

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

УДК 539.12.01

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
ЗНАКОМСТВО С ОСНОВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ АНАЛИЗА
ПО ПОИСКУ ВОЗБУЖДЕННЫХ ЛЕПТОНОВ В
ЭКСПЕРИМЕНТЕ ATLAS

Научный руководитель

к.ф.-м.н.

Студент

_____ А. Г. Мягков

_____ А. М. Ван

Москва 2022

Содержание

Перечень сокращений и обозначений	3
Введение	4
1 Используемые данные	5
1.1 Устройство детектора	5
1.2 Кинематика LHC	5
1.3 Исходные данные	5
2 Процесс работы и результаты	7
3 Заключение	8

Перечень сокращений, обозначений и определений

Струя – поток адронов, вылетающих примерно в одном направлении к энергичному кварку или глюону, инициирующему эту струю.

Партоны – кварки, антикварки и глюоны, из которых состоит протон (используются в описании партон-ной модели).

МК – метод Монте-Карло.

ЛНС – The Large Hadron Collider.

Введение

Стандартная модель – это современная теория в физике элементарных частиц, объединяющая в себе слабое, сильное и электромагнитное взаимодействия частиц. Несмотря на все свои успехи, Стандартная модель не дает описаний всех известных экспериментальных фактов, таких как темная материя, проблема иерархии, темная энергия и т.д. Предполагается, что Стандартная модель является частью более общей теории. Поэтому одной из главных задач на ЛНС является поиск проявлений новой физики за рамками стандартной модели. Предметом исследования моей работы является поиск возбужденных лептонов, рожденных в протон-протонных столкновениях с энергией пучков в системе центра масс $\sqrt{S} = 13$ ТэВ.

Протон является составной частицей; он состоит из трех кварков uud , скрепленных вместе глюонным полем. При высоких энергиях протоны можно рассматривать как ансамбль невзаимодействующих кварков и глюонов (партонная модель). Столкновение с жестким рассеянием можно рассматривать как взаимодействие между двумя партонами каждого протона, каждый из которых несет долю импульса x_1 , x_2 взаимодействующих протонов.

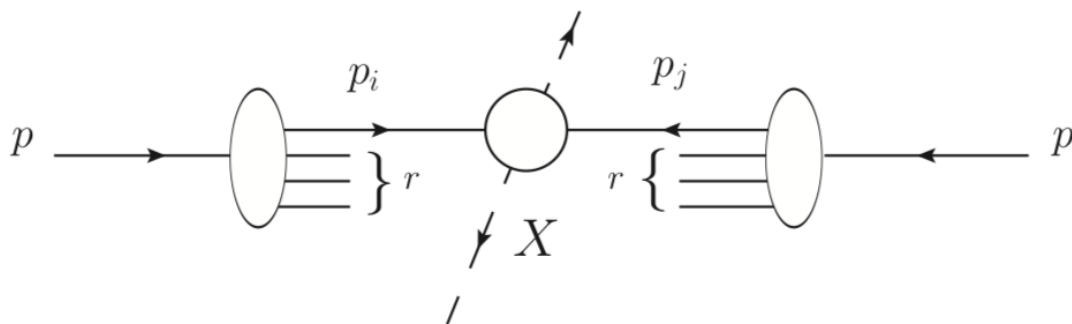


Рис. 1: Протон-протонное столкновение

Наглядно жесткие процессы в данном анализе можно показать с помощью диаграмм Фейнмана.

Целью данной работы является подготовка к анализу по поиску возбужденного лептона. Характерной сигнатурой реакции образования возбуждённого лептона является наличие в событии двух лептонов и двух струй. Из основных фоновых процессов в поиске возбужденных лептонов можно выделить:

- $Single - t$ - образование одиночного топ-кварка
- $Fake$ -электроны
- $t\bar{t}$ - образование пары топ-кварков
- $Z(\rightarrow ee)$ - образование Z -бозона с распадом в e^- и e^+
- $Z \rightarrow \tau\tau$ - образование Z -бозона с распадом в τ^- и τ^+
- VV - образование двух векторных бозонов
- Wt - образование топ-кварка и векторного бозона

При поиске новых частиц нам необходимо сравнивать результаты измерения с моделированными. Поскольку фоновые процессы нуждаются в максимально точном описании, моделирование разбивается по различным характеристикам. В данной работе проанализирован один фоновый процесс – Zee . Он разбит на 14 подпроцессов, распределенных по интервалам величины поперечного импульса и вариациями $C(B)Veto(Filter)$. В соответствии с поставленной целью основными задачами можно назвать:

- получение навыка работы с большим количеством файлов
- создание гистограмм с распределениями по переменным с наилучшей эффективностью
- знакомство с методами анализа по поиску новых частиц

1 Используемые данные

1.1 Устройство детектора

Детектор ATLAS представляет собой многоцелевой 4π -детектор с симметричной цилиндрической геометрией. Детектор ATLAS состоит из ряда больших концентрических цилиндров вокруг точки взаимодействия, где сталкиваются протонные пучки от LHC. Он состоит из внутреннего трекового детектора, электромагнитного и адронного калориметров, мюонного спектрометра и магнитных систем. Каждый из них в свою очередь сделан из повторяющихся слоев. Трековый детектор предназначен для определения параметров треков заряженных частиц для измерения их импульса. Калориметры необходимы для измерения энергоделиения частиц, мюонная система используется для определения импульса и направления пролёта высокопроницающих мюонов. Магнитная система необходима для искривления траекторий заряженных частиц для определения их импульса. [1]

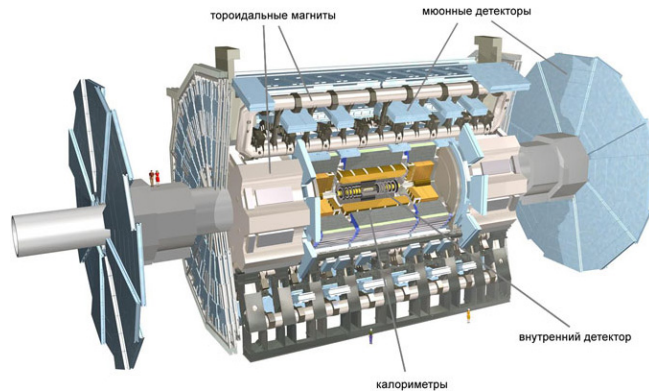


Рис. 2: Устройство детектора ATLAS

1.2 Кинематика LHC

В детекторе ATLAS используется несколько основных систем отсчета. Начало отсчета выбирается в точке взаимодействия, ось x расположена к центру LHC, ось z направлена вдоль движения пучка, ось y направлена вверх. В цилиндрической системе координат полярный угол θ отсчитывается от положительного направления оси z , азимутальный угол ϕ определяется в плоскости Oxy вокруг оси пучка.

В pp -столкновениях поперечный импульс равен нулю (по модулю угла пересечения луча, что дает небольшой эффективный поперечный импульс в лабораторной системе отсчета).

Кинематика объектов событий описывается следующими переменными:

- Для более равномерного распределения вместо угла θ используется псевдобыстрота
- Поперечный импульс p_t
- Энергия E
- Азимутальный угол ϕ

Псевдобыстрота задается формулой:

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

Эти переменные представляют собой компоненты четырехимпульса, работать с которым удобнее, используя класс `TLorentzVector` программного пакета ROOT.

1.3 Исходные данные

Работа проводится с данными, полученными методом МК моделирования протон-протонного столкновения в детекторе ATLAS на LHC с энергией в системе центра масс 13 ТэВ. В фоновых процессах в конечном состоянии преобладают процессы Zee и $t\bar{t}$. Вклады дибозонного, $single - top$, $Z(\rightarrow \tau\tau)$ +струи, $W(\rightarrow e\nu)$ +струи процессов являются субдоминирующими.

Таблица 1: Относительные вклады фоновых процессов в общее количество предварительно выбранных фоновых событий.

	eejj[%]
$Z(\rightarrow ee) + jets$	79
$Z \rightarrow \tau\tau + jets$	<1
$W(\rightarrow e\nu) + jets$	-
$W(\rightarrow \tau\nu) + jets$	-
$t\bar{t}$	16
Single - top	1
Fake - electron	2
Diboson	2

Топ кварк распадается на W бозон и b-кварк. Выделение W бозона возможно как по его лептонной моде распада, так и по адронной с образованием адронных струй. По типу распада W-бозона разделяют каналы наблюдения пары топ кварков как лептонную (оба W распадаются по лептонному каналу), полулептонную (только один из W распадается по лептонному каналу) и адронную моду (оба W распадаются по адронному каналу). Для фонового $t\bar{t}$ процесса получены приблизительные вероятности распада для каждого канала. Поскольку у W-бозона одинаковая константа связи в данных процессах, с помощью диаграмм Фейнмана мною были просчитаны вероятности распадов по каналам. Вероятность адронного канала составляет 43,6%, лептонного - 4,8 %, полулептонного - 29,1 %. Для анализа фоновыми процессами являются лептонный и полулептонный каналы распада пары топ-антитоп. На рисунке ниже приведена диаграмма распада $t\bar{t}$ -пары, где один из W распался по адронному каналу с образованием двух струй, другой по лептонному.

