

На правах рукописи

СКОВПЕНЬ Кирилл Юрьевич

**ПОИСК W_R -БОЗОНА И ТЯЖЕЛОГО НЕЙТРИНО
НА ДЕТЕКТОРЕ ATLAS**

**01.04.16 – физика атомного ядра
и элементарных частиц**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук**

НОВОСИБИРСК – 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:

ТИХОНОВ
Юрий Анатольевич – доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск.

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

ГИНЗБУРГ
Илья Файвильевич – доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт математики им. С.Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, главный научный сотрудник.

СОЛОДОВ
Евгений Петрович – доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, главный научный сотрудник.

ВЕДУЩАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ – ГНЦ РФ «Институт физики высоких энергий», г. Протвино, Московская обл.

Защита диссертации состоится « _____ » _____ 2012 г. в « _____ » часов на заседании диссертационного совета Д 003.016.02 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук.

Адрес: 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 11.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук.

Автореферат разослан « _____ » _____ 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор физ.-мат. наук, профессор

В.С. Фадин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Стандартная модель является успешной теорией для объяснения огромного количества экспериментальных наблюдений, однако, существует ряд вопросов, на которые нельзя получить ответ в ее рамках. Одним из таких вопросов является объяснение иерархии масс элементарных частиц. В Стандартной модели массы частиц являются свободными параметрами, а массы нейтрино равны нулю. Ненулевую массу нейтрино можно получить введением правых стерильных нейтрино или расширением калибровочной группы, например, в рамках модели лево-правой симметрии “Left-Right Symmetric Model” (LRSM). Модель LRSM позволяет ввести ненулевую массу нейтрино и предсказывает существование новых частиц: право-поляризованных тяжелых нейтрино и заряженного калибровочного векторного бозона W_R , а также нейтрального калибровочного векторного бозона Z' .

Для объяснения малости массы нейтрино был предложен так называемый механизм See-Saw, который может быть реализован в рамках модели LRSM.

Одним из наиболее перспективных каналов поиска этих новых частиц является рождение W_R -бозона и его распад на тяжелое нейтрино и лептон с последующим распадом тяжелого нейтрино на лептон и два кварка. Отличительной особенностью данного процесса является наличие резонансов рождения W_R -бозона и тяжелого нейтрино, которые соответствуют относительно большим массам, находящимся в области малого фона от процессов Стандартной модели. Эксперимент на детекторе ATLAS позволяет провести поиск этих частиц в области энергии, не доступной ранее. Результаты важны для проверки теории электрослабых взаимодействий.

Цель диссертационной работы

Цель работы состояла в проведении экспериментов и в разработке методики выделения $llj(j)$ событий при рекордно высокой суммарной энергии протонных пучков 7 ТэВ и поиске W_R -бозона и тяжелого нейтрино в процессе $pp \rightarrow W_R \rightarrow \ell N \rightarrow llj(j)$.

Личный вклад автора

Автор принимал активное участие в подготовке детектора ATLAS для работы на LHC и в проведении экспериментов. Во время подготовительных работ на детекторе ATLAS автором был написан комплекс программ для проверки стабильности работы модулей электроники жидкоаргонового калориметра. Автором совместно с другими участниками коллаборации предложены основные методы оценки фона и условия отбора для выделения событий $pp \rightarrow W_R \rightarrow \ell N \rightarrow \ell \ell j(j)$. Приведенные результаты получены автором лично или при его непосредственном участии.

Научная новизна

Процесс $pp \rightarrow W_R \rightarrow \ell N \rightarrow \ell \ell j(j)$ ранее не изучался. Поиск W_R -бозона и тяжелого нейтрино проводился впервые при рекордно высокой энергии протонных пучков.

Научная и практическая ценность

Полученные пределы на массы W_R -бозона и тяжелого нейтрино являются лучшими в настоящее время и могут быть использованы для проверки существующих и построения новых моделей электрослабого взаимодействия. Разработанная методика поиска W_R -бозона и тяжелого нейтрино в конечном состоянии $\ell \ell j(j)$ используется в настоящее время для поиска этих частиц с большей статистикой и будет использоваться на экспериментах с большей энергией протонных пучков на LHC с детектором ATLAS.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Изучены условия отбора для поиска W_R -бозона и тяжелого нейтрино в конечном состоянии $\ell \ell j(j)$.
2. Изучены фоновые процессы для конечного состояния $\ell \ell j(j)$ в области инвариантных масс до 2.9 ТэВ при рекордной суммарной энергии сталкивающихся пучков 7 ТэВ.
3. Получены пределы на массы W_R -бозона и тяжелого нейтрино в предположении дираковской или майорановской массы тяжелого нейтрино.
4. Впервые при анализе и интерпретации данных в рамках модели LRSM, получены результаты для пределов на массы W_R -бозона

и тяжелого нейтрино при учете возможного смешивания тяжелых нейтрино первого и второго поколений.

