

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

УДК 539.121.667

ОТЧЁТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

**Разработка и оптимизация методов реконструкции данных с фотонного
спектрометра PHOS эксперимента ALICE**

Научный руководитель

к.ф.-м.н.,

_____ Д.С. Блау

Студент

_____ П. А. Бахтин

Москва 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	2
Устройство программного пакета О2	4
Отбор физически некорректных событий	10
Выводы	14
Список используемых источников	15

ВВЕДЕНИЕ

Эксперимент ALICE (A Large Ion Collider Experiment) — один из 4 детекторов на Большом адронном коллайдере, создан для исследования свойств материи, возникающей при ультрарелятивистских столкновениях тяжелых ионов. [1]

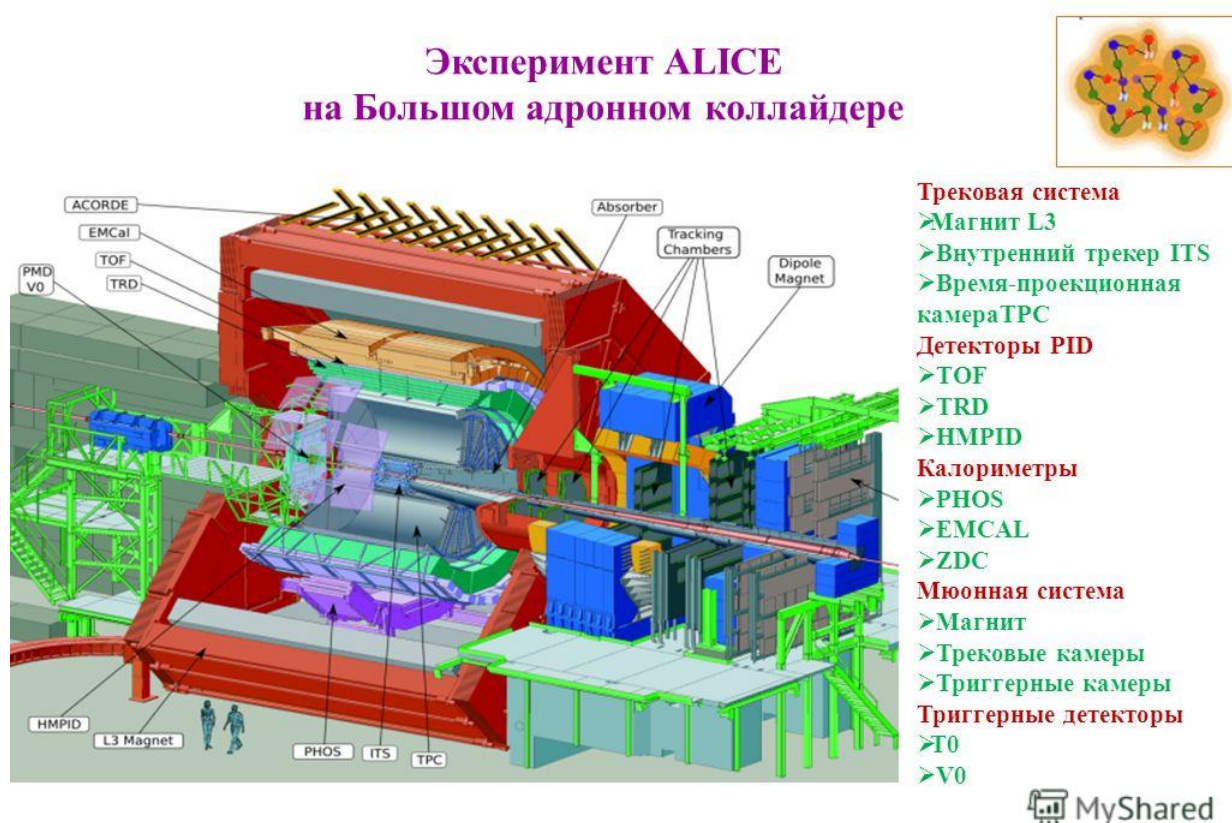


Рисунок 1 — Устройство эксперимента ALICE

Данная задача требует от устройств детектора, одновременно регистрировать мягкое излучение, характеризующее поведение материи как целого, и жёсткие одиночные выбросы энергии, связанные с процессами в области наивысшей плотности энергии. В частности, одним из направлений, в котором ведётся наблюдение, является электромагнитное излучение. Оно представлено системой калориметров:

1. Фотонный Спектрометр (PHOS) [2]

2. Электромагнитный калориметр (EmCal)[3] и Двухлучевой калориметр (Dcal)[4]

Соответственно, первый применяется для измерения спектров, общего потока и корреляций тепловых и быстрых прямых фотонов, а также для регистрации нейтральных мезонов путём регистрации их распадов в фотонные пары. Эти измерения требуют высокой детализации, а также определения энергии и положения частицы с высокой точностью.

Соответственно, PHOS — электромагнитный калориметр высокого разрешения, регистрирующий фотоны и электроны с p_T от 100 MeV/c до 100 GeV/c. Его основные характеристики следующие:

Область покрытия по псевдобыстроте: $-0.125 > \eta > 0.125$

Расстояние до точки взаимодействия: 460 см

Область покрытия по азимуту: $\Delta\phi = 70^\circ$

Модульность: три модуля по 3584 и один в 1782 ячейки

Материал изготовления: PbWO_4

Размеры кристаллов: $22 \times 22 \times 180 \text{ mm}^3$

Глубина в единицах радиационных длин: $20 X_0$

Число кристаллов: 12 544

Площадь: 6.0 m^2

Рабочая температура: -25°C

УСТРОЙСТВО ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА O2

Программный пакет O2 создан в первую очередь для реализации на программном уровне параллельных вычислений, тем самым оптимизируя элементы Монте-Карло моделирования. Сам пакет включает в себя 55 элементов, которые вместе позволяют реализовать моделирование любого элемента эксперимента ALICE. В нашем случае, следует сосредоточиться для начала на контроле вычислений процессов взаимодействия с веществом частиц и внутренних процессов ливня.

