

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ»
(НИЯУ МИФИ)

УДК 53-05

ОТЧЁТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
ОПТИМИЗАЦИЯ КРИТЕРИЕВ ОТБОРА ЭЛЕКТРОСЛАБОГО
ПРОЦЕССА РОЖДЕНИЯ Z-БОЗОНА С ФОТОНОМ

Научный руководитель:
к.ф.-м.н., доцент

_____ Е. Ю. СОЛДАТОВ

Выполнил:

_____ М. А. ШАДРИН

Москва 2019

1 Введение

1.1 Общие сведения

В настоящее время теорией, описывающей физику элементарных частиц, является Стандартная модель (СМ). Постулаты этой теории подтверждаются сотнями экспериментов и её предсказания проверены с высочайшей точностью. В 2012 году открытием Бозона Хиггса было завершено построение СМ. Однако, очевиден и тот факт, что СМ не является всеобъемлющей теорией, поскольку она не может объяснить некоторые явления (тёмная материя), процессы (осцилляция нейтрино) и даже не включает в себя одно из 4 взаимодействий (гравитацию). Поэтому всё более актуальным становится поиск отклонений от Стандартной модели или т.н. "новой физики". Эти отклонения смогут показать путь к новой более общей теории физики частиц.

На современных экспериментах таких как ATLAS, ALICE, DARK SIDE, и др. проводят направленные на это исследования. С помощью данных, получаемых на детекторах, выявляются отклонения от Стандартной Модели.

Существует два способа поиска отклонений от стандартной модели: прямой и косвенный. Прямой поиск - это поиск новых частиц, но последние данные с экспериментов на большом адронном коллайдере дают отрицательный результат для этих поисков. Косвенный - это поиск низкоэнергетических эффектов наличия новых частиц на больших масштабах энергий недостижимых на современных ускорителях. В данной работе рассматривается процесс электрослабого рождения Z -бозона с фотоном. Он является перспективным для изучения, т.к. не был обнаружен экспериментально и является чувствительным к изменению параметров стандартной модели. Из всех существующих вариантов был выбран именно процесс распада Z -бозона в нейтрино, т.к. данный процесс имеет достаточно большую вероятность (около 20%). [6] В то же время не был взят процесс с адронами, несмотря на то что он имеет большую вероятность (69.9%) [6], т.к. его сложно выделить в эксперименте на адронном коллайдере.

1.2 Ознакомление с пакетом обработки данных Root

Root - пакет обработки данных, реализованный на C++, использующийся в обработке данных в физике высоких энергий и космофизике. Преимущество данного пакета заключается в наличии методов и классов позволяющих работать с физическими величинами (LorentzVector и др) и облегчающий наглядное представление данных. [1]

2 Детектор ATLAS

2.1 Устройство детектора

ATLAS — один из четырёх основных экспериментов на коллайдере LHC в европейской организации ядерных исследований CERN в городе Женева (Швейцария). Эксперимент проводится на одноимённом детекторе, предназначенном для исследования протон-протонных столкновений. Размеры детектора ATLAS: длина — 46 метров, диаметр — 25 метров, общий вес — около 7000 тонн [4]. Эксперимент ATLAS (ATLAS — A Toroidal LHC ApparatuS) на Большом адронном коллайдере в CERN — представляет собой многоплановый и многоцелевой детектор элементарных частиц. Общее устройство детектора ATLAS следует классической схеме многоцелевого детектора в коллайдерных экспериментах. Он состоит из компактного внутреннего детектора, в котором отслеживаются траектории частиц, за ним следуют калориметры, измеряющие их энергию, а снаружи расположены мюонные детекторы. [4]