5. Разработано программное обеспечение для проверки стабильности работы модулей электроники жидко-аргонового калориметра детектора ATLAS.

Апробация работы

Основные результаты, вошедшие в диссертацию, докладывались на международных научных конференциях по физике высоких энергий: ASPEN-12 (2012, Aspen, USA), LaThuile (2012, Aosta Valley, Italy), Moriond EW-2012 (2012, Aosta Valley, Italy), DIS2012 (2012, Bonn, Germany). Результаты работы опубликованы в журналах “Eur.Phys.J.C” (Vol. 72, P. 2056, 2012), “JHEP” (Vol. 10, P. 107, 2011) и “JINST” (Vol. 5, P. P09003, 2010).

Структура и объём диссертации

Диссертация состоит из введения, девяти глав и заключения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении описана цель работы, обоснована актуальность поиска W_R -бозона и тяжелого нейтрино.

В первой главе кратко представлена проблема с введением ненулевой массы нейтрино в Стандартную модель и возможные пути ее решения. Одним из минимальных расширений Стандартной модели является модель LRSM. Модель LRSM включает в себя новые частицы: W_R -бозон и тяжелое нейтрино. Возможным механизмом, объясняющим малую массу легкого нейтрино является механизм See-Saw, в котором предполагается, что нейтрино является майорановской частицей. Представлено краткое описание смешивания нейтрино, наблюдаемое для легких нейтрино, которое также возможно в случае тяжелого нейтрино.

Во второй главе приведены существующие экспериментальные результаты по поиску W_R -бозона и тяжелого нейтрино.

В третьей главе представлены основные параметры и структура ускорительного комплекса LHC, а также кратко описаны структура и основные задачи трех других детекторов CMS, ALICE и LHCb, работающих на LHC.

В четвёртой главе представлено описание детектора ATLAS. Детектор состоит из трековой системы, электромагнитного и адронного калориметров, а также мюонной системы. Кратко описана магнитная система и ее основные характеристики.

Задачей трекового детектора является реконструкция треков и вершин взаимодействия в событии. Детектор покрывает область $|\eta| < 2.5$ и геометрически состоит из трех основных частей: центральной части и двух торцевых. Трековый детектор включает в себя пиксельный, полупроводниковый трековые детекторы и детектор переходного излучения. Приведены их структура и основные характеристики.

Электромагнитный калориметр является детектором на основе свинца и жидкого аргона с геометрией “аккордеон” и состоит из баррельной ($|\eta| < 1.475$) и двух торцевых ($1.375 < |\eta| < 3.2$) частей. Приведены их конструкция и основные параметры.

Адронный калориметр расположен в области $|\eta| < 5$, состоит из нескольких частей, в которых используется различная методика для измерения энерговыделения частиц. Описана конструкция данной системы и ее основные параметры.

Кратко описана структура мюонной системы, состоящая из баррельной и торцевых частей, в которых реализовано четыре технологии идентификации мюонов.

Приведено описание триггера и системы сбора данных. Триггер представляет собой трехуровневую систему для первичного отбора событий. Представлены основные элементы триггера, а также принцип организации их работы.

Кратко описана система контроля детектора, основные элементы организации ее работы. Одной из важных задач проверки стабильности работы систем детектора является мониторинг температуры блоков электроники. Отслеживание температуры Front-End Board (FEB) электроники калориметра было реализовано автором в виде специального пакета программ. FEB представляет собой модуль электроники для усиления, формирования и оцифровки сигналов с калориметра. Данная программа производит мониторинг потока данных от системы контроля детектора для каждого FEB и отслеживает изменения температуры датчиков, расположенных на блоке. Если температура превышает допустимые нормы, информация о данном канале электроники записывается в базу данных. Если замечено сильное превышение ограничений на изменение темпера-

туры, дополнительно информируется эксперт по системе для последующего устранения неполадки.

Представлены результаты по набору данных в 2011 году. Описаны основные этапы реконструкции событий.

