Лабораторная работа 4.

Принципы анализа физических событий в эксперименте ATLAS

Вводная лекция

Антонов А., Булеков О.В., Смирнов Ю.С.

Цель работы:

Основная цель лабораторной работы №4 это знакомство с основами анализа реальных физических событий в эксперименте АТЛАС. Учащийся будет ознакомлен с детальным устройством эксперимента, предназначением и работой каждого детектора. Используя специальные демонстрационные программы для анализа экспериментальных данных учащимся будет предоставлена возможность реконструкции физических событий распадов Z, W, Higgs - бозонов и их отделения от фоновых событий

Краткое содержание работы:

- Детальное устройство эксперимента ATLAS:
 - о Внутренний детектор,
 - о Электромагнитный калориметр,
 - о Адронный калориметр
 - о Мюонная система.
- Триггерные системы, Триггерное меню, 3 уровня триггеров.
- Средства идентификации частиц, предназначение различных детекторов и их возможности.
- Средства визуализация и анализ событий.
- Идентификация событий распадов Z, W, Higgs бозонов и фоновых событий.
- Восстановление инвариантной массы Z, W, Higgs бозонов .
- Контрольные вопросы

Детальное устройство установки ATLAS:

АТЛАС – многоцелевой детектор физики высоких энергий, включает в себя детектирование, измерение и идентификацию как заряженных, так и нейтральных частиц, рождённых при столкновении пучков протонов на ускорителе LHC. Поэтому он объединяет несколько типов детектирующей техники в одной установке. Дизайн эксперимента АТЛАС (44 м в длину и 25 в диаметре):



Трековый детектор эксперимента АТЛАС предназначен для точного восстановления треков со значениями псевдобыстрот |eta|< 2.5 : он измеряет импульс и знак заряда частиц благодаря соленоидальному магнитному полю с индукцией 2 Тл, которое искривляет треки; также Внутренний Детектор измеряет параметры вершин первичных и вторичных взаимодействий.

Таблица.1 Пространственное, угловое и импульсное разрешение

Track parameter	$0.25 < \eta $	< 0.50	$1.50 < \eta < 1.75$		
	$\sigma_{\chi}(\infty)$	p_X (GeV)	$\sigma_{\chi}(\infty)$	p_X (GeV)	
Inverse transverse momentum $(1/p_T)$	0.34 TeV-1	44	0.41 TeV-1	80	
Azimuthal angle (φ)	70 µrad	39	92 μ rad	49	
Polar angle (cotθ)	0.7 ×10 ⁻³	5.0	1.2×10-3	10	
Transverse impact parameter (d_0)	$10 \mu m$	14	12 µm	20	
Longitudinal impact parameter $(z_0 \times \sin \theta)$	91 µm	2.3	$71\mu{ m m}$	3.7	

Импульсы заряженных частиц измеряются выше порога 0,5 ГэВ/с в области псевдобыстрот |η| < 2,5. При измерении полного набора неупругих событий (*minimum bias*) возможно измерение импульсов при меньшем пороге - 0,1 ГэВ/с. Внутренний детектор обеспечивает также идентификацию электронов для псевдобыстрот |η| < 2,0 и в интервале импульсов от 0,5 до 150 ГэВ/с.



Электромагнитный и адронный калориметры. Снаружи центрального соленоида два типа калориметров измеряют позицию и энергию заряженных и нейтральных частиц в диапазоне. Они оба являются гетерогенными детекторами (самплингкалориметрами), то есть состоят из слоёв двух типов: активной среды, позволяющей восстановить глубину и ширину созданного частицей ливня, и материала поглотителя, который абсорбирует энергию частицы и ограничивает развитие ливня.



Мюонный спектрометр, предназначен для реконструкции мюонов, отклоняемых восьмью тороидальными магнитами, которые создают магнитное поле неоднородной силы со средней индукцией около Тл. Весь спектрометр включает в себя две системы, восстанавливающие треки мюонов: Мониторируемые Дрейфовые Трубки (MDTs) и многопроволочные пропорциональные камеры в виде Катодных Стриповых Камер (CSCs), а также две триггерные системы: Резистивные Плоские Камеры (RPCs) и Тонкозазорные Камеры (TGCs).



Триггерная Система

Столкновения пучков протонов с частотой МГц приведёт в частоте взаимодействий в Гц при мгновенной светимости . Максимальная частота считывания в АТЛАС порядка кГц, а система хранения данных способна работать только с событиями в секунду. Для того чтобы отбирать только самые интересные с точки зрения физики события, трёхуровневая **триггерная система** снижает огромный поток данных до частоты в Гц, и это позволяет системе сбора данных (DAQ) записывать события. Первый уровень (LVL1) работает на аппаратном уровне, второй (LVL2) и третий (Event Filter, EF) — на программном. Триггеры второго и третьего уровня вместе называют Высокоуровневым Триггером (highlevel Trigger, HLT). Каждый триггерный уровень улучшает решения, принятые на предыдущем уровне и, если необходимо, добавляет дополнительные критерии отбора.