Соответственно, после применения модуля моделирования процессов детектора, будут получены файлы первого отклика детектора - так называемые хиты детекторов. После, сначала, Диджитализации, а затем - кластеризации, будут получены кластеры - цифровые данные отклика детектора на моделируемый процесс. Они представляют собой, в случае детектора PHOS, значения энерговыделений детектора в кластере, а также локальные координаты кластера.

Данные каждого этапа представляются в виде .root файлов. Каждый содержит полученные при помощи моделирования сигналы-отклики. Особый интерес представляют собой следующие ветви:

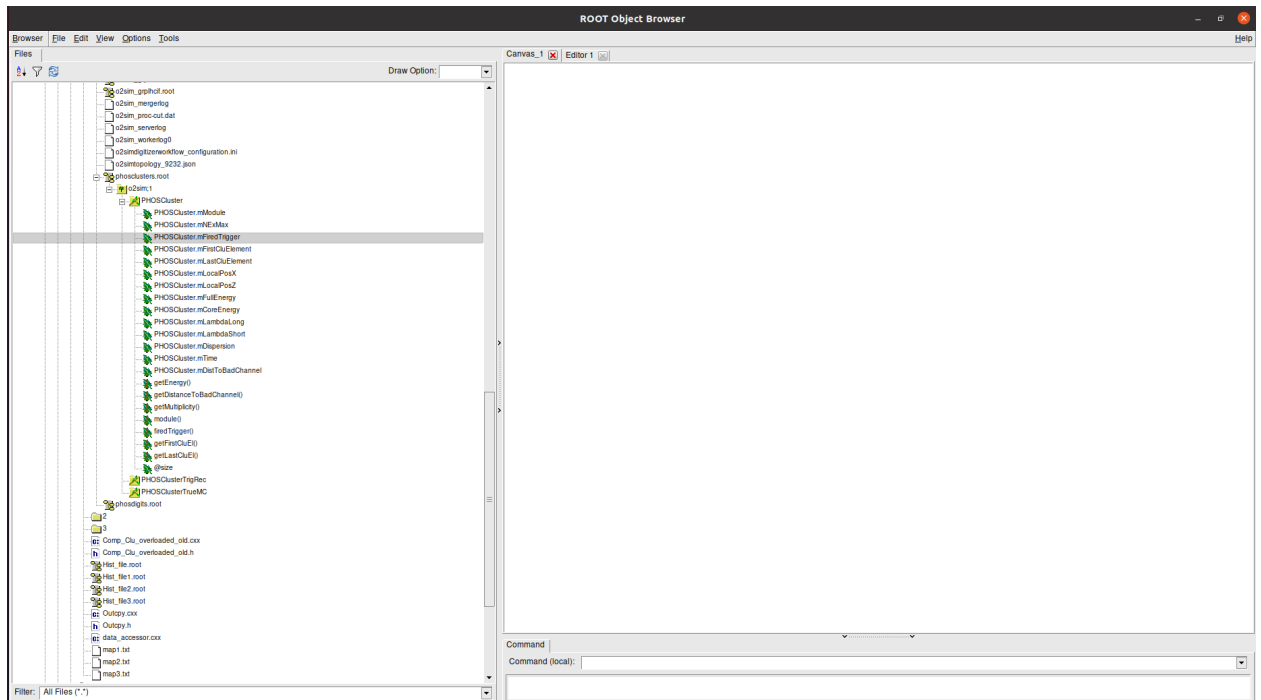


Рисунок 2 — Содержание файла данных кластера

Глобальный список кластеров с их свойствами размечен на события с помощью записей триггера, они вместе порождают тип кластер - его свойствами являются лейблы: список частиц, которые породили этот кластер, выделенная энергия и их нумерация. Соответственно, сам кластер также имеет величину - энергии, и свои локальные координаты, которые, с помощью файла-матрицы расположения, переводятся в глобальные координаты. Таким образом, можно вычислить углы прилета частиц, и в результате, вычислять, скажем, инвариантную массу аналогично эксперименту. Также, за счет комбинирования класса True McArray и Лейблов, появляется доступ к характеристикам непосредственно частиц: координатам их появления, энергии конкретной частицы, ее PDG коду.

Также, к частице возможно применить метод, позволяющий получить список ее родителей и потомков, если частица распалась или провзаимодействовала. Тем самым, моделирование устроено так, что легко удастся проконтролировать процессы внутри электромагнитного ливня, или иные значимые и интересные процессы.

Выглядит это следующим образом:

Пример статистики вычисления инвариантной массы для π_0 :

