и светимости LHC можно проверить существенно большую область значений параметров, что делает соответствующую задачу, бесспорно, актуальной и научно значимой.

Главным результатом диссертационной работы является полученное новое, более сильное ограничение на массу лепто кварка. Для этого диссертантом была разработана методика отбора полезных событий, оценён фон, проведён статистический анализ данных. Стоит отметить детальное, особенно тщательное выполнение каждого шага. При оценке фонов использовались различные генераторы

со сравнением результатов друг с другом и с экспериментальными данными, аналогично с моделированием отклика детекторов. Учтены всевозможные источники систематических ошибок, чей относительный вклад начинается всего лишь с 0.1%. Исследована устойчивость статистической проверки гипотезы по отношению к выбору частотного либо Байесовского формализма, а также к выбору статистической модели для источника систематической неопределённости.

Серьёзных замечаний по самому содержанию и качеству полученных результатов нет. Можно отметить ряд замечаний, относящихся к их описанию, т.е. стилистического характера, которые возникли при прочтении работы.

- Обычно диссертацию структурируют по главам и выносимым на защиту «положениям» в соответствии с выделенными 2-3-4 основными результатами. В данной работе 6 глав плюс введение, заключение и приложения, 7 выносимых на защиту положений. При этом выносимые на защиту результаты несколько не разрознены, а могли быть удачно сведены фактически к одному: получение нового ограничения на массу лептокварка.
- При описании взаимодействия лептокварков, возможно, было бы проще написать соответствующий лагранжиан, убрав, возможно, много излишнего описания на словах. Заодно это бы прояснило вопрос с константами, связанными с магнитным и электрическим квадрупольными моментами, наводящими на мысль о неточечной природе лептокварка.
- Осложняет восприятие материала присутствие в тексте нетипичной для русского языка терминологии, в том числе неточно отражающей суть понятий. Например: 1) «акцептанс сигнала», процесса, лептокварка, ... - здесь, видимо, подразумевается эффективность регистрации, обусловленная геометрией установки; 2) немедленная адронизация → мгновенная (?) адронизация; 3) потерянная энергия → недостающая энергия; 4) калибровка электрона → калибровка энергетической шкалы для электрона (либо детектора); 5) иногда стоило бы, наверное, заменять на более привычные слова.
- Некоторые предложения перегружены (например, последнее предложение в пункте «актуальность темы исследования»). Иногда стоило бы выбрасывать не в ущерб основному смыслу предложения.

По содержанию работы можно отметить несколько небольших замечаний.

- Выглядит не совсем понятным выбор условий первичного отбора, например, параметров положения вершины $|d|$ и $|z|$ и др. Есть ли возможность вариацией первичных «катов» увеличить еще отношение сигнал к фону?
- Рисунок 3.2 раздела 3.2 отражает особенность спектра фона ложных лептонов в области пика от Z -бозона, которую, возможно, имело бы смысл обсудить в тексте раздела.

Тем не менее, как уже отмечалось, отмеченные недостатки не подвергают сомнению достоверность защищаемых положений, не умаляют высокий уровень самой работы и квалификацию диссертанта. Более того, отмеченные замечания только подтверждают, что автор самостоятельно проделал огромный объем работы, требующей высокой квалификации.

Основные результаты диссертации доложены на профильных международных

конференциях и опубликованы в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК. При этом основные результаты опубликованы от лица коллаборации ATLAS, что гарантирует их соответствие высшему мировому уровню.

Диссертация А.А. Каменщикова «Поиск лептокварков первого поколения при парном рождении в протон-протонных взаимодействиях в эксперименте ATLAS» соответствует требованиям Положения о присуждении учёных степеней, предъявляемых к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Работа заслушана и обсуждена на заседании кафедры «Экспериментальные методы ядерной физики» НИЯУ МИФИ. Далее подпись.

Тюрин Н.Е.: Вам слово для ответа, пожалуйста, Андрей Александрович.

Каменщиков А.А.: С предъявленными замечаниями согласен – есть что улучшить.

Тюрин Н.Е.: Это в начале, но, вроде, есть в конце замечания, которые можно обсудить.

Каменщиков А.А.: Как отмечено в отзыве, замечания носят в основном стилистический характер. Действительно, описание теоретической модели можно улучшить.

Тюрин Н.Е.: Спасибо. Переходим к выступлениям оппонентов. Красников Николай Валерьевич, пожалуйста.