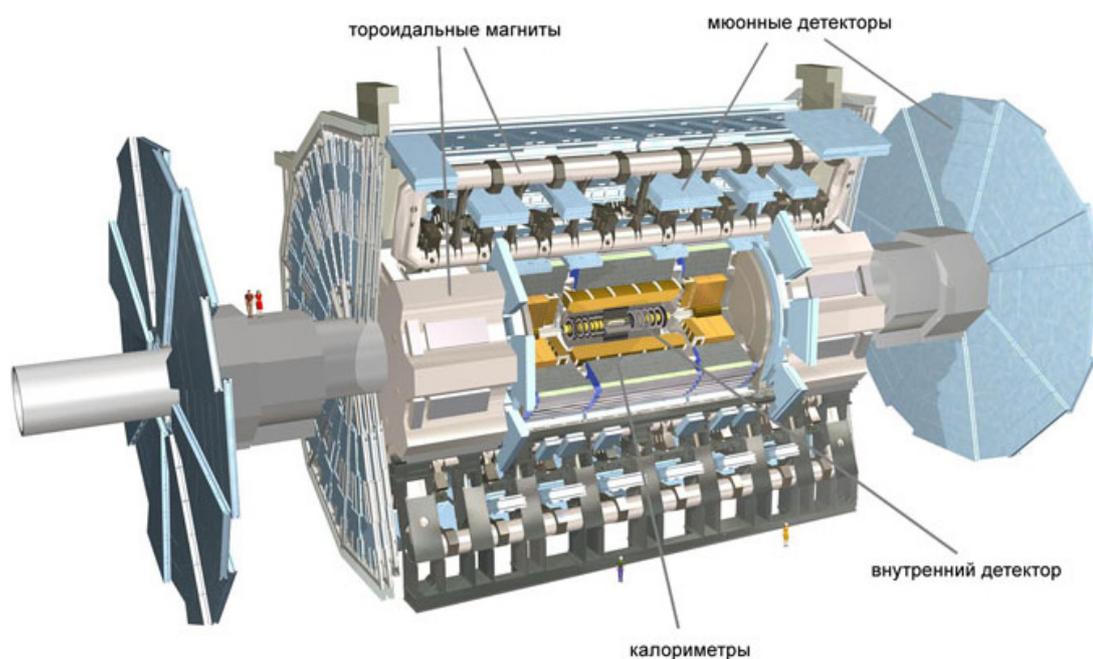


Рисунок 1 – устройство детектора ATLAS

2.2 Система координат ATLAS

Детектор ATLAS и частицы, образующиеся в столкновениях описываются правой прямоугольной координатной системой с началом координат в номинальной точке взаимодействия. Ось x направлена от точки взаимодействия в центр кольца БАКа, ось y — вверх. Ось z направлена по направлению пучка против часовой стрелки. Положительные значения z определяют сторону А детектора, тогда как отрицательные — сторону С. Поперечные импульс и энергия частицы измеряются в плоскости x - y .

Кроме того, используется и цилиндрическая система координат. Азимутальный угол ϕ отсчитывается вокруг оси пучка относительно положительного направления оси x . Полярный угол θ отсчитывается от положительного направления оси

z и обычно выражается через псевдобыстроту, определяемую как:

$$\eta = -\ln \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \quad (1)$$

3 Ознакомление с пакетом для обработки данных ROOT

3.1 Ознакомление с возможностями Root

Для ознакомления с пакетом обработки данных Root были построены кинематические распределения (импульс, энергия, направление по η, ϕ) по данным с распадами: $W \rightarrow \nu + e$ и $W \rightarrow \mu + \nu$ [1]

Важно заметить, что на кинематическом распределении по η у лептона имеется два ярко выраженных провала, что связано с большим количеством мертвого материала (системы охлаждения и питания внутреннего детектора проходят именно там) из-за чего в этой области детектор показывает плохое разрешение. Поэтому области $1.37 < |\eta| < 1.52$ обычно убирают из анализа.

3.2 Реконструкция распада W-бозона

Был реконструирован распад W-бозона из предположения что конечные состояния это 1 лептон и нейтрино [5]. По формуле:

$$m_T = \sqrt{2p_e p_\nu (1 - \cos(\phi_e + \phi_\nu))}, \quad (2)$$

где m_T – поперечная масса W-бозона, p_e и p_ν – поперечные импульсы электрона и нейтрино соответственно.

Было построено распределение для поперечной массы W-бозона (рис.2).

