

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

УДК 539.17

ОТЧЁТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РЕКОНСТРУКЦИИ π^0 МЕЗОНОВ В
ЭКСПЕРИМЕНТЕ «ALICE» ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРА PHOS В RUN3**

Научный руководитель
к.ф.-м.н., рук. отд. НИЦ КИ

_____ Д. С. Блау

Студент

_____ Г. Е. Фоменко

Москва 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	2
Эксперимент «ALICE»	3
Фотонный спектрометр (PHOS)	4
Физика процесса	5
Описание моделирования	6
Результаты	9
Заключение	12
Список используемых источников	13

ВВЕДЕНИЕ

Основной целью и задачей данной работы восстановление и измерение спектров π^0 мезонов в эксперименте «ALICE». В работе рассмотрена обработка датасетов данных сеанса RUN3, обработанных с помощью программного обеспечения O2. В работе восстановлены значения инвариантных масс π^0 мезона для различных P_t бинов. Для обработки данных применялся пакет программ ROOT с библиотеками O2 и O2-sim для работы с классами и типами данными применяющихся в среде моделирования.

В работе рассмотрены данные от столкновения pp на энергиях 13.6 ТэВ. Были рассмотрены разные сеансы работы ALICE в RUN3 объединенные в периоды (датасеты). В рамках подготовки к запуску RUN3 была модернизирована инфраструктура, для непрерывного режима сбора информации о событиях. PHOS не был переведен на данный режим работы из-за особенности конструкции детектора. Для обеспечения непрерывной обработки данных создано новое программное обеспечение O2.

Все вышеописанное является мотивацией для проведения работы по проверке работы детектора после запуска нового сеанса.

ЭСПЕРИМЕНТ «ALICE»

Эксперимент «ALICE» изначально был спроектирован для эффективно-го исследования столкновений тяжелых ионов (Свинец) и протонов, поэтому основу данных «ALICE» составляют столкновения тяжелых ионов, имеющих энергию в системе центра масс порядка 2.76 ТэВ и 5.02 ТэВ на пару нуклонов.

Исследования проекта затрагивают широкий спектр явлений в области физики высоких энергий, в том числе затрагиваются такие вопросы как: исследование кварк-глюонной плазмы, что является основной целью эксперимента. В ходе столкновения образуется такое состояние материи как кварк-глюонная плазма, в таком состоянии была наша вселенная в момент времени 10^{-5} с с момента Большого Взрыва, существование данного состояния вещества и его свойства – это ключевой вопрос для объяснения явления «конфайнмент», которое заключается в том, что мы не можем наблюдать кварки в чистом виде, а только их агрегаты, состоящие из двух (мезоны) , трех (барионы) кварков.