Красников Н.В.: Я прочитаю свой отзыв: думаю, это будет более кратко. Отзыв на диссертационную работу Каменщикова Андрея Александровича.

Актуальность диссертации. Диссертация посвящена обработке данных эксперимента ATLAS для получения ограничений на модели с лептокварками. А именно, получению ограничений на массы и сечения парного рождения лептокварков первого поколения, распадающихся в основном на электроны и кварки первого поколения. Эти результаты важны для поиска новой физики вне рамок Стандартной модели, что является основной целью исследований на Большом адронном коллайдере. Исследования автора позволили получить новые ограничения на массы и сечения парного рождения лептокварков первого поколения.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, пяти приложений, и списка литературы.

В первой главе, носящей обзорный характер, даны краткое введение в физику лептокварков и описаны основные параметры детектора ATLAS. Кроме того, приводятся основные данные и образцы Монте-Карло, используемые в диссертации. Описаны условия первичного отбора событий.

Вторая глава посвящена оценке вкладов фоновых и сигнальных событий. Основными фоновыми событиями при поиске лептокварков являются процесс Дрелла-Яна,

парное рождение топ кварков, а также инструментальный фон, связанный с мисидентификацией электронов.

В третьей главе описывается метод получения ограничений на лептокварки, связанный с выбором наиболее оптимальных обрезаний в фазовом пространстве для исследуемой сигнатуры с двумя лептонами и двумя адронными струями. Для этого, в частности, используются распределения по сумме поперечных импульсов лептонов и адронных струй и инвариантной массе двух лептонов. Используется технология контрольных, проверочных и сигнальных областей. Произведены процедура оптимизации для сигнальной области для повышения значимости ожидаемого сигнального процесса.

Четвертая глава посвящена исследованию систематических неопределённостей, связанных как с экспериментальными, так и с теоретическими неопределённостями сечений и партонных распределений, а также неопределённостями в моделировании основных фоновых процессов.

В пятой главе исследуется проверка совместимости расширений СМ с экспериментальными данными на основе частотного и Байесовского подходов. Описаны основные общие формулы для частотного и Байесовского подходов. Учтены эффекты систематических неопределённостей.

В шестой главе диссертации частотный подход использован для получения ограничений на массы и сечения парного рождения лептокварков первого поколения. Получены ограничения на вероятности распадов лептокварков на электрон и кварк в зависимости от массы лептокварка. Эти результаты являются новыми.

Степени обоснованности научных положений, вводов и рекомендаций. Полученные в диссертации результаты неоднократно докладывались на международных конференциях и подтверждены коллаборацией CMS. Изложенные автором методы извлечения результатов из данных во многих случаях являются стандартными и общеприняты в настоящее время.

Оценка достоверности и новизны результатов работы. Экспериментальные результаты, в получение которых внёс решающий вклад автор являются оригинальными, и были получены на установке ATLAS и подтверждены коллаборацией CMS. Эти результаты во многом подтвердили справедливость Стандартной модели и существенно ограничили возможности существования новых взаимодействий за пределами Стандартной модели. Результаты диссертационной работы опубликованы и докладывались на многих конференциях по физике высоких энергий.

Результаты, приведённые в диссертации, регулярно цитируются в научной литературе, что свидетельствует в пользу её большой практической ценности.

Общая оценка работы. В целом диссертация оставляет положительное впечатление.

Теперь самое главное. К недостаткам диссертации следует отнести:

1. В пятой главе при обсуждении Байесовского подхода не исследуется зависимость от выбора приора, поэтому не удивительно, что численные результаты Байесовского и частотного подходов различаются. Известно, что существует приор, когда результаты Байесовского и частотного подходов совпадают. Было бы интересно исследовать этот вопрос. От себя хочу сказать, что когда мы говорим о Байесовском подходе без конкретного указания, какая функция приора, то

фактически разговор ни о чём потому, что всегда можно подобрать приор и получить практически любой результат – это очень важно.

2. Не исследовано, насколько полученные в диссертации ограничения на массу и сечения лептокварков зависят от систематических неопределённостей. Например, предположим все систематические неопределённости утраиваются. Насколько при этом ухудшатся полученные ограничения?