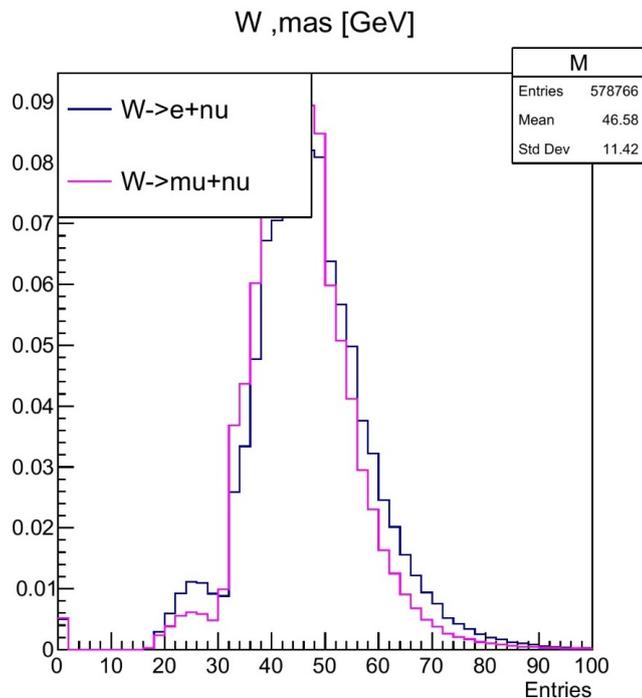


Рисунок 2 – Распределение по поперечной массе W-бозона

Далее было проведено ознакомление с простейшим отбором событий, для этого были отобраны события удовлетворяющие критериям:

$$p_T > 25[GeV] \quad (3)$$

$$E_T^{miss} > 25[GeV] \quad (4)$$

Где p_T - поперечный импульс лептона, E_T^{miss} -потерянная энергия.

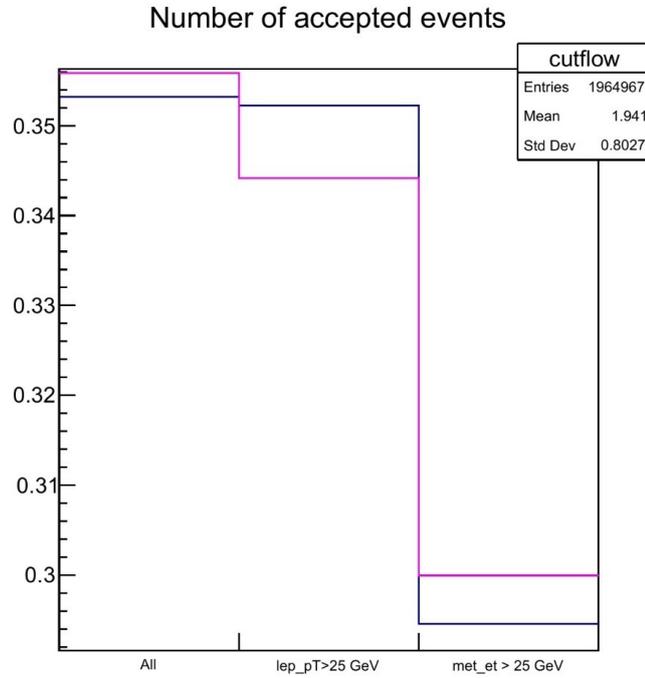


Рисунок 3 – Количество событий проходящих отбор

Отбор позволил выбрать регион с большим вкладом мультиструйных событий. Данные отборы уменьшают количество данных и увеличивают вклад сигнальных событий.

4 Оптимизация критериев отбора электрослабого процесса рождения Z-бозона с фотоном

По данным для сигнального (электрослабого рождения Z-бозона с фотоном) и фонового (КХД рождения) процесса, смоделированных методом Монте-Карло, были построены Лоренц вектора для 2 лидирующих адронных струй (струи с наибольшим поперечным импульсом), фотона и потерянной поперечной энергии, далее с помощью методов класса TLorenzVector и формул (5), (6) были рассчитаны значения центральности(ζ) фотона и баланса импульсов ($p_T^{balance}$), разности быстрот ($|\Delta y_{jj}|$) и инвариантной массы двух струй (m_{jj}) и построены их распределения по числу событий.[2]

$$\zeta = \left| \frac{\eta - \eta_{jj}}{\Delta\eta_{jj}} \right| \quad c \quad \eta_{jj} = \frac{\eta_{j_1} + \eta_{j_2}}{2}, \quad \Delta\eta_{jj} = \eta_{j_1} - \eta_{j_2}, \quad (5)$$

$$p_T^{balance} = \frac{|\vec{p}_T^{miss} + \vec{p}_T^\gamma + \vec{p}_T^{j_1} + \vec{p}_T^{j_2}|}{E_T^{miss} + |\vec{p}_T^\gamma| + |\vec{p}_T^{j_1}| + |\vec{p}_T^{j_2}|}. \quad (6)$$

Далее была проведена проверка нескольких критериев: на предмет улучшения значимости, также была проведена оптимизация величины порога, при котором значимость будет наибольшая.