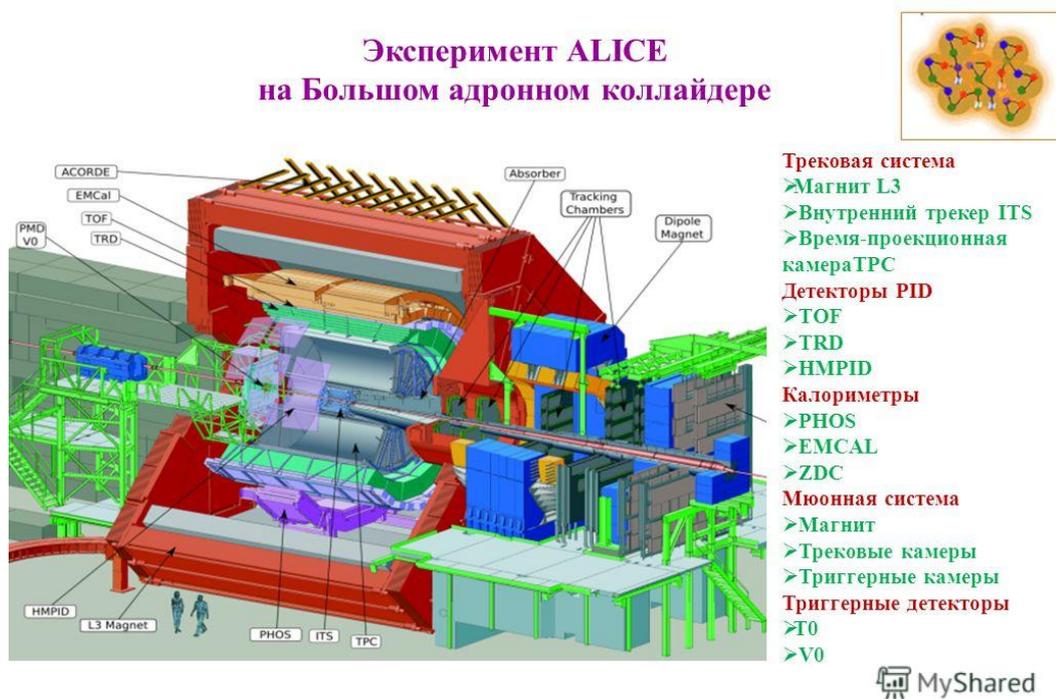


Рисунок 1 — Схема эксперимента «АЛИСА»

ФОТОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР (PHOS)

Фотонный спектрометр «PHOS», обеспечивает получение важной информации о материи, образующейся при взаимодействии встречных пучков тяжелых ионов высоких энергий. Он позволяет регистрировать, во-первых, прямые фотоны при энергиях выше 1 ГэВ. А во-вторых, π^0 и η^0 – мезоны по их двухфакторным распадам.

Спектрометр представляет собой сложную сегментированную систему с площадью чувствительной поверхности 6 м² и примерно 12500 измерительных каналов на основе сцинтилляционных кристаллов вольфрамата свинца PbWO₄. Для таких целей требуются специфические кристаллы, у которых низкая радиационная длина (влияет на компактность) и малый радиус Мольера, который соответствует поперечному размеру электромагнитного ливня.

Детектор «PHOS» состоит из набора кристаллов PbWO₄ размерами 22 × 22 × 180 мм³, ориентированными торцами к потоку регистрируемого излучения. Ливни, возникающие в кристаллах под действием фотонов высоких энергий, преобразуются в сцинтилляционное световое излучение, регистрируемое pиn-диодом. [1]

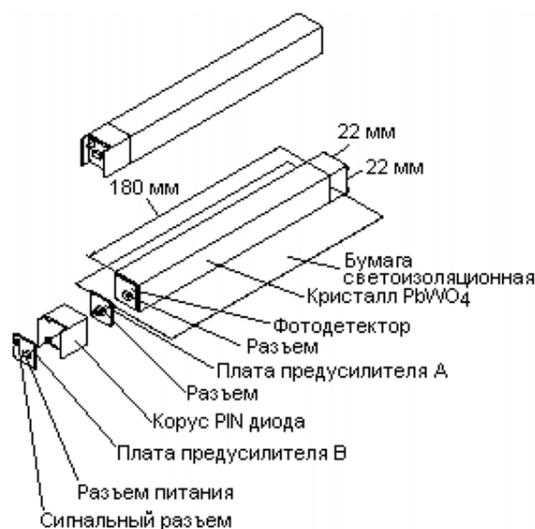


Рисунок 2 — Схема детектирующего элемента спектрометра «PHOS»

ФИЗИКА ПРОЦЕССА

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ЛИВЕНЬ

Электроны, позитроны и гамма-кванты рожают в веществе калориметра электромагнитные ливни (рис. 1). При энергии > 1 ГэВ основной процесс для фотона – рождение электрон-позитронной пары, для электрона (позитрона) – рождение тормозного фотона. При этом оба процесса уже мало зависят от энергии частицы. Рассмотрим формирование электромагнитного ливня на примере влетающего в калориметр фотона. Влетающий в калориметр фотон рождает электрон-позитронную пару. В свою очередь, если энергия электронов (позитронов) больше критической, они производят тормозное излучение (фотоны). Количество частиц в ливне будет быстро расти, пока средняя энергия не понизится до критической и основным механизмом для заряженных частиц не станет ионизация.