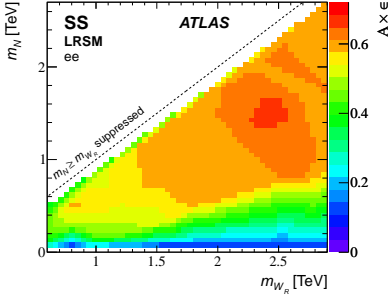
В пятой главе описаны этапы моделирования и реконструкции событий в детекторе ATLAS. Моделирование событий в детекторе осуществляется в виде следующих этапов: генерация первичных частиц, генерация процессов фрагментации и адронизации на партонном уровне, моделирование взаимодействий частиц в детекторе. Важным параметром моделирования является функция распределения партонов в протоне, которая определяет сечения процессов в pp столкновениях.

В данной главе кратко описано моделирование событий следующих процессов: процессы Дрелла-Яна, одиночное и парное рождение векторных бозонов, процессы с рождением t -кварка.

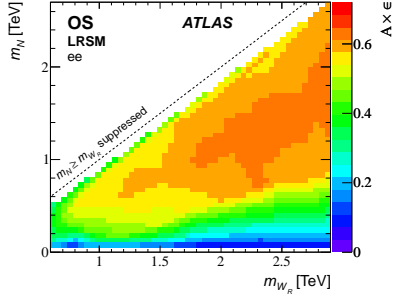
Шестая глава посвящена описанию условий отбора $\ell\ell j(j)$ событий. Базовыми условиями являются идентификация электронов, мюонов и струй в детекторе, а также основные условия для отбора событий. В данной главе также представлены различные кинематические распределения для отобранных событий.

Для дополнительного подавления фоновых событий изучались условия отбора на инвариантную массу двух лептонов, $m_{\ell\ell}$, скалярную сумму поперечных импульсов отобранных лептонов и струй, S_T , и инвариантную массу двух лептонов и струй в событии, $m_{\ell\ell j(j)}$. Приведены распределения для данных параметров, а также результат оптимизации условия отбора. Полная эффективность отбора событий процесса $pp \rightarrow W_R \rightarrow \ell N \rightarrow \ell\ell j(j)$ представлена на рис. 1.

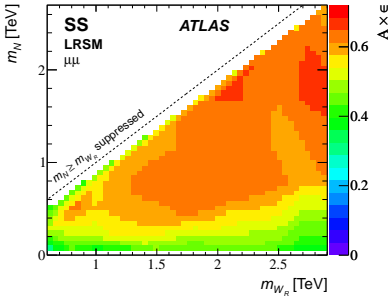
Оценки систематических ошибок в реконструкции лептонов и струй также описаны в данной главе. В таблицах 1 и 2 представлены результаты по определению систематической неопределенности для событий фона после наложения базовых условий отбора. Обозначения в таблицах: JES — энергия струи, JER — энергетическое разрешение струи, E_e — энергия электрона, res_e — энергетическое разрешение электрона, μ_{MS} и μ_{ID} — импульсное разрешение для трека мюона, реконструированного в мюонной системе и трековом детекторе, соответственно, σ — сечение процесса. Обозначения “ \uparrow ” и “ \downarrow ” соответствуют варьированию изучаемой величины на величину ошибки.



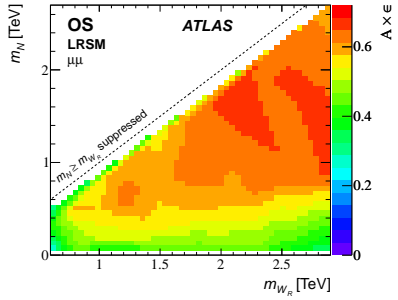
(a) $e^\pm e^\pm$



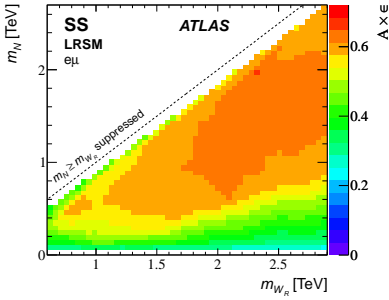
(б) $e^\pm e^\mp$



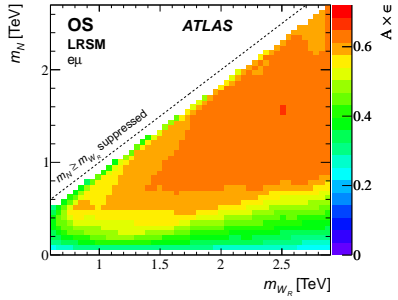
(в) $\mu^\pm \mu^\pm$



(г) $\mu^\pm \mu^\mp$



(д) $e^\pm \mu^\pm$



(е) $e^\pm \mu^\mp$

Рис. 1. Полная эффективность отбора для событий процесса $pp \rightarrow W_R \rightarrow \ell N \rightarrow \ell \ell(j)$ для ee (а,б), $\mu\mu$ (в,г) и $e\mu$ (д,е) каналов.