Для этого для каждого критерия по формуле (7) была рассчитана значимость, где S – число событий сигнала, проходящих критерий, B – число событий фона, проходящих критерию, Z – значимость. После чего был построен график ее зависимости от величины порога.

$$Z = \frac{S}{\sqrt{S+B}} \quad (7)$$

Ниже приведены графики зависимости значимости для различных критериев.

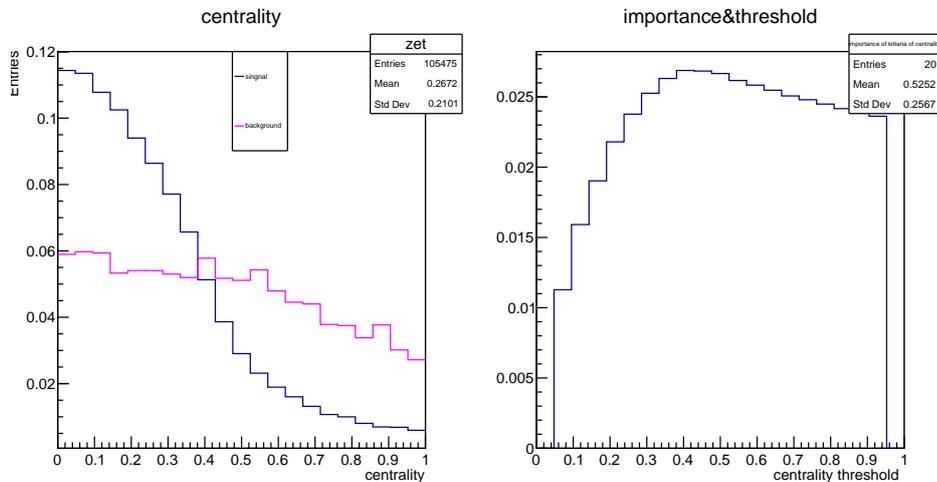


Рисунок 4 – Слева - нормированное распределение центральности; Справа - Зависимость значимости критерия для центральности от величины порога слева

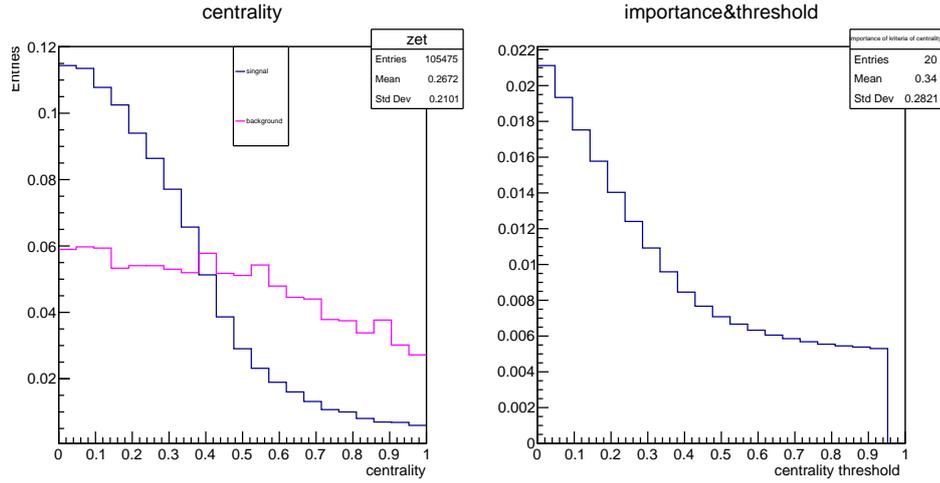


Рисунок 5 – Слева - нормированное распределение центральности; Справа - Зависимость значимости критерия для центральности от величины порога справа