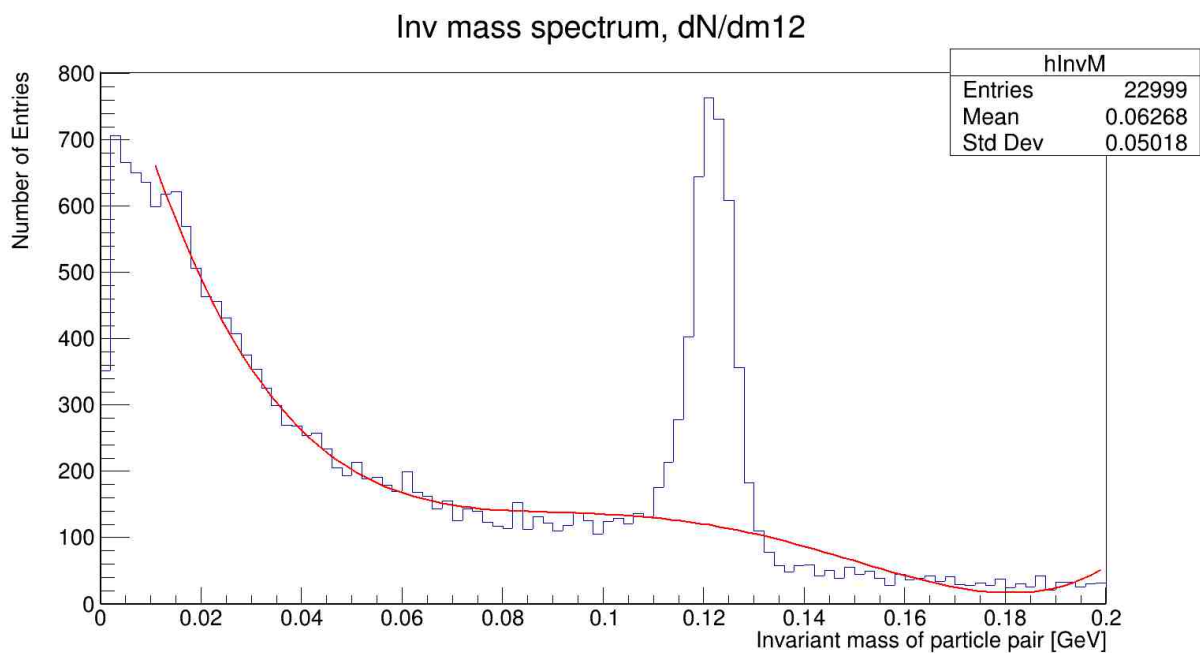


Рисунок 3 — Полный спектр инвариантных масс распада π^0 -мезона на калориметре PHOS

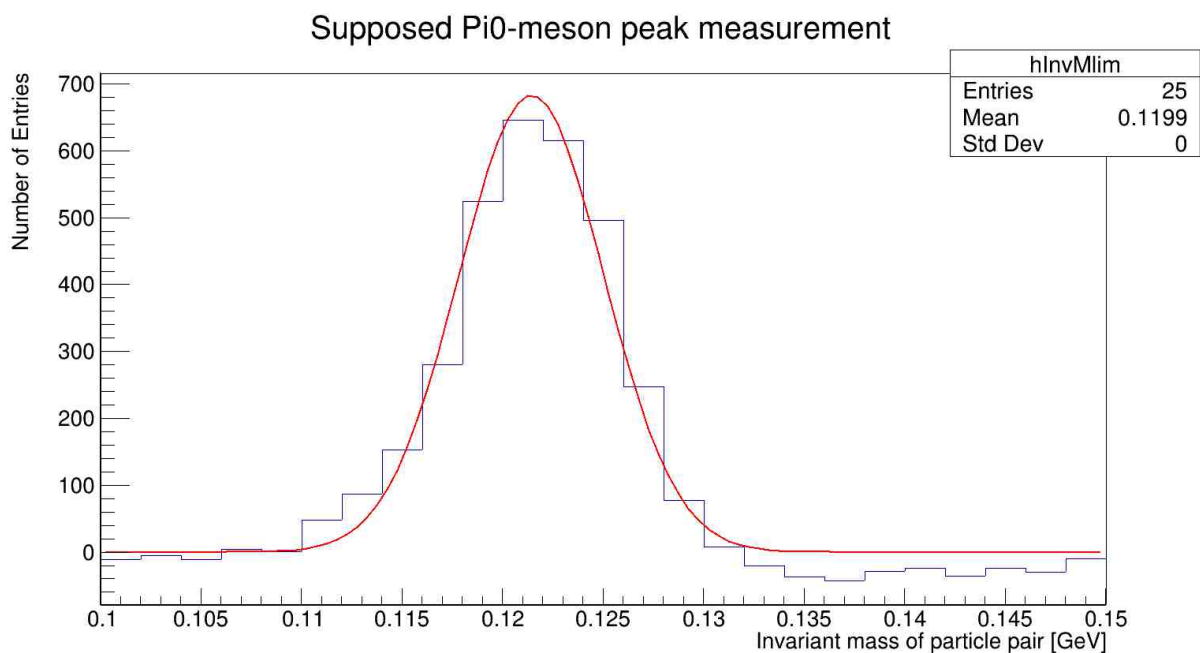


Рисунок 4 — Пик спектра, соответствующий π^0 -мезону, за вычетом фона рекомбинаций

Данные примеры - при энергии π^0 , соответствующей 5-10 ГэВ. Распределение частиц по выделенной и полной энергиям в калориметре при этом выглядит следующим образом:

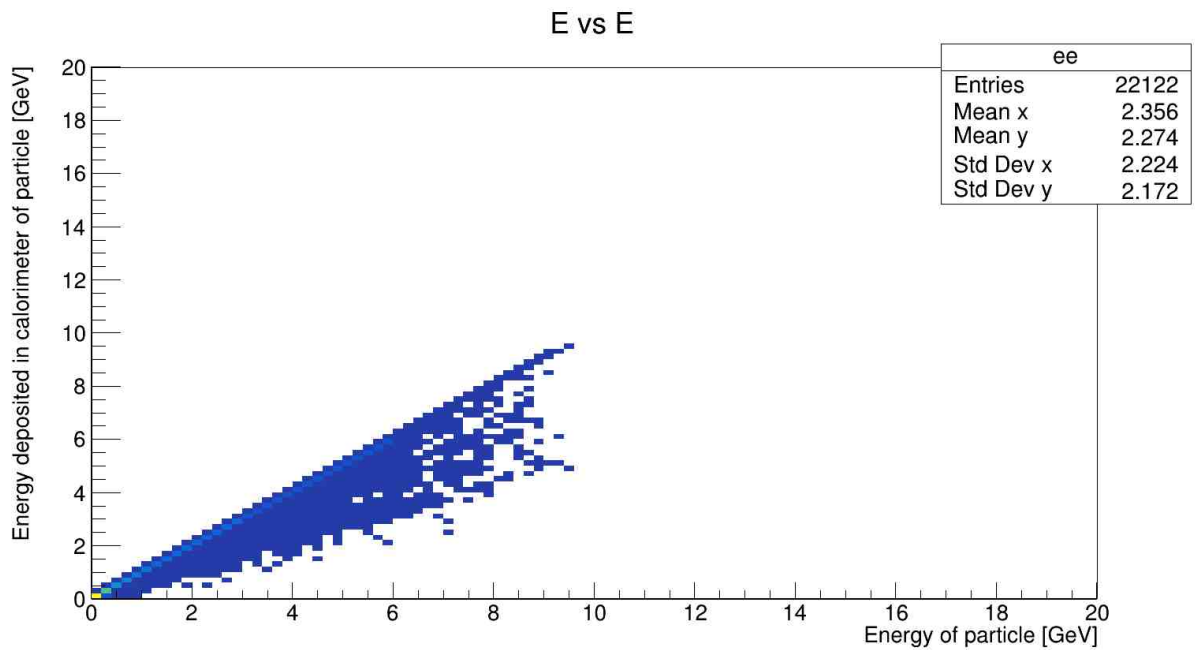


Рисунок 5 — Распределение, по оси ординат - выделенная энергия, по оси абсцисс - полная энергия частиц

Здесь следует заметить, что симуляция позволяет определить тип частицы - и поэтому, можно "отсеять" и оставить только один тип частиц. В данном случае, поскольку при вычислении предполагалось, что регистрируются лишь фотоны - следует оставить лишь их.

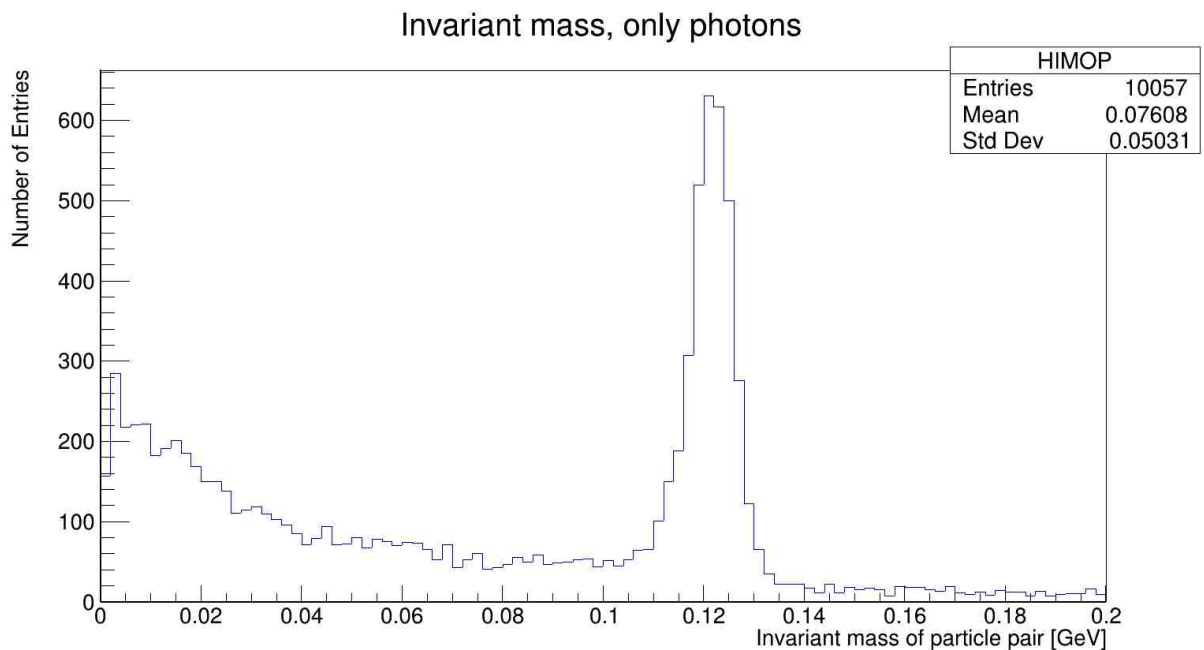


Рисунок 6 — Распределение по инвариантной массе пар фотонов

Также имеется аналогичная статистика для диапазонов энергий 10-15

ГэВ и 15-20 ГэВ.

Для следующей статистики по энергиям частиц:

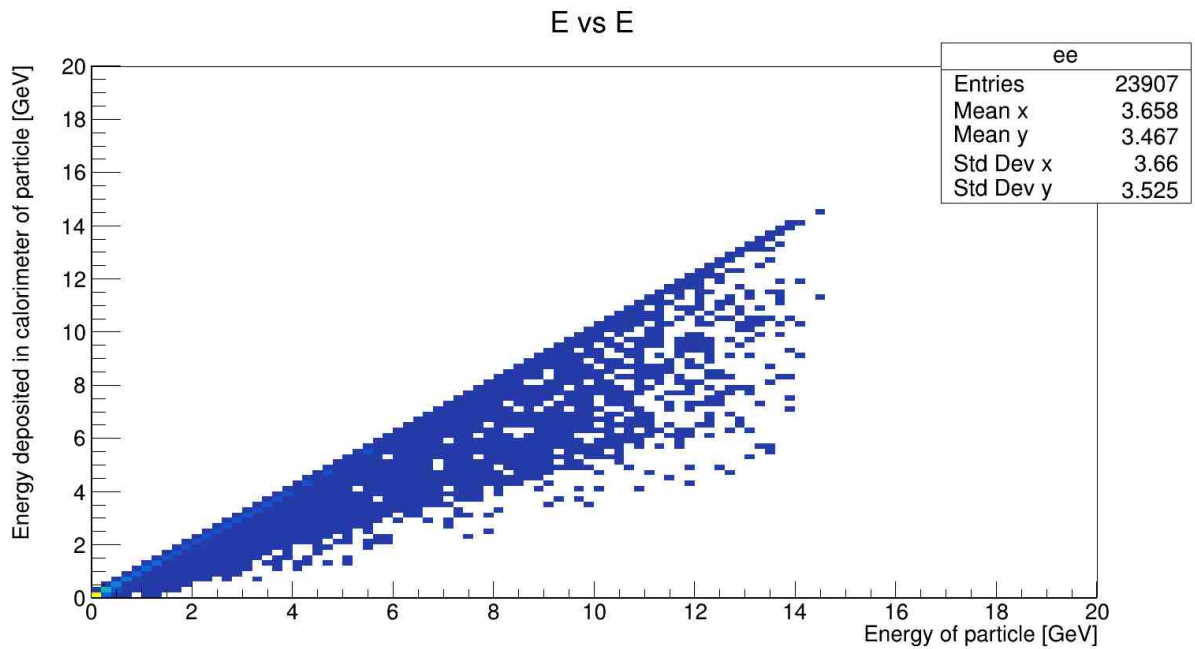


Рисунок 7 — Распределение по полной энергии и выделенной энергии, 2 диапазон

Будут получаться следующие параметры прилетающей частицы.

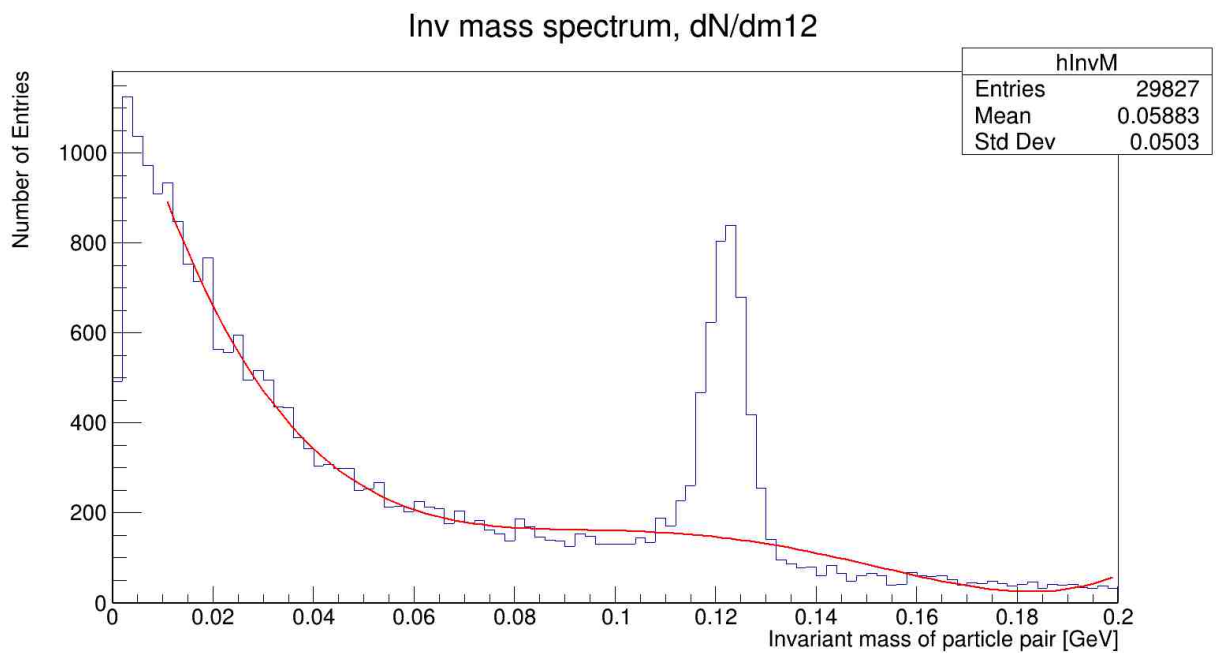


Рисунок 8 — Полный спектр инвариантных масс распада π^0 -мезона на калориметре PHOS, 2 диапазон

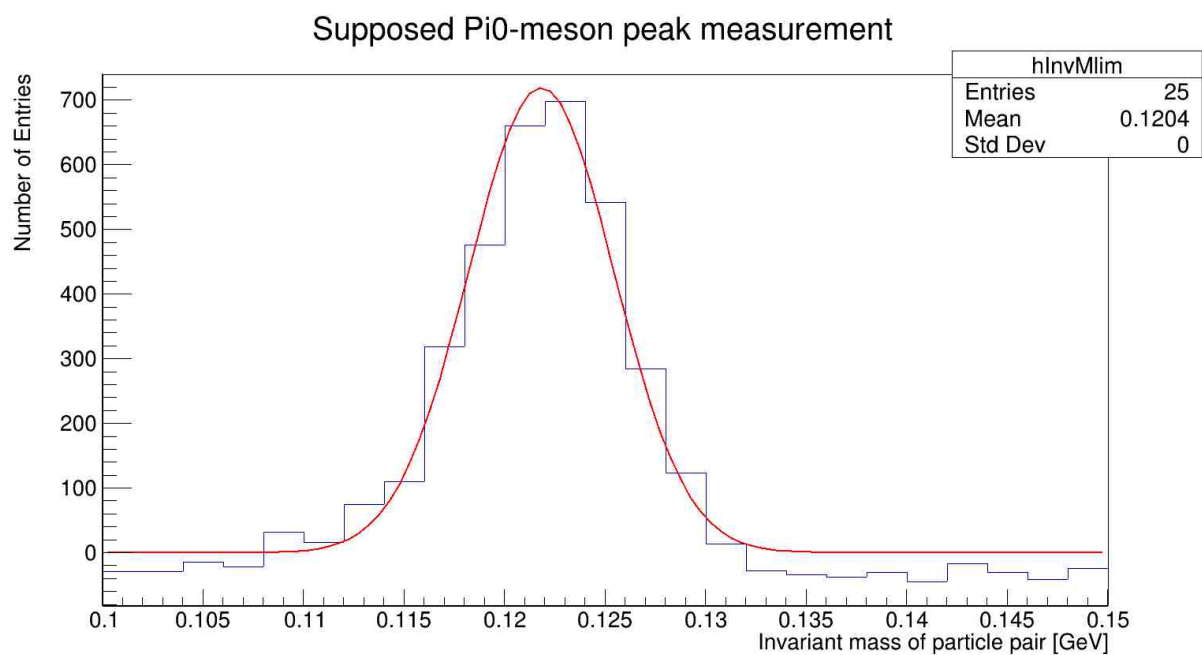


Рисунок 9 — Пик спектра, соответствующий π^0 -мезону, за вычетом фона рекомбинаций, 2 диапазон

