

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

УДК 539

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Изучение образования пар векторных мезонов в ультрапериферических
столкновениях тяжелых ионов в условиях эксперимента ATLAS

Руководитель НИР,
к.ф.-м.н.

_____ С.Л. Тимошенко

Студент

_____ О.Д. Гавва

Москва 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Физика ультрапериферических столкновений тяжелых ионов.....	5
2 Работа с GRID.....	7
3 Изучение образования пар векторных мезонов в ультрапериферических столкновениях	9
Заключение.....	14
Список используемых источников.....	15

Введение

Для исследования кварк-глюонной материи предпочтительнее использовать в качестве сталкивающихся частиц не адроны, а ядра, так как повышается плотность и радиус горячей области взаимодействующих частиц. Принято выделять центральные столкновения — характеризуются наибольшим перекрытием сталкивающихся ядер, периферические — определяются прицельным параметром $b > 1$ фм, а также ультрапериферические — отличающиеся прицельным параметром $b > R_A + R_B$, где R_A и R_B — радиусы сталкивающихся ядер, т.е. такие взаимодействия, при которых ядра практически не перекрываются. При таких прицельных параметрах сильные взаимодействия не являются доминирующими, поскольку ядерная плотность в области взаимодействия уже достаточно мала. Конкуренцию сильным взаимодействиям могут составить когерентные фотон-фотонные, фотон-померонные и померон-померонные взаимодействия ядер. Когерентность для фотонных полей означает, что поле связано целиком с зарядом ядра, а не с зарядами отдельных протонов, входящих в состав ядра. Точно так же когерентное померонное поле связано с сильными взаимодействиями всех нуклонов ядра.

В ультрапериферических взаимодействиях могут рождаться векторные мезоны: ρ , J/ψ и другие; электронные и мюонные пары, а также возможно изучение других процессов, не связанных с рождением частиц.

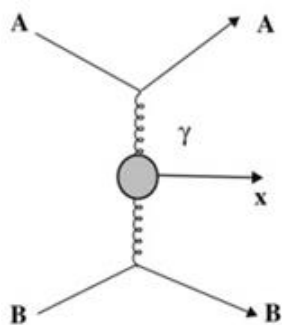
Электромагнитные поля ультрарелятивистских тяжелых ионов можно рассматривать как поля виртуальных фотонов. Когда два ядра проходят мимо при малых параметрах удара, фотонное поле ядра может вызвать фотоядерное взаимодействие в другом ядре. В большинстве исследований фотоядерных реакций при столкновении тяжелых ионов рассматриваются сложные взаимодействия, такие как образование тяжелых кварков или фотоядерный распад. Здесь мы рассматриваем исключительно реакцию

$A + A \rightarrow A + A + V$, где A – тяжелое ядро, а V – векторный мезон. Эта реакция может протекать через фотон-померонные или фотон-мезонные взаимодействия, когда фотон исходит из электромагнитного поля одного ядра, а померон или мезон соединяется с другим ядром.

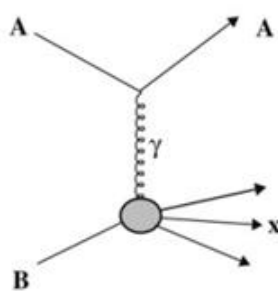
Целью данной работы является изучение образования пар векторных мезонов, таких как $\rho^0\rho^0$, ρ^0J/ψ в ультрапериферических столкновениях ядер на детекторе ATLAS. При этом мы намерены учитывать во внимание распад пары векторных мезонов $\rho^0\rho^0$ на четыре заряженных пиона.