(a) $e^\pm e^\mp$

	Число событий	JES $_{\uparrow}$	JES $_{\downarrow}$	JER	$E_{e,\uparrow}$	$E_{e,\downarrow}$	res $_e$	$\mu_{MS,\uparrow}$	$\mu_{MS,\downarrow}$	$\mu_{ID,\uparrow}$	$\mu_{ID,\downarrow}$	σ	Сист.	Стат.
Z+jets	118446.60	9.01	7.14	3.48	0.62	0.54	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.04	0.23
$t\bar{t}$	1265.31	0.08	0.15	0.03	0.30	0.27	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	15.10	15.10	0.64
Diboson	1952.89	3.95	5.37	0.27	0.54	0.90	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	1.82	7.00	2.00
Single Top	113.52	0.69	0.83	0.14	0.24	0.06	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	10.06	3.02

(b) $e^\pm \mu^\mp$

	Число событий	JES $_{\uparrow}$	JES $_{\downarrow}$	JER	$E_{e,\uparrow}$	$E_{e,\downarrow}$	res $_e$	$\mu_{MS,\uparrow}$	$\mu_{MS,\downarrow}$	$\mu_{ID,\uparrow}$	$\mu_{ID,\downarrow}$	σ	Сист.	Стат.
Z+jets	333.43	8.16	4.36	5.60	1.50	2.24	0.38	0.10	0.11	0.10	0.10	0.00	11.16	4.40
$t\bar{t}$	2567.97	0.12	0.17	0.02	0.16	0.20	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	15.07	15.07	0.45
Diboson	274.94	6.72	5.47	1.24	0.19	0.22	0.31	0.28	0.00	0.00	0.18	5.15	10.17	3.59
Single Top	236.98	1.03	0.63	0.24	0.12	0.20	0.13	0.02	0.01	0.00	0.08	10.00	10.08	2.15

(c) $\mu^\pm \mu^\mp$

	Число событий	JES $_{\uparrow}$	JES $_{\downarrow}$	JER	$E_{e,\uparrow}$	$E_{e,\downarrow}$	res $_e$	$\mu_{MS,\uparrow}$	$\mu_{MS,\downarrow}$	$\mu_{ID,\uparrow}$	$\mu_{ID,\downarrow}$	σ	Сист.	Стат.
Z+jets	139346.53	11.39	7.18	5.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	14.71	0.22
$t\bar{t}$	1297.07	0.13	0.13	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	15.05	15.05	0.64
Diboson	2409.53	5.12	5.42	0.34	0.00	0.01	0.00	0.10	0.03	0.08	0.02	1.67	7.65	1.85
Single Top	150.46	1.19	0.59	0.04	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.08	0.14	10.00	10.10	2.71

Таблица 1: Число событий фоновых процессов для конечного состояния с двумя лептонами противоположного заряда (OS) при вариации систематических неопределенностей (%) после наложения базовых условий отбора.

(a) e^+e^-

	Число событий	JES $_{\uparrow}$	JES $_{\downarrow}$	JER	$E_{e,\uparrow}$	$E_{e,\downarrow}$	res $_e$	$\mu_{MS,\uparrow}$	$\mu_{MS,\downarrow}$	$\mu_{ID,\uparrow}$	$\mu_{ID,\downarrow}$	σ	Сист.	Стат.
Z +jets	749.38	8.76	6.77	3.53	0.83	0.86	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.69	0.34
H	9.00	0.11	0.13	0.14	0.43	0.56	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	24.03	24.04	1.98
Diboson	35.55	3.13	3.16	1.32	0.62	0.69	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	6.87	8.33	10.14
Single Top	0.60	0.46	1.09	0.98	0.29	0.33	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	10.13	4.72

(b) $e^+\mu^\pm$

	Число событий	JES $_{\uparrow}$	JES $_{\downarrow}$	JER	$E_{e,\uparrow}$	$E_{e,\downarrow}$	res $_e$	$\mu_{MS,\uparrow}$	$\mu_{MS,\downarrow}$	$\mu_{ID,\uparrow}$	$\mu_{ID,\downarrow}$	σ	Сист.	Стат.
Z +jets	28.01	9.11	4.15	2.95	7.27	0.17	1.24	0.01	1.61	1.60	0.01	0.00	12.98	14.41
H	9.99	0.11	0.11	0.03	0.35	0.49	0.16	0.03	0.01	0.03	0.35	26.28	26.29	1.99
Diboson	34.34	2.76	2.66	1.38	0.70	0.02	0.04	0.03	0.24	0.11	0.81	11.15	11.93	5.64
Single Top	0.64	0.81	0.76	0.17	0.57	0.82	0.20	0.06	0.01	0.01	0.08	10.00	10.12	4.01