Заключение. Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы, содержащей ряд важных результатов по поиску лептокварков на Большом адронном коллайдере, которые имеют большую практическую ценность. Результаты диссертации могут быть использованы в исследованиях, проводимых в ИЯИ РАН, ИФВЭ, ИТЭФ и в других организациях. Рассмотренная диссертация является законченной научно-исследовательской работой. Она выполнена лично автором и характеризуется высоким научным уровнем. Работы, вошедшие в диссертацию, являются достоверными и оригинальными. Автореферат диссертации адекватно и достаточно полно отражает её содержание. Тема диссертации соответствует паспорту научной специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Считаю, что диссертационная работа Каменщикова Андрея Александровича отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а её автор заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Тюрин Н.Е.: Спасибо, Николай Валерьевич. Андрей Александрович, пожалуйста.

Каменщиков А.А.: В целом с замечаниями по диссертации согласен. Короткий комментарий по первому замечанию: действительно, некоторые исследования поведения статистической модели было бы интересно провести. Данное замечание рассматриваю как идею для дальнейшего развития работы в перспективе. Что касается описания выбора приора, то в некотором смысле именно это является одной из мыслей, которые были заложены в работу. Это одна из методических рекомендаций, которая следует из исследования статистических процедур, включающая повышение прозрачности и подробности описания таких процедур при опубликовании результатов проверки расширений Стандартной Модели с использованием экспериментальных данных. Поэтому возразить здесь нечего. По поводу второго замечания: действительно, исследование влияние такого значимого повышения эффекта от систематической неопределённости на результат, возможно, имело бы смысл добавить в работу, но здесь вопрос сводится к выбору приоритетов в условиях ограниченности времени работы. Проводились те исследования, которые считались наиболее приоритетными. Дальнейшие разработки в направлениях, указанных оппонентом, вполне возможно и даже интересно провести.

Тюрин Н.Е.: Николай Валерьевич, Вы удовлетворены ответом?

Красников Н.В.: Удовлетворён.

Тюрин Н.Е.: Переходим к выступлению Сергея Владимировича Шматова.

Шматов С.В.: Не буду зачитывать отзыв, а скажу своими словами (зачитаю только замечания и формальное заключение). Прежде всего, хочу сказать, что отзыв у меня положительный. Во первых, о самой постановке задачи. Всем известно, что до эпохи открытия бозона Хиггса целью коллабораций на LHC, кроме поиска бозона Хиггса, был поиск различных сигналов физики за рамками Стандартной Модели. Причём трагедия заключалась в том, что искать приходилась везде. Во многом экспериментаторы утешали себя тем, что откроется бозон Хиггса, что повезёт, никто не верил, что он будет практически как в Стандартной Модели, и тогда это задаст дальнейший вектор поиска, а дальше будем уже более-менее обсуждать, где искать физику за рамками Стандартной Модели. Можно считать, что нам не повезло: удручающее согласие со Стандартной Моделью, которое демонстрируют нам данные по бозону Хиггса, говорит о том, что дальше нужно будет продолжать искать физику за рамками Стандартной Модели опять везде. Здесь возникает вопрос: где мы должны искать более-менее активно, ведь сигналов очень много и экспериментально это будет проблемой? Поэтому с точки зрения как теории, так и эксперимента хотелось бы останавливаться на тех классах моделей, которые дают схожий экспериментальный сигнал. Например, выбор модели лептокварка и постановка задачи по поиску лептокварка – это яркий пример соответствия таким требованиям, потому что, во-первых, сами лептокварки, как уже было сказано, предсказаны различными моделями: модель Великого Объединения, калибровочные модели, составные модели, то есть, везде появляется новая калибровочная группа, которая позволяет объединить лептоны и кварки и описать их с единой позиции. Таким образом, поиск подобных сигналов даёт нам возможность прощупать существование новых симметрий в природе. С другой стороны, поиск осуществляется по интересному каналу: распад на лептон и кварк. Стандартный поиск, как известно, очень больших классов моделей идёт на анализе таких составляющих, как лептон-лептон, кварк-кварк, фотон-фотон. Подобный подход позволяет нам проанализировать совершенно другой вклад уже не моделей, а целого пласта экспериментальных сигналов. И эта диссертация представляет блестящий пример того, как подобные задачи могли бы решаться. Было продемонстрировано, как данный поиск выполняется от самой постановки задачи через моделирование сигнала, фона, анализ условий отбора, проведение всевозможных коррекций, реконструкции объектов (в данном случае электронов и струй) и до самого критического вывода. Эти выводы также находятся на высоком научном уровне. Во-первых, была закрыта область масс лептокварков, до этого времени недоступная для других экспериментов. С другой стороны, явно не прозвучало, но, тем не менее, можно сделать такой вывод, что сами сечения на рождение лептона и струи (пары) получены в максимально безмодельном подходе, то есть, любой теоретик, который хочет посмотреть, как ограничивается этими данными любая другая модель, может наложить на эти результаты свои предсказания и получить ответ. Это с точки зрения теории. С точки зрения методики: во-первых, были разработаны различные условия отбора для анализа объектов подобного класса. Во-вторых, были проанализированы,