1 Физика ультрапериферических столкновений тяжелых ионов

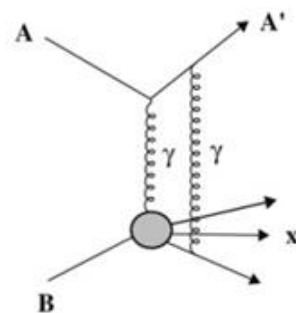
Движущиеся высокозарядные ионы несут сильные электромагнитные поля, которые действуют как поле фотонов. В столкновениях при больших ударных параметрах адронные взаимодействия невозможны, и ионы взаимодействуют через фотон-ионные и фотон-фотонные столкновения, известные как ультрапериферические столкновения (УПС). Кроме того, возможны также фотоядерные столкновения, когда один излучаемый фотон взаимодействует с составной частью другого ядра. Эти два процесса проиллюстрированы на рисунке 1.1 и 1.2. На этих диаграммах ядро, испускающее фотон, остается неповрежденным после столкновения. Тем не менее, это возможно, чтобы получить ультрапериферическое взаимодействие, в которых один или оба ядра распадаются. Распад может произойти в результате обмена дополнительным фотоном, как показано на рисунке 1.3. При расчетах ультрапериферических столкновений обычно требуется, чтобы прицельный параметр удара был больше суммы двух ядерных радиусов, $b > R_A + R_B$. Строго говоря, ультрапериферическое электромагнитное взаимодействие может происходить одновременно с адронным столкновением. Однако, поскольку в таких столкновениях невозможно разделить адронную и электромагнитную компоненты, адронные компоненты исключаются сокращением параметра удара.



1.1



1.2



1.3

Рисунок 1: Схематическое представление 1.1 - электромагнитного взаимодействия, при котором фотоны, испускаемые ионами, взаимодействуют друг с другом, 1.2 - фотонно–ядерной реакции, при которой фотон, испускаемый ионом, взаимодействует с другим ядром, 1.3 - фотоядерной реакции с распадом ядра вследствие фотонного обмена.

Адронные коллайдеры, такие как Релятивистский Коллайдер Тяжелых Ионов (RHIC), Теватрон и Большой Адронный Коллайдер (LHC) производят фотоядерные и двухфотонные взаимодействия при светимостях и энергиях, превышающих те, которые доступны в других местах. Уже изучены такие разнообразные реакции, как образование антиводорода, фотообразование ρ^0 , превращение свинца в висмут и возбуждение коллективных ядерных резонансов. На LHC ультрапериферические столкновения могут изучать многие виды “новой физики”.

2 Работа с GRID

CERN - одна из самых требовательных вычислительных сред в мире исследований. От разработки программного обеспечения до обработки и хранения данных, сетей, поддержки экспериментальных программ на LHC и не на LHC, автоматизации и управления, а также услуг для ускорительного комплекса и для всей лаборатории, и ее пользователей - вычисления лежат в основе инфраструктуры CERN.

Worldwide LHC Computing Grid (WLCG) – распределительная вычислительная инфраструктура, используемая в CERN. Центром обработки данных CERN является WLCG. Миссия WLCG заключается в предоставлении глобальных вычислительных ресурсов для хранения, распределения и анализа данных, генерируемых LHC. WLCG объединяет вычислительные ресурсы около 900 000 компьютерных ядер из более чем 170 сайтов в 42 странах, создавая массивную распределенную вычислительную инфраструктуру, которая предоставляет физикам по всему миру доступ к данным LHC почти в реальном времени с возможностью обработки данных. WLCG выполняет более 2 миллионов задач в день и по окончании второго прогона LHC глобальная скорость передачи данных регулярно превышает 60 ГБ/с. Эти цифры будут увеличиваться с течением времени и по мере того, как вычислительные ресурсы и новые технологии становятся все более доступными во всем мире.

Настройка работы с использованием Worldwide LHC Computing Grid очень сложная и требует умение работы с некоторыми инструментами анализа, используемыми для анализа xAOD в рамках EventLoop или Athena с системой сборки cmake, а также со знанием языков программирования C++, Python и консольных команд Linux. Сложность работы заключается в некоторых факторах. Во-первых, то, что отладка программы занимает длительное время по причине отсутствия локального компилятора и время

выполнения самой задачи в GRID может варьироваться, в зависимости от нагрузки на различных участках сети GRID. Еще одной причиной является то, что сама обработка больших данных требует создания сложных алгоритмов с применением специально разработанных функций из библиотек Atlas, при этом документация и инструкции по программному обеспечению Atlas требуют знание профессионального английского языка по программированию.

