

УТВЕРЖДАЮ

Директор международной
межправительственной организации

Объединенный институт ядерных исследований,
141980, Россия, Московская область,
г. Дубна, ул. Жолио-Кюри д.6,
+74962165059, post@jinr.ru

<http://www.jinr.ru>,
академик РАН

Г.В. Трубников

«9» *сентября* 2021 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Рыжова Андрея Валерьевича
«Исследование парного рождения векторных бозонов с последующим распадом на
заряженные лептоны и адроны в эксперименте ATLAS», представленную на соискание
учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика
высоких энергий

Диссертационная работа А.В. Рыжова посвящена актуальной проблеме обнаружения физики за рамками Стандартной модели (СМ) — поиску дибозонных резонансов, предсказываемых в рамках ряда теоретических моделей новой физики, а также поиску нерезонансного проявления новой физики через изучение процесса рассеяния векторных бозонов, предсказанного в электрослабом секторе СМ.

Работа велась с использованием экспериментальных данных протон-протонных соударений, набранных в эксперименте ATLAS на Большом адронном коллайдере (БАК). Отдельная часть работы автора посвящена решению важной проблемы высоких выходов ложных мюонов в передних областях детектора ATLAS при их регистрации мюонным триггером. Количество и качество событий, отобранных триггерной системой установки ATLAS, прямым образом влияет на обработку экспериментальных данных, поэтому данная часть работы также является важной и актуальной.

Структура и объём диссертации

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения и четырёх приложений. Кроме того, текст диссертации включает в себя список сокращений и условных обозначений, списки рисунков и таблиц, список литературы. Полный объём диссертации составляет 180 страниц, включая 78 рисунков и 21 таблицу. Список литературы содержит 155 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, поставлены ее цели и задачи, кратко описан метод исследования. Показаны научная новизна, практическая и теоретическая значимость результатов работы, приведены сведения об их апробации. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе автор выполняет краткий обзор Стандартной модели и теоретических моделей новой физики, которые используются в качестве сигнальных при поиске дибозонных резонансов, а также описывает процесс рассеяния векторных бозонов в рамках СМ.

Вторая глава полностью посвящена описанию детектора ATLAS на БАК. Рассматриваются ключевые подсистемы детектора и приводятся их основные характеристики. Излагается работа системы триггера и сбора данных установки ATLAS. Описывается модель хранения и обработки больших массивов экспериментальных данных.

В третьей главе автор описывает новый мюонный триггер адронного калориметра детектора ATLAS. Приводится мотивация проекта, представляется описание новой электроники адронного калориметра. Подробно излагается архитектура микропрограммного обеспечения электронной платы триггера и двухуровневого ПО, разработанного для обеспечения управления и интеграции данного триггера со всеми подсистемами установки ATLAS.

В четвёртой главе автор обсуждает принятые в эксперименте ATLAS процедуры регистрации физических объектов. Приводится описание алгоритмов реконструкции и идентификации электронов и мюонов, а также рассматривается алгоритм реконструкции адронных струй. Подробно излагается первичный отбор объектов.

Пятая глава посвящена методам обработки экспериментальных данных: моделированию событий методом Монте-Карло, методике измерения сечений, статистическому анализу и техникам многомерного анализа данных.

В шестой главе представлен физический анализ данных по поиску тяжёлых дибозонных резонансов. Автор описывает основные этапы анализа данных: моделирование событий, отбор и категоризация событий, оценка систематических погрешностей. В данной главе выполняется проверка статистической совместимости экспериментальных данных с предсказаниями СМ, устанавливаются ограничения на сечения рождения и массы дибозонных резонансов.

В седьмой главе излагается физический анализ данных по поиску ассоциированного электрослабого рождения пары векторных бозонов ZZ , ZW и WW с массивной двухструйной системой jj , впервые выполняется измерение сечения данного процесса в полулептонных конечных состояниях. Особое внимание автор уделяет выделению сигнала с помощью техники многомерного анализа данных Boosted Decision Trees (BDT). Приводятся критерии отбора событий, выполняется оценка систематических погрешностей моделирования сигнального процесса.