как уже отмечалось, различные подходы к статистической интерпретации полученных результатов, Байесовский и частотный, что чрезвычайно, также, очень важно. Наконец, была разработана сама стратегия анализа, которая позволяет производить подобного рода исследования. Поэтому результаты, безусловно, находятся на очень высоком научном уровне.

Что касается недостатков, считаю:

- Из диссертации не совсем ясно, почему для общего анализа выбрана именно модель Бахмюллера-Рюкла-Уиллера? В чём состоит отличие этой модели от других моделей лептокварков? А также, чем обусловлен выбор значения константы связи λ ? Какие существуют ограничения на эту величину с точки зрения теории? Значение выбрано так, чтобы ширина была меньше разрешения детектора, как повлияет на итоговый результат анализа выбор ширины значительно больше разрешения детектора (если это не запрещено теорией)?
- Недостаточно обоснована новизна двух методов статистической проверки моделей физики за рамками Стандартной Модели в эксперименте. Сравнение в рамках частотного и байесовского подхода предпринимались и раньше. Также в заключении Главы 5 делается вывод, что результаты, полученные в рамках частотного и байесовского статистических формализмов, “сопоставлены и продемонстрировали совместимость их статистической и физической интерпретации.” Однако далее говорится, что “выбор между двумя, частотным и Байесовским, подходами предлагается делать после исследования производительности статистических процедур в каждом индивидуальном анализе”. Если разница использования методов заключается только в затратах компьютерного времени, то в диссертации можно было бы привести характерные времена проведения анализа для двух разобранных методов на конкретном, описанном в диссертации, примере.
- На странице 68 было сказано, что выбор переменной S_T в качестве дискриминирующей обусловлен её “инклюзивностью”, однако это обусловлено её чувствительностью к топологии событий (степени симметричности).
- На рис.6.3 наблюдается систематическое превышение ожидаемого предела на сечение рождения лептокварков над наблюдаемым во всем диапазоне исследуемых масс лептокварков. Это же упоминается и в тексте диссертации. Хотя разница небольшая, не влияющая на результаты и выводы диссертации (находится в пределах 1-2 среднеквадратичных отклонений), подобное поведение ожидаемых и наблюдаемых пределов наводит на мысль о существовании некоторой неучтённой в анализе систематики.
- Несмотря на большой объем, в работе опущен ряд деталей, наличие которых помогло бы читателю разобраться в сути обсуждаемых проблем. Например:
 - на странице 12 при обсуждении механизмов рождения лептокварков желательно было бы привести вклады разных механизмов в полное сечения рождения;
 - при описании физико-технических характеристик установки ATLAS стоило привести эффективности и точности реконструкции хотя бы для физических объектов, используемых в анализе;

- стоило бы упомянуть, матричный элемент какого порядка теории возмущений использован в генераторе, применяемом для моделирования сигнала;
- на странице 23 упоминаются условия на форму кластера в калориметре и другие критерии отбора совместимости кластера и трека, качества объектов в калориметре. Можно было бы описать эти условия или привести ссылку на работы;
- на странице 35 не сказано, как были получены весовые факторы для коррекции наборов данных Монте-Карло процесса парного рождения t -кварка.

Работа также не лишена некоторых формальных недостатков, среди которых можно указать следующие:

- В диссертации введено и используется большое число акронимов, которые, как и используемые переменные, в тексте определяются единожды, что, с учетом объема работы, затрудняет понимание текста.
- В тексте часто используется профессиональный жаргон и присутствуют неточности перевода англоязычных терминов, чего следовало бы избегать, особенно с учетом того, что в русском языке имеются устоявшиеся профессиональные термины.
- В тексте указано, что вероятность ошибочной идентификации электрона составляет $\sim 10\%$, тогда как из рис.2.38-2.40 следует, что она варьируется от 5 до 23% в зависимости от поперечной энергии электрона и его псевдо-быстроты.