На данный момент код для запуска работы в GRID отработан. Работа с GRID налажена и для дальнейшего изучения процесса образования и идентификации пар векторных мезонов требует нововведений и дополнений в коде анализа.

3 Изучение образования пар векторных мезонов в ультрапериферических столкновениях

Для анализа образования пар векторных мезонов необходимо осуществить поиск четырехчастичных событий. Существует несколько каналов распада пар векторных мезонов:

- 1) $\rho^0 \phi \rightarrow \rho K_L K_S \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ \pi^-$
- 2) $\rho^0 \omega \rightarrow (\omega \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0) \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ \pi^-$
- 3) $\rho^0 \rho^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ \pi^-$
- 4) $\rho^0 J/\psi \rightarrow \pi^+ \pi^- + \mu^+ \mu^- (e^+ e^-)$

На данном этапе работы мы будем рассматривать распад пары ρ^0 – мезонов. Ранее были получены гистограммы по распределению количества треков в событии, в которых мы можем наблюдать наличие четырехчастичных распадов, согласно рисунку 2.

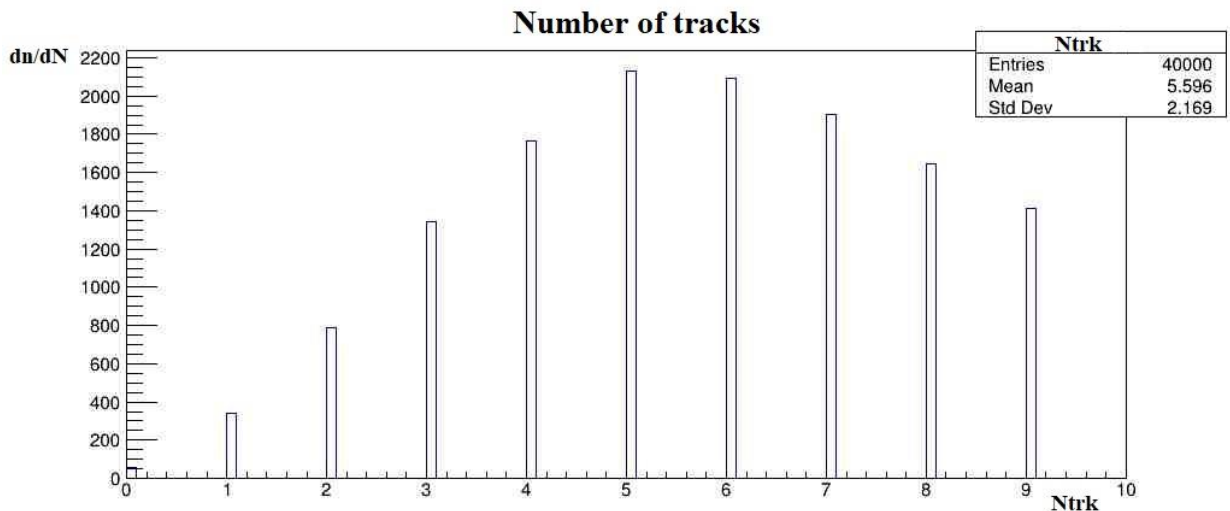


Рисунок 2: распределение количества треков в событии

Для нашего анализа мы рассматриваем условие для треков только с первыми четырьмя бинами. Зная, что пара ρ^0 – мезонов распадается на четыре

заряженных пиона, мы предполагаем, что четыре трека являются заряженными пионами и задаем их массу. С учетом заданной массы мы строим распределения для инвариантных масс по формуле четырех-вектора для всех возможных случаев зарядов частиц, учитывая при этом, что суммарный заряд четырех пионов равен нулю.

В работе производится анализ эксперимента 2018 года на детекторе ATLAS, полученного при ультрапериферических столкновениях тяжелых ядер свинца с энергией 5.02 ТэВ/нуклон.