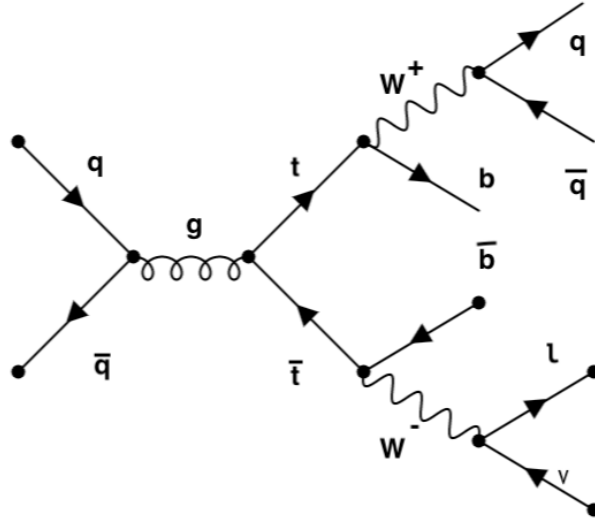


Рис. 3: Диаграмма Фейнмана распада пары $t\bar{t}$

Анализируемый мною фоновый процесс является МК моделируемый процесс Zee . Данный процесс разбит на 14 подпроцессов по различным интервалам энергии и вариациями C(B)Veto(Filter).

```

#16_13TeV_364114_Sherpa_221_NNPDF30NNLO_Zee_MXHTPTV0_70_CVetoBveto.deriv.DAOD_PHYS.e5299_s3126_r10724_p4178
#16_13TeV_364115_Sherpa_221_NNPDF30NNLO_Zee_MXHTPTV0_70_FilterBveto.deriv.DAOD_PHYS.e5299_s3126_r10724_p4178
#16_13TeV_364116_Sherpa_221_NNPDF30NNLO_Zee_MXHTPTV0_70_BFilter.deriv.DAOD_PHYS.e5299_s3126_r10724_p4178
#16_13TeV_364117_Sherpa_221_NNPDF30NNLO_Zee_MXHTPTV0_140_CVetoBveto.deriv.DAOD_PHYS.e5299_s3126_r10724_p4178
#16_13TeV_364118_Sherpa_221_NNPDF30NNLO_Zee_MXHTPTV0_140_FilterBveto.deriv.DAOD_PHYS.e5299_s3126_r10724_p4178
#16_13TeV_364119_Sherpa_221_NNPDF30NNLO_Zee_MXHTPTV0_140_BFilter.deriv.DAOD_PHYS.e5299_s3126_r10724_p4178
#16_13TeV_364120_Sherpa_221_NNPDF30NNLO_Zee_MXHTPTV140_280_CVetoBveto.deriv.DAOD_PHYS.e5299_s3126_r10724_p4178
#16_13TeV_364121_Sherpa_221_NNPDF30NNLO_Zee_MXHTPTV140_280_FilterBveto.deriv.DAOD_PHYS.e5299_s3126_r10724_p4178
#16_13TeV_364122_Sherpa_221_NNPDF30NNLO_Zee_MXHTPTV140_280_BFilter.deriv.DAOD_PHYS.e5299_s3126_r10724_p4178
#16_13TeV_364123_Sherpa_221_NNPDF30NNLO_Zee_MXHTPTV280_500_CVetoBveto.deriv.DAOD_PHYS.e5299_s3126_r10724_p4178
#16_13TeV_364124_Sherpa_221_NNPDF30NNLO_Zee_MXHTPTV280_500_FilterBveto.deriv.DAOD_PHYS.e5299_s3126_r10724_p4178
#16_13TeV_364125_Sherpa_221_NNPDF30NNLO_Zee_MXHTPTV280_500_BFilter.deriv.DAOD_PHYS.e5299_s3126_r10724_p4178
#16_13TeV_364126_Sherpa_221_NNPDF30NNLO_Zee_MXHTPTV500_1000.deriv.DAOD_PHYS.e5299_s3126_r10724_p4178
#16_13TeV_364127_Sherpa_221_NNPDF30NNLO_Zee_MXHTPTV1000_E_CMS.deriv.DAOD_PHYS.e5299_s3126_r10724_p4178

```

Рис. 4: Директории фонового процесса Zee

Конечная цель – выделить (или поставить предел) на фоне большого количества событий новый

процесс. В рамках этого семестра был изучен Стэнфордский курс лекций по машинному обучению[2], знания из которого в дальнейшем будут применяться на практике при решении задач.