Тем не менее, указанные недостатки не влияют на общую высокую оценку результатов, полученных Каменщиковым А.А. в его диссертации. Апробация работы состоялась на ряде представительных международных конференций и семинаров, основные результаты диссертации опубликованы в научных журналах, входящих в список ВАК. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Таким образом, диссертационная работа Каменщикова Андрея Александровича представляет собой фундаментальное научное исследование, выполненное на высоком уровне экспериментальной физики. Её результаты являются оригинальными, содержат новые разработки стратегии статистического анализа для поиска новой физики за пределами Стандартной Модели и новые ограничения на параметры моделей лептокварков.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения научной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Тюрин Н.Е.: Спасибо, Сергей Владимирович. Пожалуйста, Андрей Александрович.

Каменщиков А.А.: В целом с замечаниями оппонента согласен. Аргументировать могу следующим образом: значительная часть замечаний сосредоточена на том, чтобы повысить подробность описания проделанных шагов диссертации – действительно, при написании таких документов, как диссертация или научная статья, бывает непросто поставить себя на место читателя и предположить, какие вопросы при прочтении текста ему окажутся непонятными, поскольку вы работаете

над материалом много лет и знаете, как всё устроено изнутри. Действительно, некоторые вопросы следовало бы описать в диссертации подробнее, понятнее и прозрачнее – с группой таких замечаний согласен. Теперь про замечание относительно статистической процедуры, исследования статистической методики проверки совместимости расширения Стандартной Модели с экспериментальными данными: действительно, озвученное оппонентом замечание о том, что можно было бы добавить соответствующее измерение, квантификацию вычислительных ресурсов, необходимых для проведения анализа в том или ином формализме – это направление для исследования, которое было бы интересно сделать. Воспринимаю данное замечание как идею на будущее. На этом, наверно, у меня всё.

Тюрин Н.Е.: Сергей Владимирович, будем продолжать обсуждение?

Шматов С.В.: Вопросов нет.

Тюрин Н.Е.: Спасибо. Теперь переходим к общей дискуссии. Кто хотел бы выступить?

Герштейн С.С.: Я хотел бы выступить.

Тюрин Н.Е.: Пожалуйста, Семён Соломонович.

Герштейн С.С.: Я считаю, что постановка этого поискового исследования в высшей степени обоснована. Существует, известно, кварк-лептонная аналогия: система кварков и система лептонов повторяют друг друга; даже предполагалось, что лептоны представляют четвёртый цвет кварков. Поэтому связь лептонов и кварков есть один из фундаментальных вопросов, который может развить нас в этой области. Поэтому данное исследование всячески поддерживаю. Помню, когда мы заседали в другом здании и было предложение искать третий лептон, то реакция была как на слона с шестью рогами: теория же не предсказывает. Хотя всё, что не предсказывает теория, нужно было посмотреть. Так что в смысле постановки, я считаю, очень хорошо, очень правильно, что такие работы ведутся. Но вопрос, который у меня возникает: существование лептокварка, обмена лептокварком изменяли бы законы слабого взаимодействия (β -распад), и в V и A взаимодействиях должно бы было проявляться, например, тензорное взаимодействие. Существующие опыты дают ограничение на примесь этого тензорного взаимодействия, то есть, какой порядок можно ожидать? Если переносчики слабого взаимодействия порядка 100 ГэВ и если точность определения примеси несколько процентов, то при одинаковых константах понятно, что лептокварк должен иметь довольно большую величину, если константа не является аномально малой. Поэтому, на мой взгляд, надо эти хорошие результаты исследования сравнить с данными других измерений. А так – работу полностью поддерживаю.

Тюрин Н.Е.: Александр Михайлович, Вы что-то хотите сказать?

Зайцев А.М.: Создаётся такое впечатление, что значительная часть работ (не все работы) по ограничению на скаляры и на тензоры неправильная, ошибочная, потому что когда они фитируют Далитц-плот, они не вставляют форм-факторы скалярной и векторной части, которые катастрофически меняют поведение распределений по Далитц-плоту. Поэтому эти ограничения значительно жёстче, чем они есть на самом деле. Поэтому так вот прямо эти 2% взять и употребить, может быть, было бы опрометчиво: там есть ещё что по физике потоптать (скорее всего там не 2%, а 5%).

Герштейн С.С.: Правильно – значит, исключаются определённые вариации.