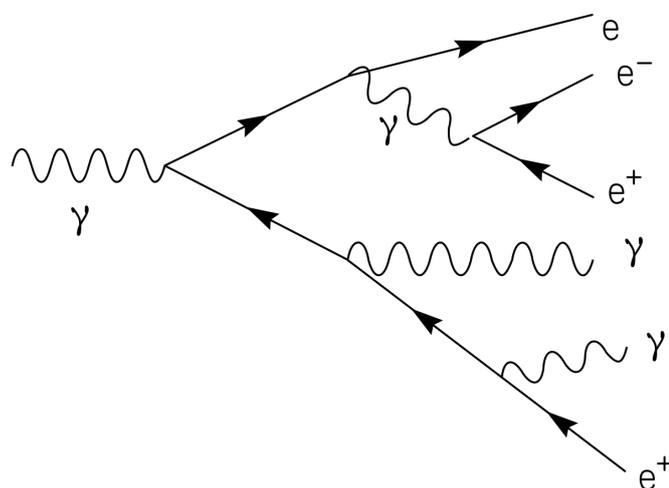


Рисунок 3 — Схема электромагнитного ливня

ОПИСАНИЕ АНАЛИЗА ДАННЫХ

Для получения спектра π^0 -мезонов необходимо:

- Определить форму фона.
- Вычесть фон из спектра инвариантных масс, оставив полезный сигнал.
- Проверить датасеты на разных P_t бинах для выявления отклонений в рамках одного периода.
- Сверить друг с другом разные периоды между собой для проверки возможности их объединения для получения наиболее качественного спектра.
- Необходимо провести Монте-карло моделирование для определения эффективности регистрации детектора.
- Отношение сырого спектра и эффективности даст нам полностью скорректированный спектр.

В работе рассмотрена обработка периодов сеанса RUN3. Искомые величины:

- Спектр инвариантных масс
- Положение и ширина мезонного пика
- Относительный выход π^0

Начальные данные представлены распределениями:

Real – комбинация всех пар фотонов принадлежащих к одному событию, сумма вклада фона и полезных событий $R = BG + \pi^0$.

Mixed – комбинация пар фотонов не принадлежащих к одному событию $M = W * BG$, где W – поправка для учета нормировки распределения mixed.