В ходе работы были получены гистограммы по распределению инвариантной массы, по псевдобыстроте η , азимутальному углу ϕ и характерному распределению поперечному импульса p_t всех четырехчастичных событий, согласно рисункам 3,4,5,6 соответственно.

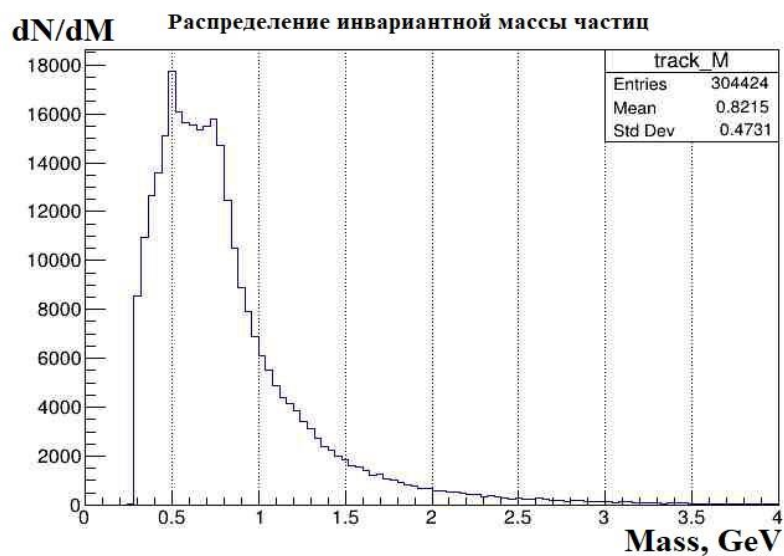


Рисунок 3: Распределение инвариантной массы

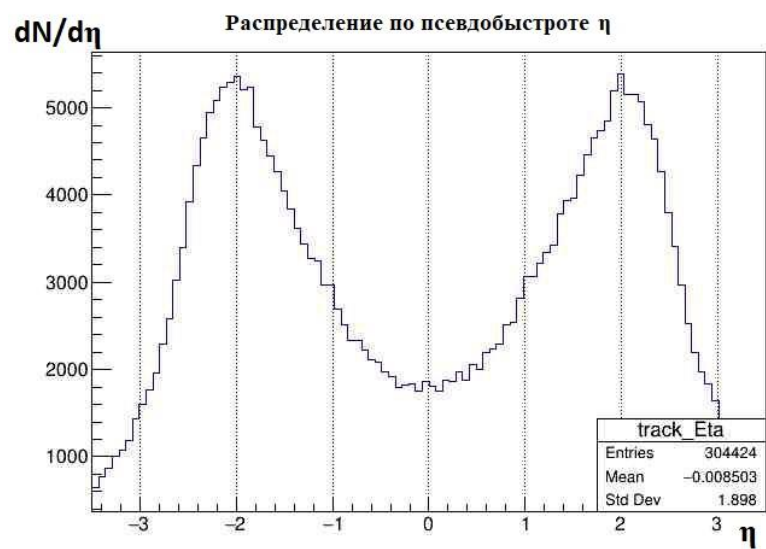


Рисунок 4: распределение по псевдобыстроте η

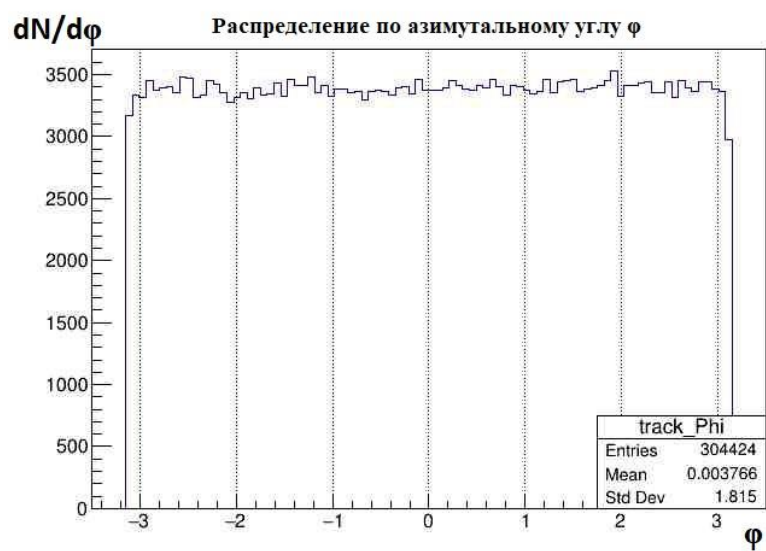


Рисунок 5: распределение по азимутальному углу ϕ

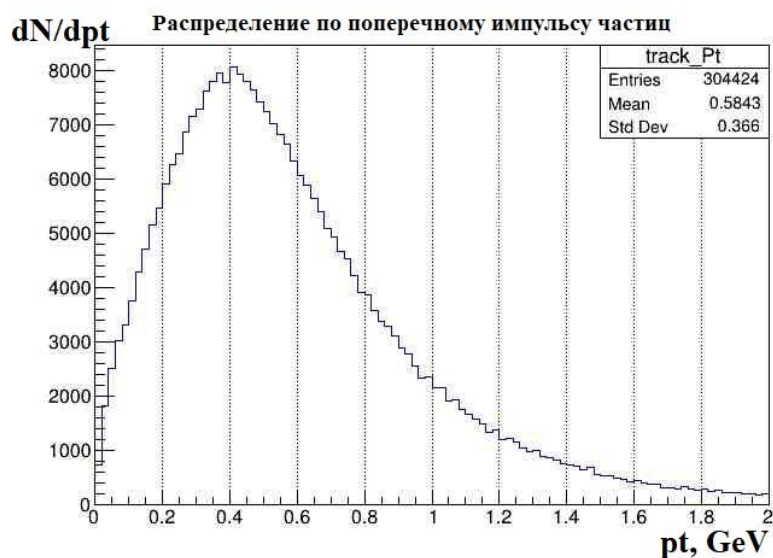