Триггерная Система

Триггер первого уровня уменьшает частоту событий, подлежащих записи, до кГц, а на принятие решения тратит менее мкс. За это короткое время возможно использовать информацию лишь от части детекторов — самых быстрых, но наименее точных: в данном случае LVL1 принимает решения, полученные на основании данных от калориметров (с уменьшенной степенью детализации относительно их номинальной работы) и триггеров мюонной системы. Триггер срабатывает, если сигнатура частицы указывает на высокий поперечный импульс мюонов, электронов, фотонов, струй, высокие потерянную или полную поперечную энергии и прочее. Кроме того, этот уровень триггера определяет так называемые Области Интереса (ROIs): геометрические области в координатах внутри детектора, в которых триггер обнаружил интересующий исследователей объект (частицу или струю). В дальнейшем Области Интереса используются Высокоуровневым Триггером.

Триггер второго уровня снижает частоту событий до кГц за мс. Этого времени достаточно, чтобы использовать информацию с полной детализацией от всех элементов детектора, но только внутри Областей Интереса, обозначенных триггером первого уровня.

Наконец, финальный отбор проводится Фильтром Событий, используя информацию с полной детализацией от всех элементов детектора как внутри, так и вне Областей Интереса и алгоритмы оффлайн-реконструкции. Частота событий уменьшается до Гц, что позволяет записывать информацию со скоростью около Мб/сек для её последующего анализа.

Идентификация частиц в детекторе АТЛАС



Заряженные частицы, такие как например электроны или пионы, регистрируются как в трековом детекторе, так и в электромагнитном калориметре. Треки нейтральных частиц (нейтронов, фотонов, ...) невозможно наблюдать в трековом детекторе — эти частицы регистрируют только благодаря их взаимодействию с веществом калориметров. Фотоны идентифицируют по энергии ливня в электромагнитном калориметре, а нейтроны — в адронном.

Наглядно взаимодействие различных частиц с разными детекторами можно посмотреть здесь:

http://kjende.web.cern.ch/kjende/videos/teilchenidentifikation.swf



Электрослабое взаимодействие

Единая теория слабого и электро-магнитного взаимодействий была создана в 60-х гг. Ш. Глэшоу Sh. Glashow), C. Вайнбергом (S. Weinberg), A. Саламом (A. Salam) и др. и позднее получила название стандартной теории электрослабого взаимодействия.

Согласно этой теории, Слабое взаимодействие является взаимодействием между двумя заряженными или нейтральными токами, которое происходит путём обмена промежуточными векторными бозонами (*W*⁺, *W*⁻,*Z*⁰)- массивными частицами со спином 1. *W*⁺ *u W*⁻ бозоны осуществляют взаимодействие заряженных токов, а *Z*⁰ -бозоны- нейтральных.

В стандартной модели три промежуточных бозона и фотон являются квантами векторных, т. н. *калибровочных полей,* выступающими при асимптотически больших передачах четырёхмерного импульса (q>>m_w, m_z, где m_w, m_z - массы W- и Z-бозонов в энергетических единицах) совершенно равноправно.

В практической части данной работы будет выполнен анализ событий, полученных в ppсоударениях на LHC в эксперименте АТЛАС

Программное обеспечение.

Для выполнения анализа данных в данной лабораторной работы используется программа **HYPATIA 7.3** (Hybrid Pupil's Analysis Tool for Interactions in Atlas), разработанная для образовательных целей коллективом авторов из Афинского университета и Физического института Белграда в рамках образовательного проекта ATLAS ASEC (ATLAS Student Event Challenge). (см. <u>http://hypatia.phys.uoa.gr/</u>).

Для запуска программы введите команду:

>java -jar Hypatia_7.3.jar

После загрузки программы на дисплее отобразится пользовательский интерфейс, который включает в себя четыре графических окна, содержащих всю необходимую для анализа информацию. Это окна:

•Инвариантных масс

- Канва
- Импульсов треков
- Параметров

Канва (Canvas).