(c) $\mu^+\mu^\pm$

	Число событий	JES $_{\uparrow}$	JES $_{\downarrow}$	JER	$E_{e,\uparrow}$	$E_{e,\downarrow}$	res $_e$	$\mu_{MS,\uparrow}$	$\mu_{MS,\downarrow}$	$\mu_{ID,\uparrow}$	$\mu_{ID,\downarrow}$	σ	Сист.	Стат.
Z +jets	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.54	0.00	50.00	50.00	9.19
Diboson	12.40	7.40	3.30	6.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	0.24	0.00	13.90	17.25	8.89
Single Top	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Таблица 2: Число событий фоновых процессов для конечного состояния с двумя лептонами одинакового заряда (SS) при вариации систематических неопределенностей (%) после подложки базовых условий отбора.

Седьмая глава посвящена изучению фоновых событий. События с рождением пары t -кварков представляют собой важный фон, а в $e\mu$ событиях этот фон является доминирующим. Для выделения $t\bar{t}$ событий применялся ряд условий, основным из которых является набор условий b -таггирования струй. Результаты приведены в таблицах 3 – 4.

	ee	$\mu\mu$	$e\mu$	$\mu\mu$
$t\bar{t}$	$146.49 \pm 1.95 \pm 32.53$	$147.80 \pm 1.96 \pm 32.77$	$735.38 \pm 4.46 \pm 169.33$	$1029.67 \pm 5.25 \pm 234.60$
t, Wt	$11.89 \pm 0.83 \pm 2.33$	$14.42 \pm 0.91 \pm 2.89$	$53.64 \pm 1.73 \pm 10.71$	$79.95 \pm 2.12 \pm 15.93$
$Z+\text{jets}$	$3.84 \pm 1.06 \pm 0.61$	$13.09 \pm 2.11 \pm 2.17$	$7.90 \pm 1.55 \pm 1.37$	$24.83 \pm 2.82 \pm 4.15$
$\text{Diboson}+\text{jets}$	$5.83 \pm 0.98 \pm 0.95$	$4.98 \pm 0.92 \pm 0.81$	$21.57 \pm 2.01 \pm 3.25$	$32.38 \pm 2.42 \pm 5.01$
MC fake	$8.36 \pm 5.56 \pm 1.27$	$0.00 \pm 0.00 \pm 0.00$	$6.21 \pm 1.50 \pm 0.88$	$14.58 \pm 5.76 \pm 2.15$
MC	$176.42 \pm 6.12 \pm 32.57$	$180.29 \pm 3.16 \pm 32.85$	$824.70 \pm 5.62 \pm 169.37$	$1181.41 \pm 8.89 \pm 234.70$
Data	206 ± 14.35	180 ± 13.42	915 ± 30.25	1301 ± 36.07
Data/MC	$1.17 \pm 0.09 \pm 0.22$	$1.00 \pm 0.08 \pm 0.18$	$1.11 \pm 0.04 \pm 0.23$	$1.10 \pm 0.03 \pm 0.22$
WR(600)N(300)	$9.35 \pm 5.06 \pm 0.98$	$5.98 \pm 3.22 \pm 1.17$	$4.12 \pm 1.84 \pm 0.57$	$19.45 \pm 6.27 \pm 2.71$

Таблица 3. Число событий с двумя лептонами и ≥ 1 струями, прошедшими отбор для контрольной области для $t\bar{t}$ событий. Алгоритм JetProb, $\epsilon = 50\%$.