2 Процесс работы и результаты

Для анализа фоновых подпроцессов необходимо использовать средства для обработки большого количества данных. При работе с ними удобно использовать такие инструменты, как класс `string` и язык программирования `awk`. Задачей является отобрать процесс с выделением возбужденного лептона. Для этого необходимо найти переменные, распределения по которым у сигнала и фона будут максимально различными. Благодаря классу `TLorentzVector` и его методам были построены распределения по наиболее эффективным кинематическим переменным: инвариантная масса двух электронов, инвариантная масса двух струй и электрона с наименьшим поперечным импульсом, инвариантная масса двух струй и двух электронов и скалярная сумма поперечных импульсов электронов и струй.

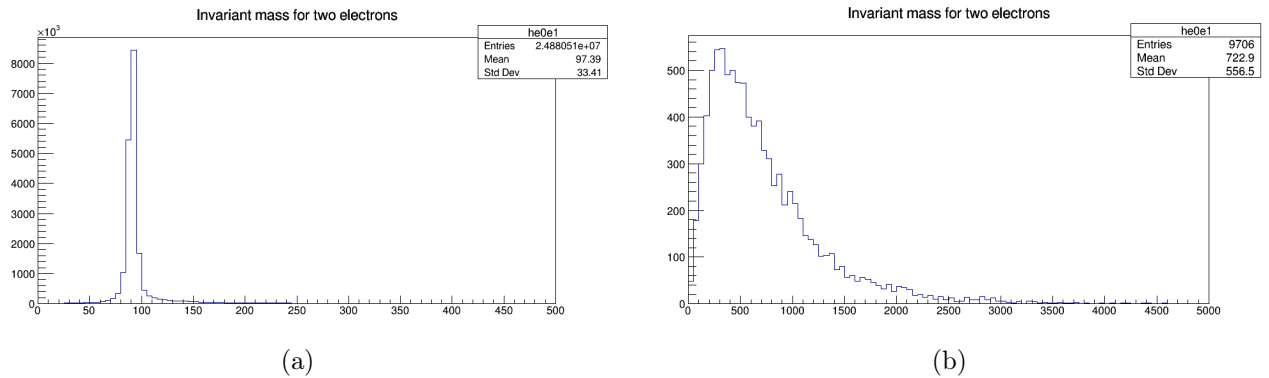


Рис. 5: Распределение по инвариантной массе двух электронов: а) для фона; б) для сигнала.

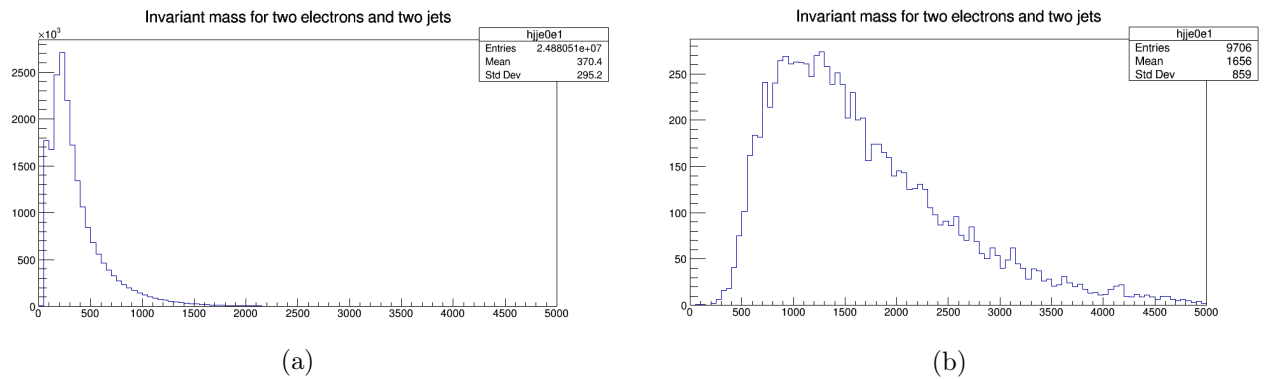


Рис. 6: Распределение по инвариантной массе двух электронов и двух струй: а) для фона; б) для сигнала.