Канва содержит схематично изображённые сечения установки АТЛАС в плоскостях уг и ху (ось пучков направлена вдоль оси z, ось y направлена вертикально). В центре сечений расположена вершина взаимодействия. Различные детекторы показаны разными цветами. Треки образовавшихся частиц показаны цветными линиями, распространяющимися из вершины взаимодействия через детекторы установки. Цвета треков соответствуют определенным типам частиц. Дополнительная информация об этих треках

дополнительная информация об этих треках содержится в "Track Momenta Window" (Окно Импульсов Треков), которое показывает энергию отобранных треков. Если Вы хотите объединить несколько треков, чтобы проверить, не являются ли они продуктами распада одно частицы Вы должны перейти в окно "Invariant Mass Window" (Окно Инвариантной Массы).

Окно Инвариантной Массы

Invariant Mass Window - главное аналитическое окно HYPATIA. Оно отображает выбранные (пользователем) треки для каждого события и значения их основных физических характеристик (импульс, заряд и т.д.) Для каждого события автоматически вычисляются и показываются инвариантная (или поперечная) массы для комбинаций выбранных частиц.

		····· · · · · · · · · · · · · · · · ·								
🥺 HYbrid Pupils' Analysis Tool for Interactions in ATLAS - version 7.3 - Invariant Mass Window										
File View Histograms Preferences	Help									
File Name	ETMis [GeV]	Track	P [GeV]	+/-	Pt [GeV]	φ	η	M(Iv) [GeV]	M(2I) [GeV]	M(4I) [GeV]
JiveXML_166466_63055223.xml	5,298	StacoTrackParticles 0	170,1	-	36,8	-2,574	2,211	1,236	95,217	
		StacoTrackParticles 1	249,8	+	64,9	0,069	2,024	36,307		
2										

Линейка инструментов содержит следующие меню:

File – используется для открытия файлов с данными расположенными как локально, так и в сети. В данном меню так же содержатся команды Save/Load/Clear, позволяющие управлять таблицей инвариантных масс.

View – позволяет открывать три другие окна Hypatia.

Histograms - просмотр автоматически заполняемых в процессе анализа гистограмм из списка

Preferences – настройка внешнего вида приложения (цветовые схемы Канвы, отображение

заголовков, окон со статистикой и др.)

Help – доступ к справочной online информации, поиск обновлений, сведения о программе

Окно Импульсов Треков

🧱 HYPATIA - Track Momenta Window							
File Previous Event Next Event Insert Track Delete Track Reset Canvas							
🗆 Hide Invariant Mass Wi 📮 Hide Simulated 👘 Demo Mode 👘 Find Value							
ETMis: 5,298 GeV φ: -2,663 rad Collection: MET_RefFinal 🛛 Enable Color Coding							
D:\Projects\Lab40\Lab_W\Hypatia\Hypatia_73\events\Zeemumu.zip\JiveXI 💠 ♪ ◎→ ०ね ०\%							
Reconstructed Simula	Reconstructed Simulated Physics Objects						
RecTracks RecMuon	racks						
Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	φ	8		
Tracks 0	-	10,67	2,39	-2,110	0,226		
Tracks 1	-	160,77	34,82	-2,574	0,218		
Tracks 2	-	7,69	1,75	1,800	2,912		
Tracks 3	+	235,57	61,21	0,069	0,263		
Tracks 5	-	2,15	2,14	2,008	1,449		
Tracks 10	+	2,95	2,92	1,139	1,713		
Tracks 12	-	1,51	1,44	2,287	1,261		
Tracks 18	+	1,48	1,47	1,537	1,667		
Tracks 32	+	17,43	4,23	-2,056	0,245		
Tracks 34	-	2,12	1,67	1,663	2,235		
Tracks 36	+	1,81	1,37	2,217	2,279		
Tracks 39	+	3,38	3,37	2,156	1,667		
Tracks 40	+	2,86	2,77	2,299	1,820		
Tracks 42	+	2,13	2,10	2,281	1,744		
Tracks 43	-	1,55	1,45	2,307	1,929		

Track Momenta Window показывает заряды,

импульсы и др. кинематические переменные для

всех, использованных для анализа треков.

Кнопки Track Momenta Window:

Previous/Next Event - загрузить предыдущее/

следующее событие

Insert/Delete - Вставить/удалить трек в окно

Инвариантной Массы для анализа

Enable Color Coding – подсветка строк в

таблице соответствии с цветами частиц

Окно Импульсов Треков

Меню команд Track Momenta Window:

Вкладка Reconstructed

- **RecTracks** показывает все треки реконструированные во внутреннем детекторе и все треки мюонов в текущем событии
- RecMuonTracks. показывает все треки мюонов, реконструированные в мюонной системе
- в текущем событии

Вкладка Simulated

- **ID Tracks** показывает все треки смоделированные во внутреннем детекторе в текущем событии
- SimMuonTracks показывает все треки мюонов, смоделированные в мюонной системе в текущем событии
- SimNeutralCollection показывает все смоделированные нейтральные треки в текущем событии

Вкладка Physics Objects

- JetCollection. показывает все струи. Все физические объекты показываются как отметки по периметру детектра.
- ElectronCollection показывает все электронные физические объекты.
- ObjectMuonCollection показывает все мюонные физические объекты.