Рисунок 6: распределение по поперечному импульсу p_t

Так же были получены двухмерные гистограммы по распределению инвариантной массы четырех частиц и распределение по псевдобыстроте η четырех частиц, согласно рисункам 7,8 соответственно.

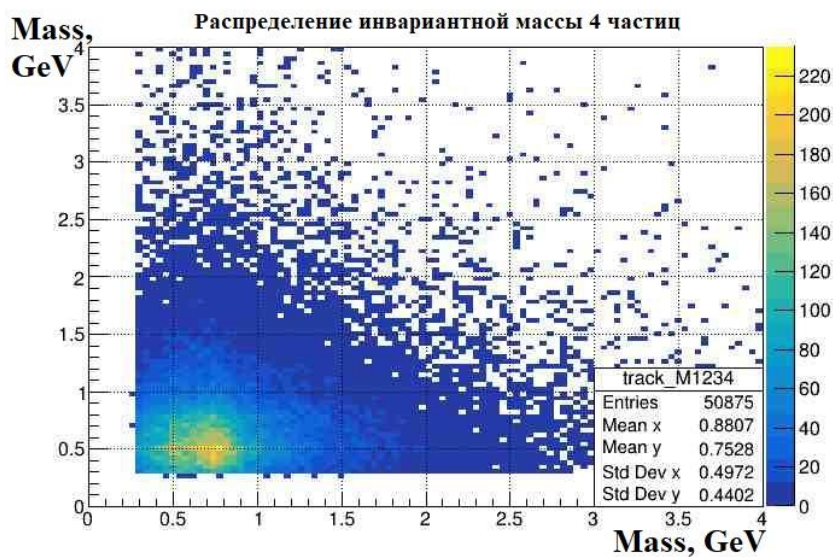


Рисунок 7: распределение инвариантной массы четырех частиц

На гистограммах по распределению инвариантной массы мы можем наблюдать характерные пики, которые соответствуют определенным

частицам, пик 0.5 ГэВ соответствует K_S , пик 0.7 ГэВ принадлежит ρ^0 -мезонам.