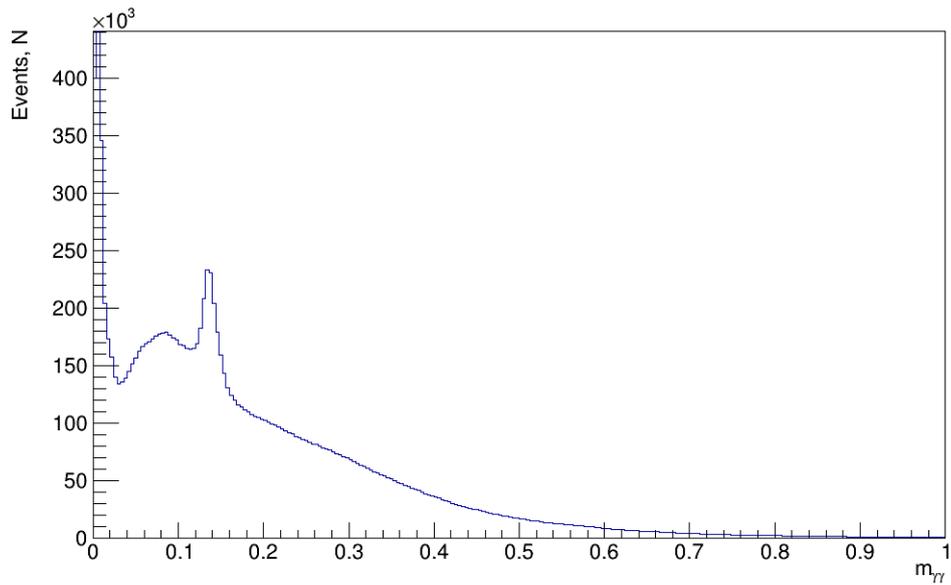


Рисунок 4 — Исходное Real – распределение

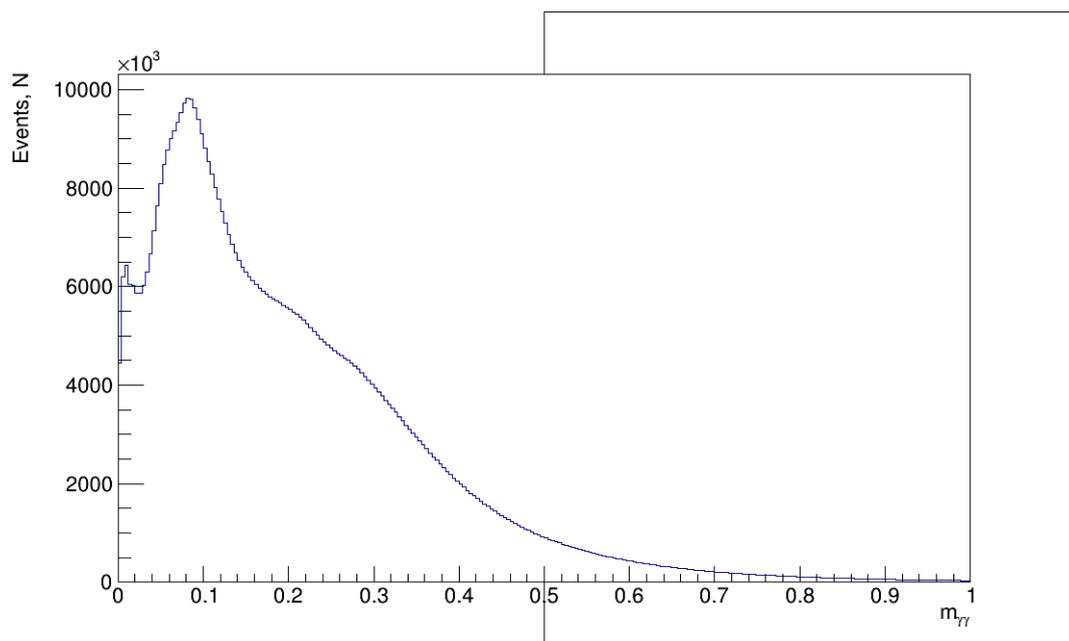


Рисунок 5 — Исходное Mixed – распределение

Для получения нужной информации необходимо создать алгоритм, убирающий вклад фона в итоговый сигнал для аппроксимации π^0 пика.

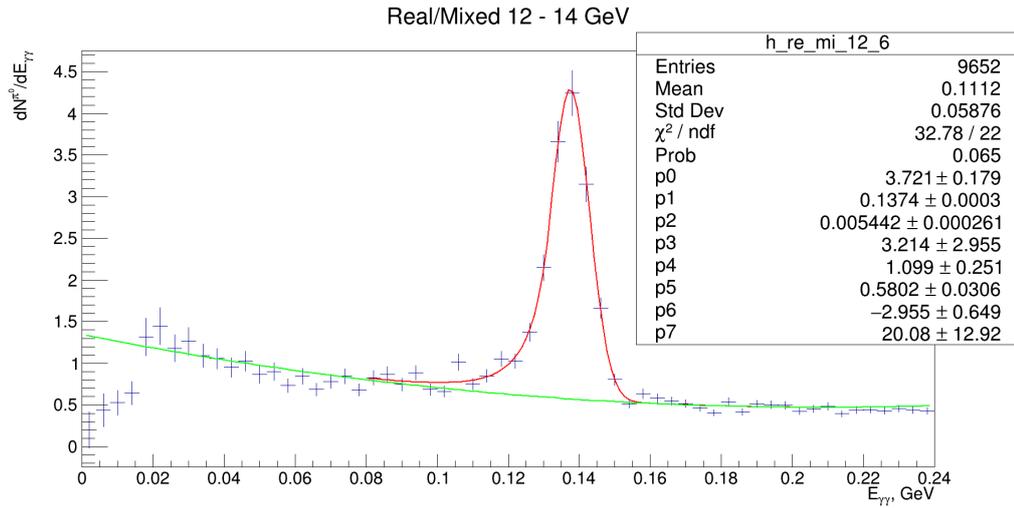


Рисунок 6 — Аппроксимация сигнала Real/Mixed

Для получения полезного сигнала, спектра инвариантных масс с вычтенным фоном, необходимо определить форму фонового сигнала, ее можно получить, аппроксимируя отношение распределений Real и Mixed.

$$\frac{R}{M} = \frac{BG + \pi^0}{W * BG} = \frac{1}{W} + \frac{\pi^0}{W * BG} \quad (1)$$

где, $\frac{1}{W} = pol(2)$.