Окно контроля

Control Window содержит следующие меню команд:

Interaction and Window Control содержит кнопки и меню для работы с Канвой, в частности позволяющие задавать количество окон внутри Канвы и их взаимное расположение, вращать, увеличивать/уменьшать элементы Канвы, активировать функцию просмотра "Рыбий Глаз", активировать курсор с вплывавшим меню, содержащим информацию об объекте и ряд других.

Output Display - используется в качестве замены стандартного устройства вывода. Вводит в текстовой форме список проанализированных объектов в событии и их количество.

🧱 HYPATIA - Control Window 📃 🗌									
Parameter Control Interaction and Window Control Output Display									
Projection	Data	Cuts	InDet Calo	MuonDet	Objects	Geometry			
LegoPlot	YX		Nam	e		Value	2		
Residual Event Info	Φη οΖ	Viev	View			ndard	•		
	Φp	Sum	med LAr binning		0.1x	0.1	_		
	ΦZ	ρZ P	pZ Projection binning Eta of split binning			0.2x0.2			
	YZ	- Eta (2.5			
	3DBox		Draw FCAL inside	HEC					

Окно контроля

Parameter Control – обеспечивает возможность просмотра различных параметров и их изменения. Параметры объединены в несколько групп, доступ к которым осуществляется через вкладки:

- Projection выбор проекций и параметра их отображения в окне Canvas.
- Data определение типов используемых в анализе данных и порядок их отображения
- Cuts позволяет накладывать ограничения на физические величины отобранных данных.
- InDet выбор отображаемых наборов данных во Внутреннем детекторе и определение вариантов их графического представления.
- Calo выбор отображаемых наборов данных в калориметрах и определение вариантов их графического представления.
- MuonDet выбор отображаемых наборов данных в Мюонной системе и определение вариантов их графического представления.
- Objects определяет набор отображаемых объектов (мюоны, электроны и т.д.), их цвета и варианты изображения (цвет, тип линий и т.д.).
- Geometry определяет набор отображаемых детекторов, их цвета и варианты изображения.

Примеры реконструкции событий

Далее рассмотрим несколько событий, содержащие типичных кандидатов в W, Z⁰, H – бозоны.

Для поиска данных частиц будем использовать следующие их каналы распада:

- W→ev
- W→μν
- Z→ee
- Z→µµ
- H \rightarrow eeee, H \rightarrow µµµµ, or H \rightarrow eeµµ

В реальном эксперименте основную часть составляют обычно фоновые события. Примеры таких событий мы также рассмотрим

Пример события – кандидата в распад W → µv



Отметим высокое значение недостающего поперечного импульса (38 ГэВ) — свидетельство наличия нейтрино в событии.

 $W \rightarrow \mu v$



Здесь явно виден мюон (или антимюон). Его трек противоположен направлению недостающей энергии. Это свидетельство распада W на мюон и нейтрино.

 $W \rightarrow ev$



Сигнатура электрона с высоким рТ и нейтрино (недостающий поперечный импульс 39 ГэВ), летящих в противоположных направлениях.

 $W \rightarrow ev$



Трек во внутреннем детекторе, заканчивающийся ливнем в электромагнитном калориметре и не имеющий продолжения в адронном, можно идентифицировать как электрн. Информация от окна с параметрами треков говорит нам о том, что это именно электрон, а не позитрон (отрицательный знак заряда).



Событие не является сигнальным по нескольким причинам:

- Слишком много частиц
- Значение недостающего поперечного импульса слишком мало для сигнатуры нейтрино.

Струи



Зум: множество неизолированных частиц

Выполнение лабораторной работы

- Для закрепления приведенного материала необходимо выполнить ряд заданий и ответить на вопросы.
- Лабораторная работа выполняется на компьютерах под управлением OC Linux, на которых установлены HYPATIA и другие необходимые программы.
 Здесь же содержатся файлы с экспериментальными данными, предназначенные для обработки.
- Во время выполнения работы слушатель запускает программу для анализа экспериментальных данных **HYPATIA** и на практике проводит анализ реальных физических событий в эксперименте АТЛАС.
- Полное описание процедуры выполнения работы, задания и контрольные вопросы к ней собраны в отдельном документе методических указаниях по выполнению работы.