Поскольку нас интересует только образование пар векторных ρ^0 -мезонов, необходимо избавиться от лишних фонов, таких как K_S -мезон, для этого в дальнейшем анализе необходимо добавить триггер, учитывать особенности идентификации пар векторных мезонов, добавить кинематические ограничения и дополнительные условия. Также для получения большей статистики необходимо получение данных в ходе работы с GRID.

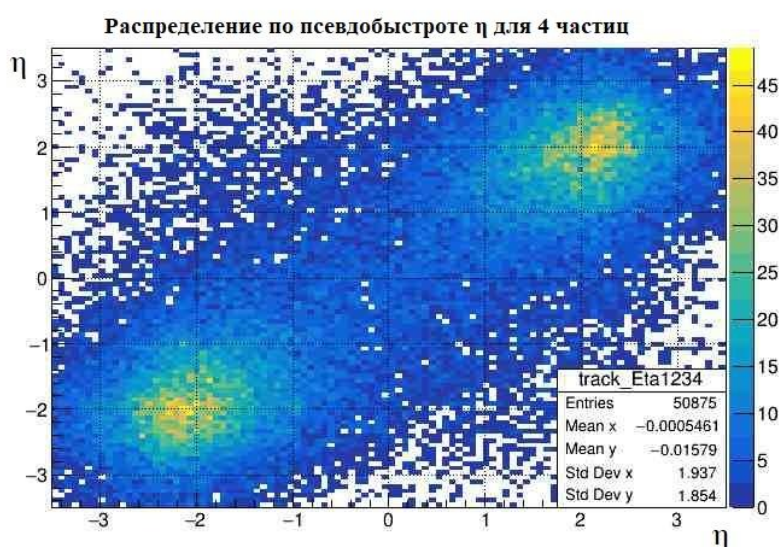


Рисунок 8: распределение по псевдобыстроте η для четырех частиц

Заключение

В ходе данной работы был разработан код для изучения анализа четырехчастичных событий с образованием пары ρ^0 –мезонов в ультрапериферических столкновениях. Настройка работы в GRID завершена и требует нововведений в код анализа для последующего использования триггера и увеличения статистики.

В ходе работы были получены гистограммы по распределению инвариантной массы частиц, по псевдобыстроте η , азимутальному углу ϕ и характерному распределению поперечному импульса p_t четырех частиц. С помощью данных гистограмм была получена более подробная информация о родительских частицах в четырехчастичных распадах.

Дальнейшая работа состоит из развития кода для анализа четырехчастичных событий, поиска и идентификации сигналов от образования других пар векторных мезонов. В дальнейшем изучении необходимо будет включить в анализ триггер для исключения образования фонов, для введения кинематических ограничений и дополнительных условий для анализа.

Список используемых источников

1. Carlos A. Bertulani, Spencer R. Klein and Joakim Nystrand «Physics of Ultra-Peripheral Nuclear Collisions» (2005), arXiv:0502005v2 [nucl-ex]
2. A.J. Baltza , G. Baurb , D. d'Enterriac , L. Frankfurtd , F. Gelise , V. Guzeyf,w, K. Henckeng,h,1 , Yu. Kharlovi , M. Klasenj , S.R. Kleink , V. Nikulinl , J. Nystrandm, I.A. Pshenichnovn,o , S. Sadovskyi , E. Scapparonep , J. Segerq , M. Strikmanr , M. Tverskoyl , R. Vogtk , S.N. Whitea , U.A. Wiedemannu , P. Yepesv, M. Zhalov «The physics of ultraperipheral collisions at the LHC» (2007), arXiv:0706.3356 [nucl-ex]
3. ATLAS Collaboration, The ATLAS Experiment at the CERN Large Hadron Collider, JINST 3 (2008) S08003
4. Spencer R. Klein and Joakim Nystrand «Exclusive Vector Meson Production in Relativistic Heavy Ion Collisions» (1999)