Для аппроксимации сигнала выбрана функция Crystall Ball (CB), так как форма мезонного пика не симметрична из-за вклада конверсионных процессов на материале детектора.

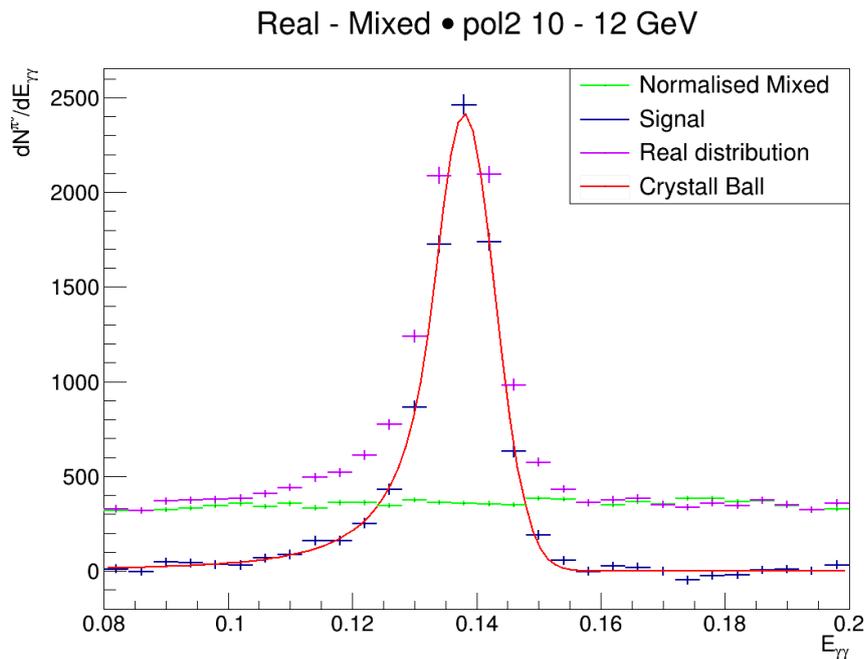


Рисунок 7 — Получение сигнала события (с подавлением фона)

РЕЗУЛЬТАТЫ

В рамках проведенной работы, были обработаны экспериментальные данные столкновений pp с энергией в СЦИ 13.6 ТэВ.

Было восстановлено положение мезонного пика с вычтенным фоном для всех P_t бинов на различных периодах.

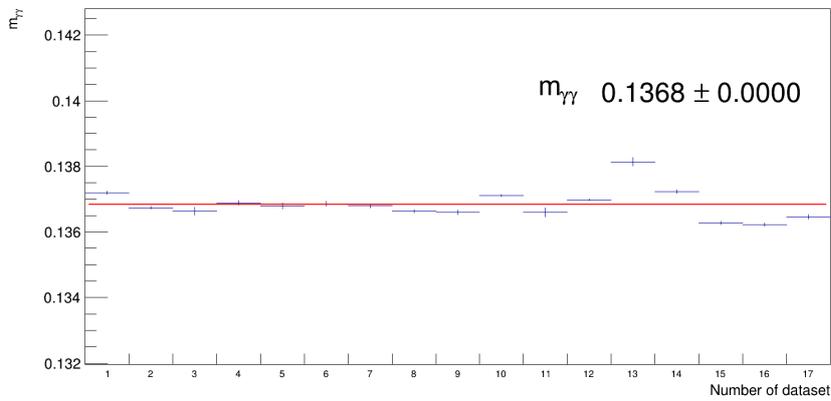


Рисунок 8 — Значения $m_{\gamma\gamma}$ для различных периодов в P_t бине 4 – 6 ГэВ