	ee	$\mu\mu$	$e\mu$	$\mu\mu$
$t\bar{t}$	$191.00 \pm 2.31 \pm 41.74$	$191.22 \pm 2.31 \pm 41.83$	$944.46 \pm 5.23 \pm 216.71$	$1326.69 \pm 6.17 \pm 300.22$
t, Wt	$16.56 \pm 1.06 \pm 3.05$	$21.48 \pm 1.16 \pm 4.06$	$76.24 \pm 2.15 \pm 14.20$	$114.28 \pm 2.66 \pm 21.31$
$Z+\text{jets}$	$4.87 \pm 1.25 \pm 0.40$	$14.37 \pm 2.25 \pm 1.14$	$10.44 \pm 1.80 \pm 1.21$	$29.68 \pm 3.14 \pm 2.75$
$\text{Diboson}+\text{jets}$	$7.06 \pm 1.09 \pm 0.57$	$6.74 \pm 1.15 \pm 0.51$	$25.83 \pm 2.28 \pm 1.86$	$39.62 \pm 2.78 \pm 2.95$
MC fake	$10.16 \pm 6.43 \pm 0.81$	$0.00 \pm 0.00 \pm 0.00$	$7.90 \pm 1.71 \pm 0.60$	$18.06 \pm 6.66 \pm 1.41$
MC	$229.66 \pm 7.11 \pm 41.75$	$233.81 \pm 3.62 \pm 41.85$	$1064.87 \pm 6.59 \pm 216.72$	$1528.34 \pm 10.35 \pm 300.25$
Data	253 ± 15.91	211 ± 14.53	1100 ± 33.17	1564 ± 39.55
Data/MC	$1.10 \pm 0.08 \pm 0.20$	$0.90 \pm 0.06 \pm 0.16$	$1.03 \pm 0.03 \pm 0.21$	$1.02 \pm 0.03 \pm 0.20$
WR(600)N(300)	$10.83 \pm 5.50 \pm 1.09$	$8.60 \pm 3.97 \pm 1.93$	$4.52 \pm 2.02 \pm 0.44$	$23.95 \pm 7.08 \pm 3.46$

Таблица 4. Число событий с двумя лептонами и ≥ 1 струями, прошедшими отбор для контрольной области для $t\bar{t}$ событий. Алгоритм JetProb, $\epsilon = 70\%$.

КХД процессы являются важным фоном для конечного состояния с двумя лептонами одинакового заряда. Полное моделирование pp взаимодействий с достаточной статистикой не представляется возможным, и поэтому этот фон измеряется с использованием экспериментальных данных. Для измерения данного фона использовался метод КХД матрицы. Оценка систематической ошибки проводилась методом Half-Sample теста и с использованием “несигнальной” кинематической области.

Другим фоновым процессом, дающим вклад в канал с двумя лептонами одинакового заряда, является процесс, в котором один из лептонов в реакции $e^\pm \rightarrow e^\pm \gamma \rightarrow e^\pm e^\pm e^\mp$ “меняет” знак заряда. Также возможна неправильная реконструкция знака заряда лептона. Изучение этого фона проводилось методом tag-and-probe, а также direct extraction, с использованием событий $Z \rightarrow \ell\ell$.

Сравнение данных и предсказаний для фона приведено в таблицах 5 и 6. В этой главе также приведены кинематические распределения для этих событий.

	ee	$\mu\mu$	$e\mu$	total
$Z/\gamma^* + \text{jets}$	136.0 ± 8.6 ± 9.1	173.2 ± 10.0 ± 11.3	0.8 ± 0.8 ± 0.0	310.1 ± 13.2 ± 14.5
Diboson	4.3 ± 0.8 ± 1.6	6.6 ± 1.1 ± 0.7	5.9 ± 1.4 ± 0.8	16.8 ± 1.9 ± 2.2
Top	101.9 ± 2.4 ± 11.9	100.1 ± 2.4 ± 11.7	197.9 ± 3.3 ± 22.8	399.8 ± 4.7 ± 45.6
Fake	12.6 ± 6.3 ± 4.3	-0.2 ± 0.7 ± 0.2	6.2 ± 3.8 ± 2.0	18.6 ± 6.8 ± 6.1
Total Background	254.8 ± 10.9 ± 23.4	279.7 ± 10.4 ± 25.6	210.9 ± 5.3 ± 33.0	745.3 ± 15.7 ± 75.2
Data	246.0 ± 15.7	241.0 ± 15.5	244.0 ± 15.6	731.0 ± 27.0

Таблица 5. Сравнение данных и предсказания для фона в канале с лептонами разного знака и числом струй ≥ 1 после отбора $m_{ll} > 110$ ГэВ, $S_T > 400$ ГэВ и $m_{ll(j)} > 400$ ГэВ.