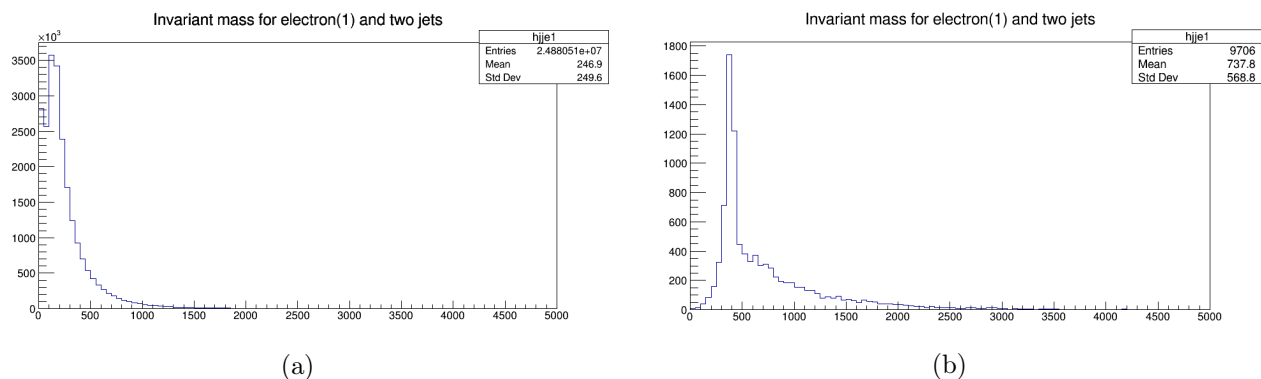


Рис. 7: Распределение по инвариантной массе двух струй и электрона с наименьшим поперечным импульсом: а) для фона; б) для сигнала.

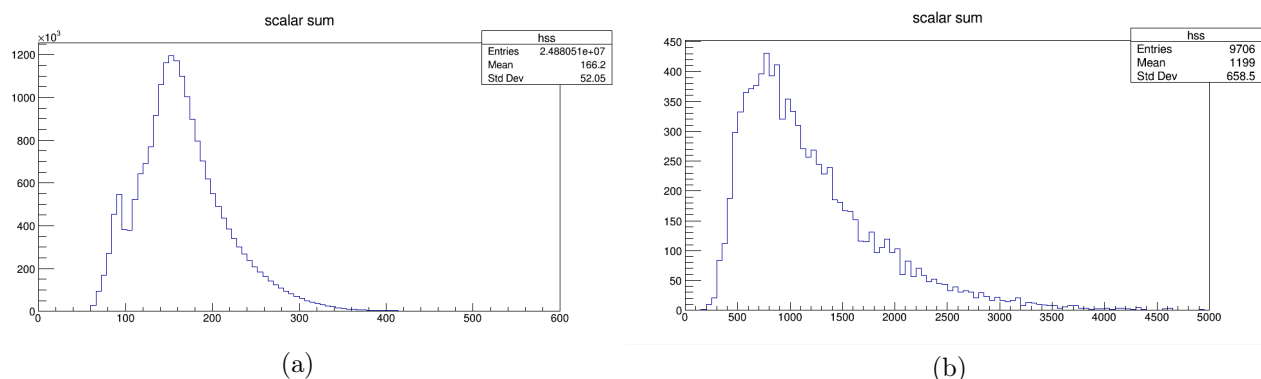


Рис. 8: Распределение по скалярной сумме поперечных импульсов двух струй и двух электронов: а) для фона; б) для сигнала.

3 Заключение

В рамках НИР за семестр проведено знакомство с основными инструментами анализа большого количества данных и с основными объектами данного анализа: два электрона (e_0 , e_1) и две струи (j_0 , j_1). Активно проводилась работа с деревьями. Для каждого объекта были построены распределения по компонентам четырехимпульса. Определены наиболее эффективные кинематические переменные, гистограммы с распределениями представлены в отчете. Дальнейшая задача – отобразить процесс в выделении возбужденного лептона, используя данные кинематические переменные.

Список литературы

- [1] Morad Aaboud et al. Search for excited electrons singly produced in proton–proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS experiment at the LHC. *Eur. Phys. J. C*, 79(9):803, 2019.
- [2] Стэнфордский курс: <https://www.reg.ru/blog/stenfordskij-kurs-lekcija-1-vvedenie/>.