В заключении сформулированы основные физические результаты диссертационной работы: впервые проведено измерение сечения электрослабого рождения $ZZjj$, $ZWjj$ и $WWjj$ в полулептонных конечных состояниях, которое хорошо согласуется с предсказанием Стандартной модели; и установлены верхние пределы на сечения рождения тяжёлых резонансов, распадающихся по дибозонному каналу с одним Z -бозоном, реконструируемым в дилептонной моде, которые предсказываются в рамках двухдублетной хиггсовской модели, модели тяжёлого векторного триплета и расширенной модели Рэндалл-Сандрума. Кроме того,

для последних двух моделей установлены нижние ограничения на массы соответствующих резонансов (тяжёлого векторного бозона W' и гравитона Калуза-Клейна G_{KK} соответственно) для определённых характерных значений параметров этих моделей. Результат получен с использованием данных, набранных в 2015–2018 гг. при энергии pp -соударений 13 ТэВ.

Установленные экспериментальные ограничения на рассматриваемые процессы являются существенно более строгими по сравнению с полученными ранее в экспериментах ATLAS и CMS с использованием данных сеанса БАК Run-1 (при энергии 8 ТэВ). Таким образом, данные результаты диссертационной работы, являясь практической проверкой моделей физики за пределами SM, способны существенно ограничить спектр допустимых параметров этих моделей и могут служить указаниями при дальнейшей разработке теорий таких классов.

В рамках другой части работы за счёт введения в эксплуатацию нового мюонного триггера адронного калориметра удалось существенно снизить потоки ложных мюонов, регистрируемых триггером первого уровня в области псевдобыстрот $1.0 < |\eta| < 1.3$ при незначительных потерях эффективности для истинных мюонов. Достигнутый результат важен для стабильной и эффективной работы триггера установки ATLAS в условиях высокой светимости и множественности соударений и в конечном счёте позволяет повысить качество собираемых экспериментом данных.

Экспериментальные результаты получены в рамках работы в составе коллаборации ATLAS с использованием стандартного ПО эксперимента. Используемые данные проходили строгий контроль качества согласно принятым в ATLAS процедурам. Физические результаты по установлению ограничений на характеристики моделей новой физики согласуются с аналогичными результатами эксперимента CMS. Всё это свидетельствует об их высокой достоверности.

Апробация работы состоялась на международных конференциях по физике высоких энергий, основные результаты диссертационной работы опубликованы в журналах, удовлетворяющим требованиям ВАК.

Изложение работы последовательно, достаточно подробно и вместе с тем лишено избыточности. Описание собственной работы автора предварено качественным литературным обзором по теме диссертации. Текст написан хорошим русским языком, использование неизбежных в работах по данной тематике англоязычных жаргонизмов умерено и гармонично, всем используемым нетривиальным понятиям и аббревиатурам даются чёткие определения.

Можно отметить следующие замечания к работе:

- В тексте используется профессиональный жаргон и присутствуют неточности перевода англоязычных терминов: «толстые струи», «тонкие струи», «фидуциарное сечение», «фидуциарный фазовый объём».
- В параграфе 3.4 при описании программного обеспечения нового триггера, разработанного автором, полезно было бы привести наглядную блок-схему.
- В параграфе 4.6 упомянут алгоритм мечения вершины струи (JVT), но не пояснено, на чём основана логика его работы, хотя он применяется для отбора струй в ходе анализа данных.

Данные замечания не являются критическими, относятся исключительно к представлению, но не к содержанию и результатам работы, и не умаляют общей высокой её оценки.

Характеризуя диссертационную работу в целом, можно сказать, что в ней проведено оригинальное исследование в актуальной области современной физики высоких энергий. Полученные результаты являются новыми, достоверными и обладают существенной теоретической и практической значимостью.

Диссертационная работа Рыжова Андрея Валерьевича на тему «Исследование парного рождения векторных бозонов с последующим распадом на заряженные лептоны и адроны в эксперименте ATLAS» выполнена в соответствии с требованиями, предъявляемыми правительством Российской Федерации в постановлении от 24 сентября 2013 г. № 842 о порядке присуждения учёных степеней. Автореферат отражает содержание диссертации. Автор заслуживает присуждение ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Отзыв составлен заместителем директора Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ им. В.П. Джелепова по научной работе, доктором физико-математических наук Глаголевым Владимиром Викторовичем. Отзыв обсужден и утвержден на семинаре Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Заместитель директора ЛЯП ОИЯИ
по научной работе,
доктор физико-математических наук

Директор ЛЯП ОИЯИ,
доктор физико-математических наук



В.В. Глаголев

В.А. Бедняков