	ee	$\mu\mu$	$e\mu$	total
$Z/\gamma^* + \text{jets}$	5.2 ± 0.3 ± 1.3	0.00 ± 0.0 ^{+1.6} _{-0.0}	0.3 ± 0.3 ± 0.0	5.5 ± 0.4 ^{+2.1} _{-1.3}
Diboson	3.6 ± 0.8 ± 0.7	2.7 ± 0.5 ± 0.7	5.5 ± 0.6 ± 1.3	11.9 ± 1.1 ± 2.7
Top	3.0 ± 0.2 ± 0.8	0.5 ± 0.1 ± 0.3	3.4 ± 0.2 ± 0.9	6.9 ± 0.3 ± 1.9
Fake	36.6 ± 10.8 ± 11.6	1.2 ± 0.3 ± 0.6	15.3 ± 4.4 ± 5.7	53.1 ± 11.6 ± 16.3
Total Background	48.4 ± 10.9 ± 11.8	4.5 ± 0.6 ^{+2.1} _{-1.3}	24.6 ± 4.5 ± 6.2	77.4 ± 11.7 ^{+20.8} _{-20.7}
Data	59.0 ± 7.7	8.0 ± 2.8	39.0 ± 6.2	106.0 ± 10.3

Таблица 6. Сравнение данных и предсказания для фона в канале с лептонами одинакового знака и числом струй ≥ 1 после отбора $m_{ll} > 110$ ГэВ и $m_{ll(j)} > 400$ ГэВ.

В восьмой главе приведены методы вычисления пределов для физических процессов, которые изучались в данной работе. Использовались классический метод, CLs, байесовский метод и метод Фельдмана-Коузинса.

Девятая глава посвящена описанию полученных результатов. По результатам сравнения данных и фона значимых отклонений ($> 3\sigma$) от предсказаний Стандартной модели обнаружено не было.

Были получены пределы на массы W_R -бозона и тяжелого нейтрино, которые являются наиболее сильными ограничениями на массы данных частиц в настоящее время. Результаты приведены на рис. 2 (при отсутствии смешивания между тяжелыми нейтрино) и рис. 3 (при наличии максимального смешивания между N_e и N_μ).

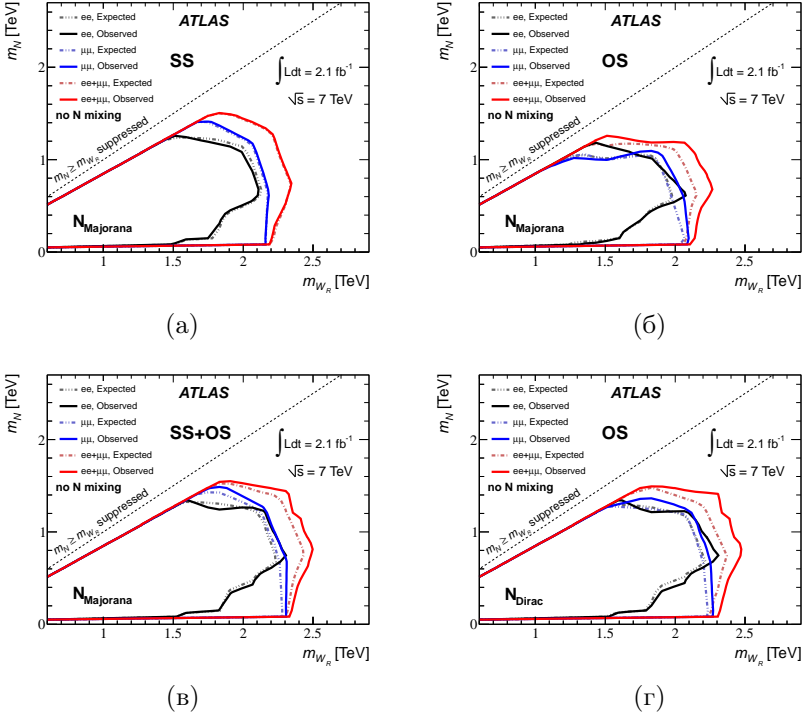


Рис. 2. Ожидаемые и измеренные нижние пределы на массу W_R -бозона и майорановского (а,б,в) или дираковского (г) тяжелого нейтрино N на уровне достоверности 95% для ee , $\mu\mu$, $e\mu$ каналов, а также для суммы всех каналов, при отсутствии смешивания между тяжелыми нейтрино. Области исключенных масс находятся внутри обозначенных контуров.