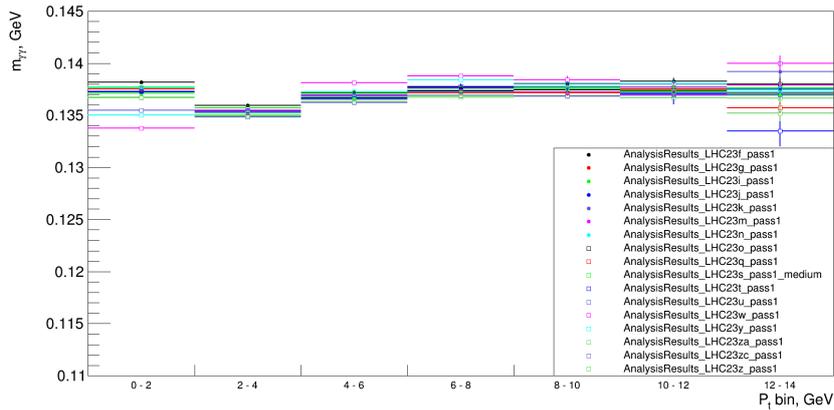


Рисунок 9 — Значения $m_{\gamma\gamma}$ для различных периодов во всех P_t бинах

Полученные данные говорят о том, что функция $CB + \text{pol}(2)$ с подобранными параметрами стабильно восстанавливает значение инвариантной массы π^0 -мезонов для всех периодов.

Были также получены величины ширин мезонных пиков для различных периодов на всех P_t бинах.

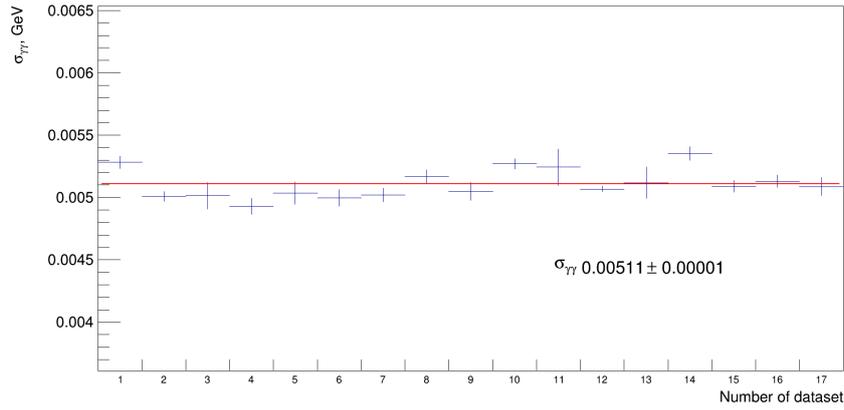


Рисунок 10 — Значения $\sigma_{\gamma\gamma}$ для различных периодов в P_t бине 4 – 6 ГэВ

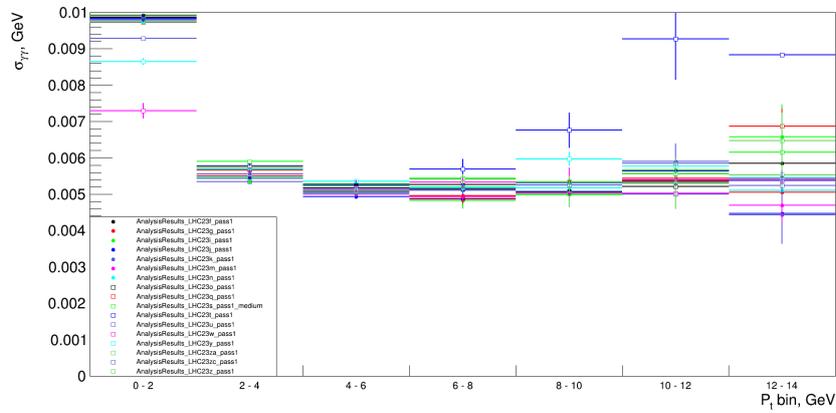


Рисунок 11 — Значения $\sigma_{\gamma\gamma}$ для различных периодов во всех P_t бинах

Полученные данные говорят о том, что функция $CB + \text{pol}(2)$ с подобранными параметрами стабильно восстанавливает значение ширины мезонного пика для всех периодов. Это говорит об устойчивой форме распределения вне зависимости от диапазона и P_t бина.

В целом, полученные выше данные говорят о возможности сложения датасетов между собой (за исключением u,w,y) для получения более качественного итогового спектра π^0 для проверки работы детекторов после запуска RUN 3.

В рамках проведенной работы был получен относительный выход π^0 -мезонов, как отношение интеграла аппроксимирующей функции в диапазоне $\pm 3\sigma$ к общему числу зарегистрированных частиц.