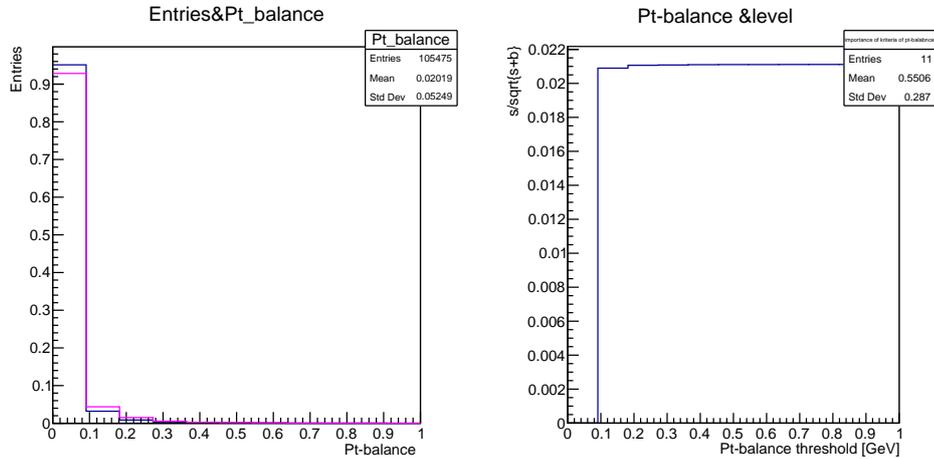


Рисунок 6 – Слева - нормированное распределение $p_T^{balance}$; Справа - Зависимость значимости критерия для $p_T^{balance}$ от величины порога слева

По полученным распределениям можно увидеть, что значимость монотонно возрастает для критерия по балансу импульсов, при рассмотрении области слева от ограничения и монотонно убывает при рассмотрении области справа от ограничения (рис.5),(рис.6).

Значимость для критерия на инвариантную массу струй монотонно возрастает при увеличении порога, при рассмотрении области слева от порога (рис.10), это означает, что постановка порога не увеличивает вклад событий сигнала по отношению к числу событий фона. Следовательно, нет необходимости ставить порог слева. При рассмотрении области справа от порога можно наблюдать максимум значимости при пороге 1100[GeV] (рис.11). Следовательно, ставим ограничение. На распределениях для критерия на центральность наблюдаются максимум значимости критерия при рассмотрении области слева, что свидетельствует о необходимости ставить порог, что позволит выделить области в которых вклад от интересующих нас событий больший, чем от фоновых событий.

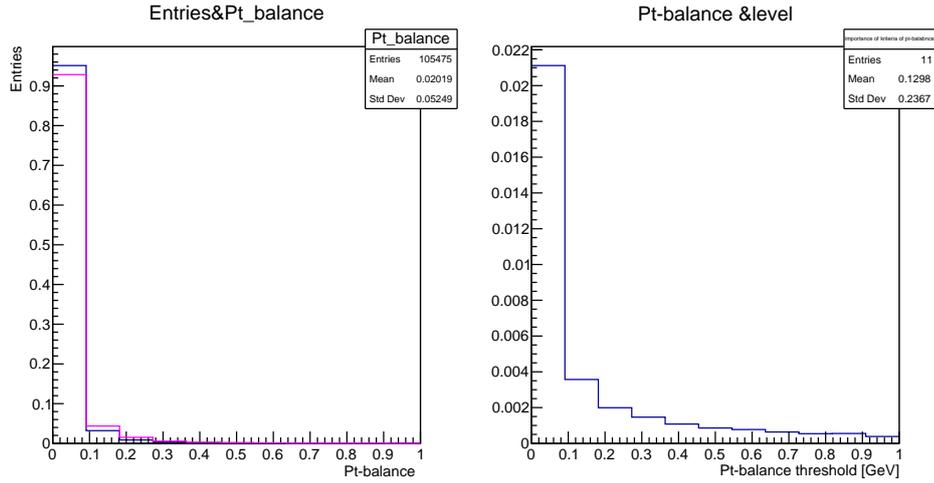


Рисунок 7 – Слева - нормированное распределение $p_T^{balance}$; Справа - Зависимость значимости критерия для $p_T^{balance}$ от величины порога справа