Зайцев А.М.: Я бы хотел сказать немного о другом – об Андрее Александровиче. Он к нам пришёл из МИФИ и, на удивление, пришёл уже достаточно подготовленным квалифицированным человеком. Помню, когда он был студентом пятого, по-моему, курса, я получил удовольствие от его доклада по многозаряженным ионизирующим объектам на совещании по ATLAS в МИФИ. В аспирантуре он очень хорошо учился, всегда всё вовремя сдавал. Талантливые люди бывают не очень дисциплинированными, а тут такое редкое сочетание: человек соображает, с одной стороны, неплохо, или даже хорошо, и дисциплинированный, организованный. Такое редко встречается – счастливое сочетание хороших качеств проявилось в Андрее Александровиче. Поэтому все экзамены в аспирантуре были сданы в срок, на хорошие отметки.

Андрей проявил большую твёрдость в выборе научной тематики. Мы с Алексеем Григорьевичем думали (и с Андреем), на чём сконцентрироваться, потому что спектр задач, действительно, очень широк, и именно такие аспекты оказались решающими в выборе направления. Более того, я пытался отговорить его от того, чтобы заниматься исследованием статистических аспектов поиска таких вот сигналов, поскольку в этой области много народу работает, много чего сделано, и физику внедриться в эту математическую область совсем непросто. Андрей меня не послушал – молодец: настоял на своём выборе, выпустил очень достойную работу, которую мы можем теперь использовать и быть умными в этой области. Таким образом, в лице Андрея Александровича мы получили высокопрофессионального специалиста. Должен сказать, что и в коллаборации ATLAS он тоже не остался незамеченным. В работе несколько авторов – человек 5, но Андрей среди них лидер, он докладывался на конференциях, писал финальные тексты и по праву представляет этот материал на защиту. И если дальше он будет продолжать стараться, то не сомневаюсь, что он что-нибудь откроет.

Тюрин Н.Е.: Спасибо. Есть ещё желающие? Нет вопросов? Тогда, пожалуйста, Андрей Александрович, Вам заключительное слово.

Каменщиков А.А.: Данная работа не могла состояться без коллектива ИФВЭ, создавшего необходимые для выполнения диссертационной работы и подготовки диссертации к защите условия. Определяющее значение имеет научный руководитель. Выполнение и публикация работы по поиску лептокварков при парном рождении в протон-протонных взаимодействиях в эксперименте ATLAS является

следствием длительных трудоёмких усилий многочисленных членов международной коллаборации. Опыт, исследования и разработки коллектива ATLAS являют собой неотъемлемую часть результата работы и лежат в его основе. Данная работа стала возможной благодаря многолетним усилиям коллектива ЛНС, обеспечившего эксперимент ATLAS статистикой протон-протонных взаимодействий с рекордным значением энергии в системе центра масс 8 ТэВ и интегральной светимости 20.3 обратных фемтобарна. Большое спасибо.

Тюрин Н.Е.: Спасибо. Теперь мы выбираем счётную комиссию. Есть предложение: Образцов Владимир Федорович (председатель), Качанов Василий Александрович, Мочалов Василий Вадимович.

Перерыв на голосование.

Тюрин Н.Е.: Давайте заслушаем результаты нашего голосования.

Председатель счётной комиссии Образцов В.Ф.: Роздано бюллетеней - 19, на присутствующих 19 человек, осталось не розданных – 3, в урне бюллетеней – 19, «за» - 19, «против» - нет, недействительных – нет.

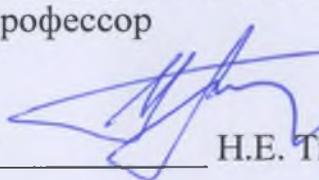
Тюрин Н.Е.: Ну что, утвердим?

Диссертационный совет утверждает результаты голосования.

Тюрин Н.Е.: Теперь мы должны с вами утвердить проект заключения о научном значении диссертации Андрея Александровича. Члены совета ознакомились с проектом заключения? Есть ли какие-либо замечания? Если замечаний нет, то проведём открытое голосование по проекту заключения о научном значении. Прошу проголосовать. Единогласно. Спасибо. Андрей Александрович, поздравляю вас с успешной защитой и желаю вам новых достижений!

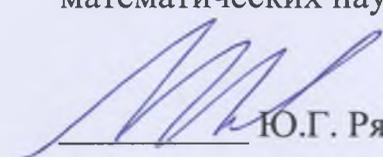
Заседание Диссертационного совета завершено.

Председатель
Диссертационного совета,
доктор физико-математических наук,
профессор


Н.Е. Тюрин



Учёный секретарь
Диссертационного совета,
кандидат физико-
математических наук,


Ю.Г. Рябов