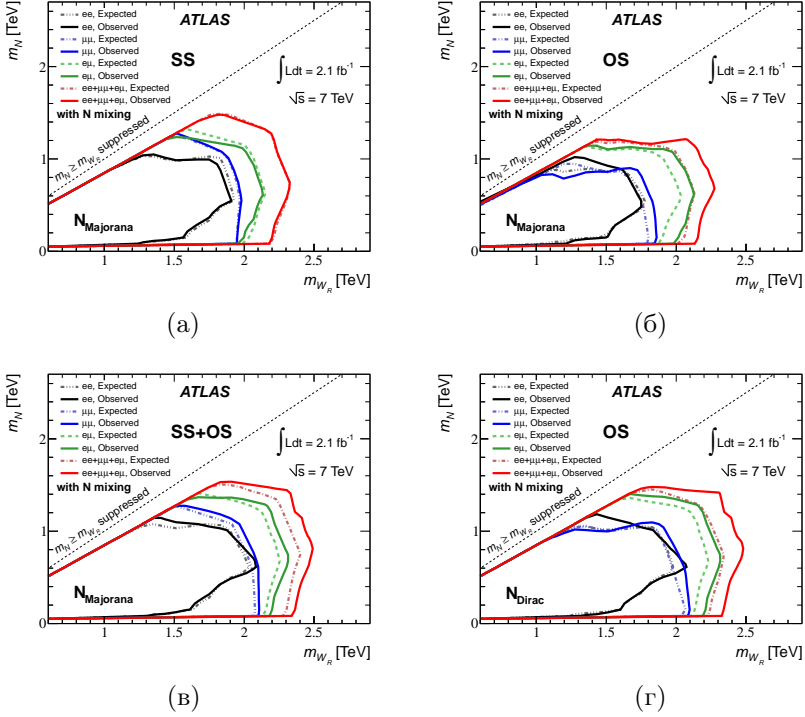


Рис. 3. Ожидаемые и измеренные нижние пределы на массу W_R -бозона и майорановского (а,б,в) или дираковского (г) тяжелого нейтрино N на уровне достоверности 95% для ee , $\mu\mu$, $e\mu$ каналов, а также для суммы всех каналов, при наличии максимального смешивания между N_e и N_μ . Области исключенных масс находятся внутри обозначенных контуров.

В заключении приведены основные результаты работы:

1. Проведено изучение условий отбора для поиска W_R -бозона и тяжелого нейтрино, предсказываемых в модели LRSM, в конечном состоянии $llj(j)$.
2. Изучены фоновые процессы для конечного состояния $llj(j)$ при рекордной суммарной энергии сталкивающихся протонных пучков 7 ТэВ. Результаты, полученные на данных, согласуются с предсказаниями Стандартной модели в области высоких энергий, доступных впервые на LHC.

3. Получены лучшие пределы на массу W_R -бозона и тяжелого нейтрино в прямых поисках этих частиц. W_R -бозон с массой < 1.8 (2.3) ТэВ исключен на 95% С.Л. при разнице масс между W_R -бозоном и тяжелым нейтрино 0.3 (0.9) ТэВ. Результаты приведены как в предположении майорановской, так и дираковской массы тяжелого нейтрино.
4. Впервые при анализе и интерпретации данных в рамках модели LRSM учтена возможность смешивания тяжелых нейтрино для первого и второго поколений. Получены результаты с учетом возможного смешивания.
5. Разработано программное обеспечение для проверки стабильности работы модулей электроники жидко-аргонового калориметра детектора ATLAS.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. G. Aad, . . . , K. Skovpen, . . . , et al. (ATLAS Collaboration) “Search for heavy neutrinos and right-handed W bosons in events with two leptons and jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”. // Eur. Phys. J. C. – 2012. – Vol. 72. – P. 2056.
2. G. Aad, . . . , K. Skovpen, . . . , et al. (ATLAS Collaboration) “Inclusive search for same-sign dilepton signatures in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”. // JHEP. – 2011. – Vol. 10. – P. 107.
3. H. Abreu, . . . , K. Skovpen, . . . , et al. “Performance of the electronic readout of the ATLAS liquid argon calorimeters”. // JINST. – 2010. – Vol. 5. – P. P09003.
4. G. Aad, . . . , K. Skovpen, . . . , et al. (ATLAS Collaboration) “A Search for Heavy Majorana Neutrino and W_R in dilepton plus jets events with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV”. // ATLAS-CONF-2011-115. – 2011.

СКОВПЕНЬ Кирилл Юрьевич

**Поиск W_R -бозона и тяжелого нейтрино
на детекторе ATLAS**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

Сдано в набор 19.11.2012 г.

Подписано в печать 20.11.2012 г.

Формат бумаги 100×90 1/16 Объем 1.0 печ.л., 0.8 уч.-изд.л.

Тираж 100 экз. Бесплатно. Заказ № 30

Обработано на РС и отпечатано на

ротапринте «ИЯФ им. Г.И. Будкера» СО РАН

Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.