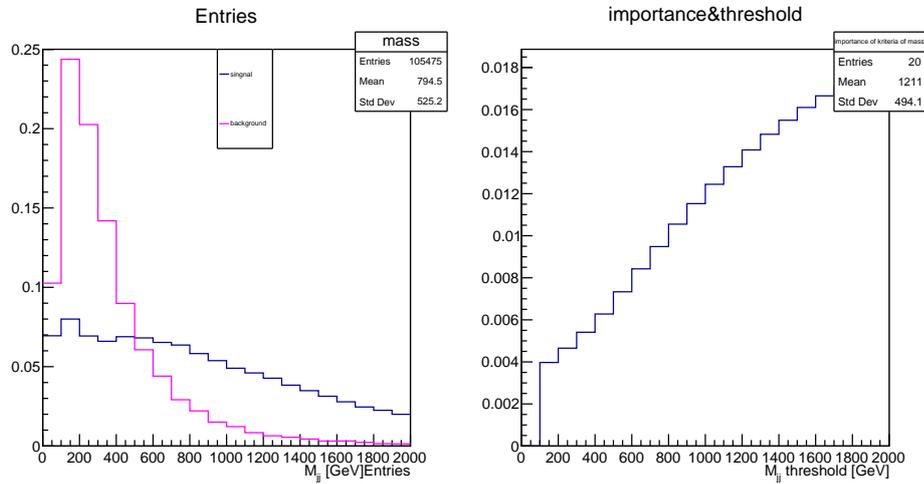


Рисунок 8 – Слева - нормированное распределение инвариантой массы двух струй; Справа - Зависимость значимости критерия для инвариантой массы двух струй от величины порога слева

5 ВЫВОД

Изучение редких процессов чувствительных к новой физике – один из важнейших аспектов на пути к расширению стандартной модели. Для изучения этих процессов используется анализ данных при помощи пакета Root. Обработка данных включает в себя, разделение и маркировку событий, для возможности детального изучения каждого из них. Для этого необходимо среди всего объема данных выделять интересующие события.

Был изучен пакет для обработки данных Root, а также проведен простейший отбор и анализ данных. В качестве изучаемого процесса было выбрано электрослабое рождение Z-бозона и фотона, и проведен анализ критериев, которые должны помочь выделить именно это процесс от различных фонов. Для двух критериев был найден порог, который позволяет выбрать определенную область распреде-

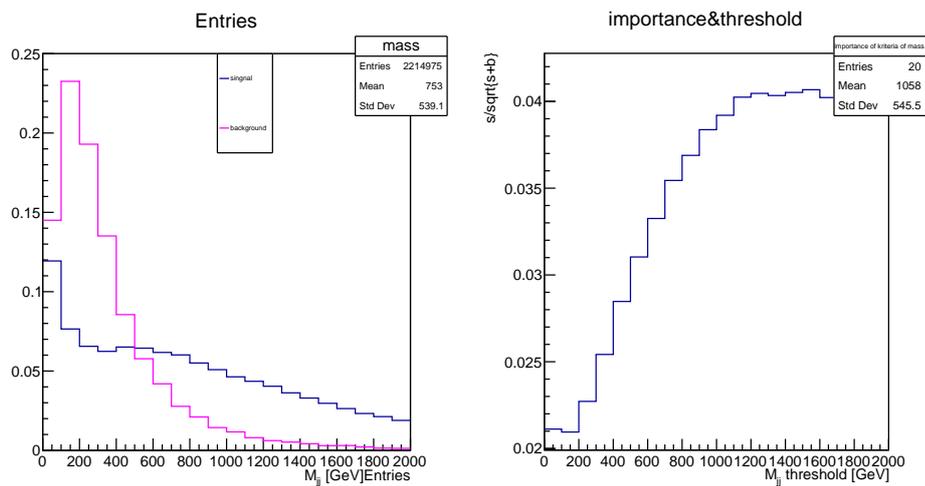


Рисунок 9 – Слева - нормированное распределение инвариантой массы двух струй; Справа - Зависимость значимости критерия для инвариантой массы двух струй от величины порога справа

ления, увеличить долю данного процесса в отобранном наборе.

Таблица 1 – Значения порогов для критериев

Критерий	порог справа	порог слева
$p_T^{balance}$	–	–
ζ	–	<0.4
m_{jj}	$>1100[\text{GeV}]$	–

Список литературы

1. Root - an object oriented data analysis framework. <http://root.cern.ch/>
2. ATLAS Collaboration; Studies of $Z\gamma$ production in association with a high-mass dijet system in pp collisions at $s^{0.5} = 8$ TeV with the ATLAS detector; JHEP 1707, 107 c.47
3. DØ Collaboration; A Measurement of the W Boson Mass;1999 c.49
4. Детектор ATLAS. <https://elementy.ru/>
5. DØ Collaboration; A Measurement of the W Boson Mass;1999 c.49
6. PARTICLE PHYSICS BOOKLET. M.Tanabashi et al (Partical Data Group),Phys.Rev.D 98,030001(2018)