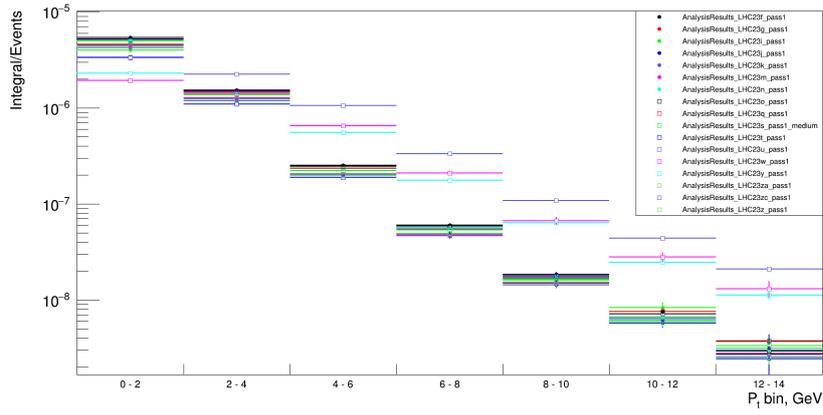


Рисунок 12 — Значения относительного выхода π^0 для различных периодов во всех P_t бинах

Из полученных данных можно сделать вывод, что функция $CB + \text{pol}(2)$ стабильно восстанавливает эту величину для всех P_t бинов, как и ожидалось, число зарегистрированных частиц падает экспоненциально с P_t , кроме датасетов u , w , y , для которых наблюдаются сильные систематические отклонения — завышение выхода π^0 -мезонов по сравнению с другими периодами.

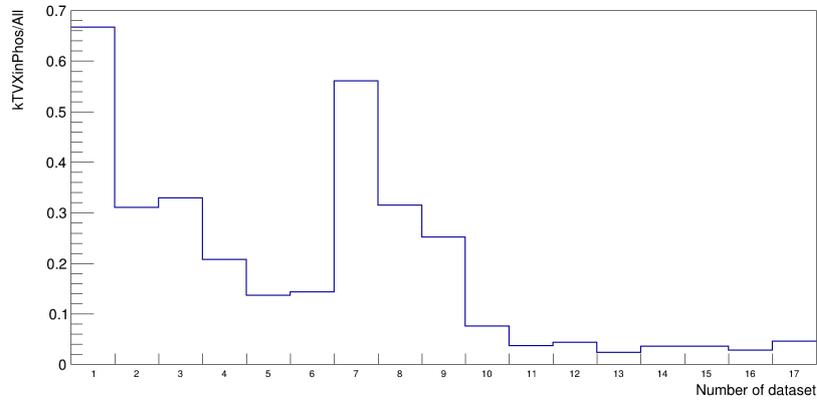


Рисунок 13 — Отношение числа зарегистрированных событий к всем событиям

В рамках данной работы были получены данные об относительном вкладе зарегистрированных частиц к общему потоку частиц от столкновений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной работы были обработаны данные столкновения $pp \sqrt{s} = 13.6 \text{ TeV}$. В рамках проведенной работы были получены:

- Значения инвариантных масс $m_{\gamma\gamma}$
- Величина ширины мезонного пика
- Относительный выход π^0 -мезонов
- Отношение числа зарегистрированных событий к всем событиям

В дальнейшем планируется провести монте-карло моделирование, для определения значения эффективности детектора и получения спектра π^0 -мезонов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Gustafsson H.-A.* The ALICE experiment at the CERN LHC // Journal of Instrumentation. — 2008. — т. 3. — с. 88—91.
2. *Howard A.* Geant4 User's Guide for Application Developers. — 2007.
3. *Halterman R. L.* Fundamentals of Programming C++. — School of Computing Southern Adventist University, 2018.
4. *Acharya S.* Calibration of the photon spectrometer PHOS of the ALICE experiment // Journal of instrumentation. — 2019. — т. 14.
5. *Berger F.* Particle identification in modular electromagnetic calorimeters. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. — 1992. — с. 152—164.
6. GEANT4—a simulation toolkikt. GEANT4. A Simulation toolkit / S. Agostinelli [и др.] // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., A. — 2003. — т. 506, № 3. — с. 250—303.