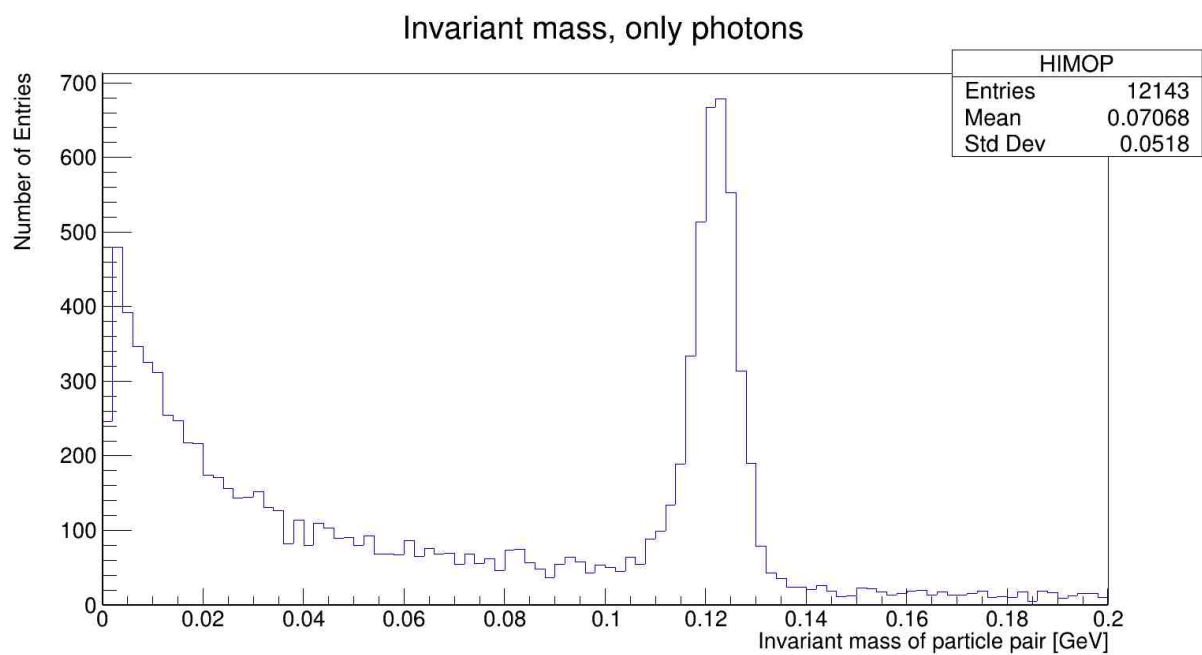


Рисунок 10 — Распределение по инвариантной массе пар фотонов, 2 диапазон

ОТБОР ФИЗИЧЕСКИ НЕКОРРЕКТНЫХ СОБЫТИЙ

Тогда следует задать критерии заведомо не подходящих событий, которые заведомо невозможно пронаблюдать. Очевидный пример таковых это:

- Выделение энергии большей, чем частица заведомо имеет.

Отбор происходит на основе частиц, которые вносят вклад в энергию кластера. В случае, если выделенная энергия частицы, и полная, хранящаяся в массиве TrueMcArray, отличаются, а именно есть более, чем 10% разница, причем выделенная больше полной, и при этом энергия частицы больше, чем 300 МэВ - в таком случае, частица вносится в список-файл "иррегулярных частиц".

В данном случае, представлено распределение иррегулярных частиц по их энергиям, типам, выделенной энергии, в первом диапазоне:

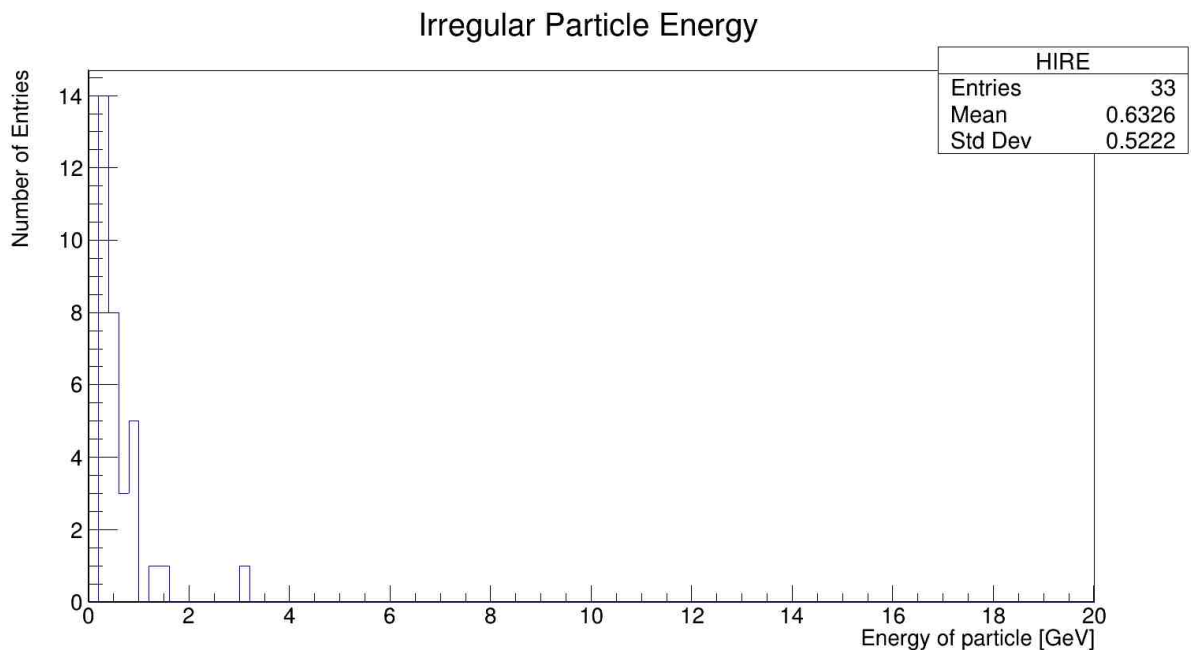


Рисунок 11 — Распределение по энергии нестандартных частиц

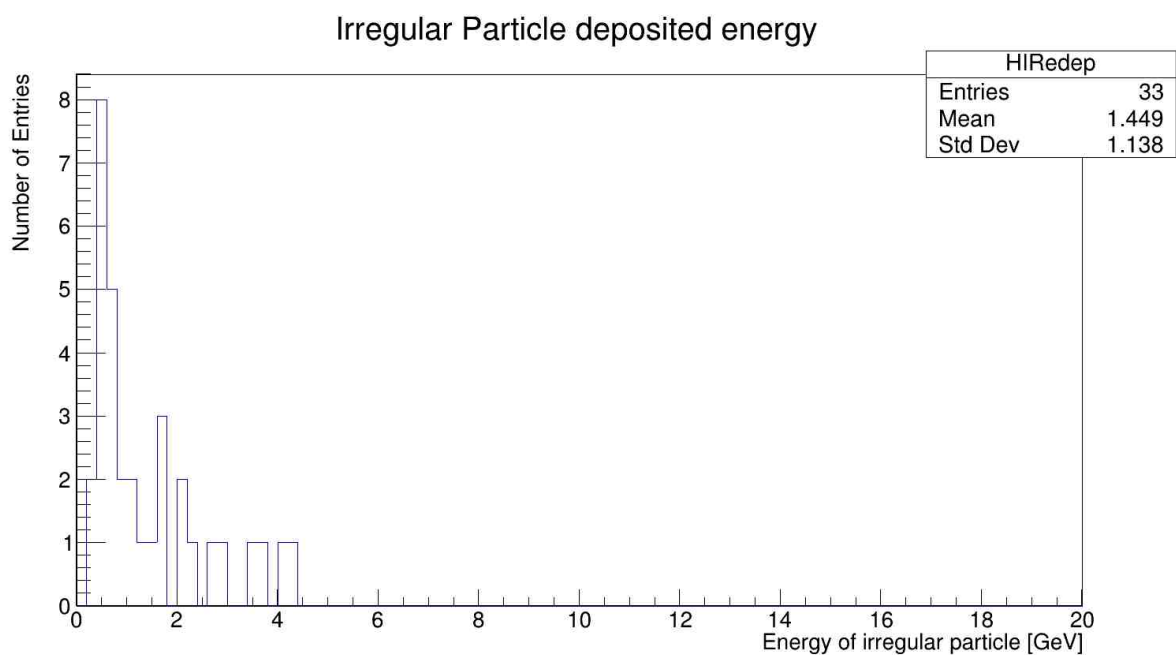


Рисунок 12 — Распределение по выделенной энергии для нестандартных частиц

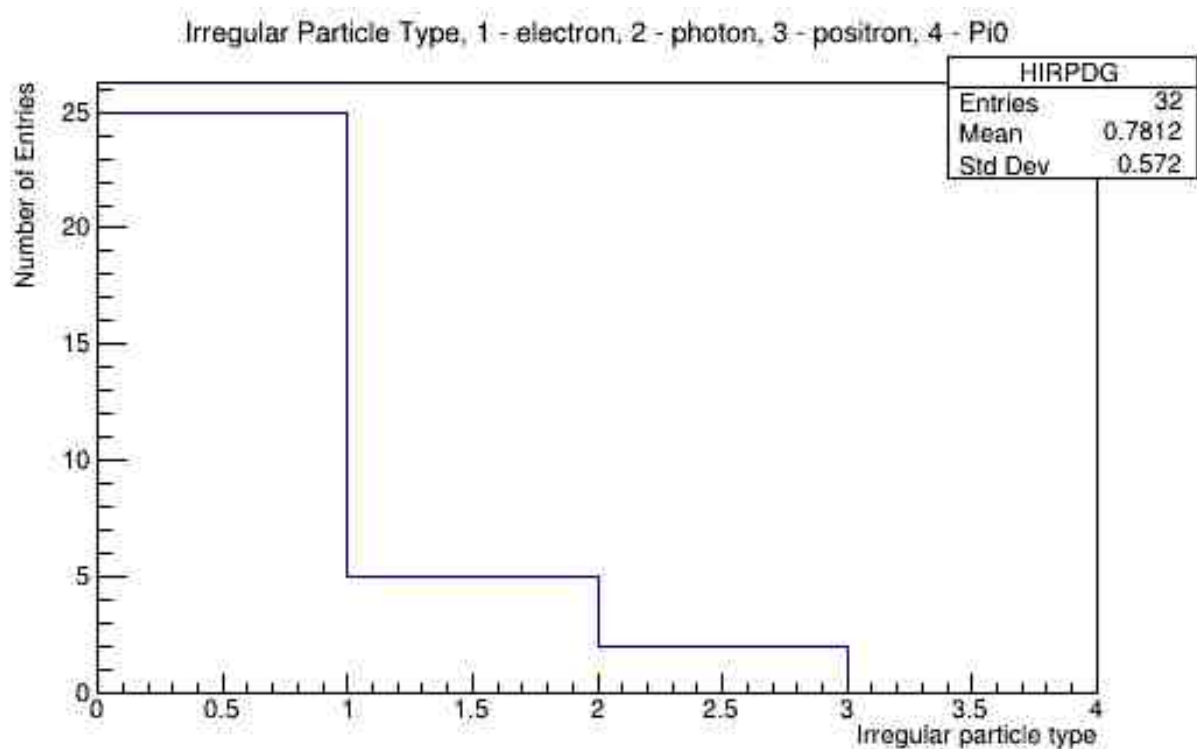


Рисунок 13 — Распределение по типам нестандартных частиц

Во втором диапазоне будут следующие иррегулярные частицы:

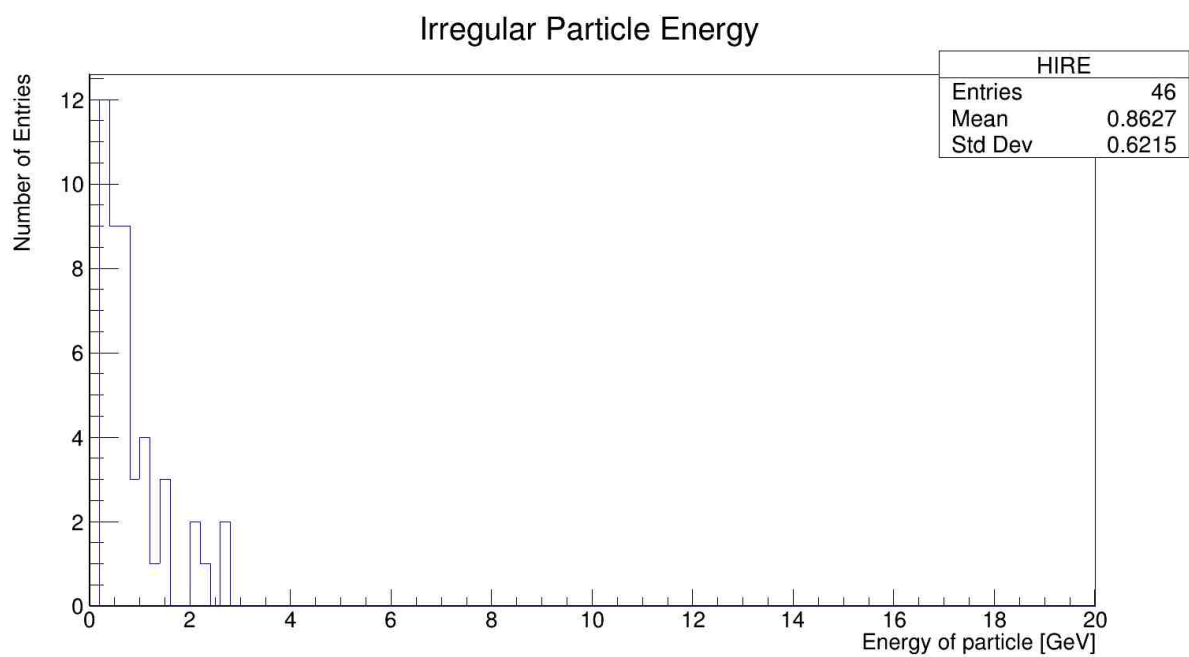


Рисунок 14 — Распределение по энергии нестандартных частиц, 2 диапазон

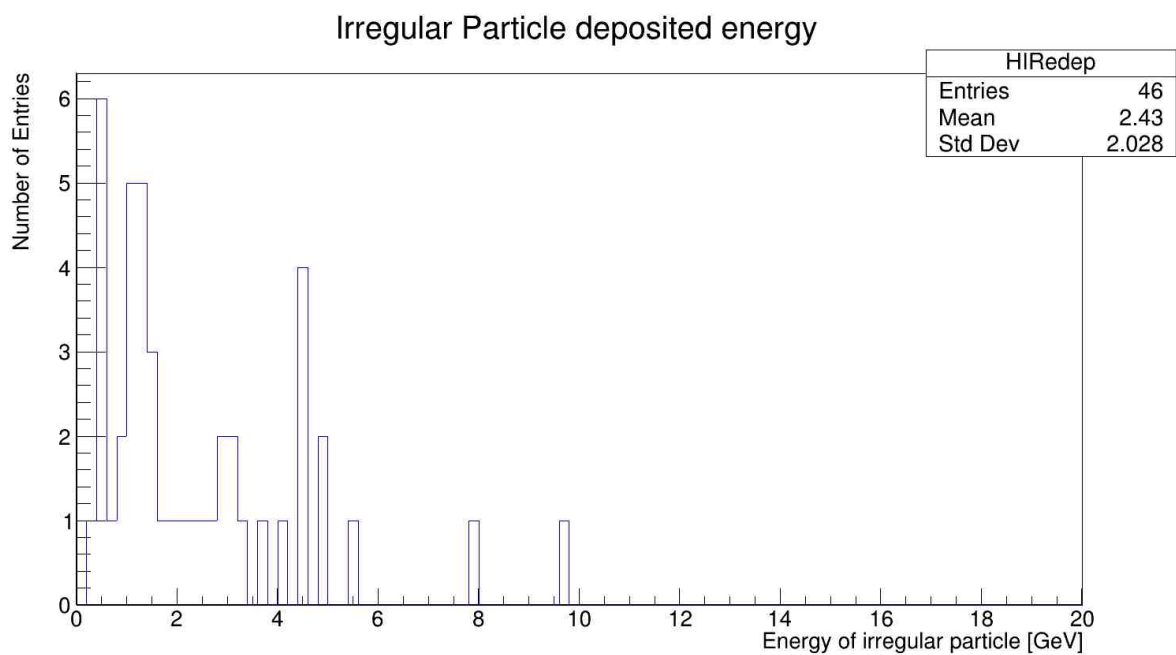


Рисунок 15 — Распределение по выделенной энергии для нестандартных частиц, 2 диапазон

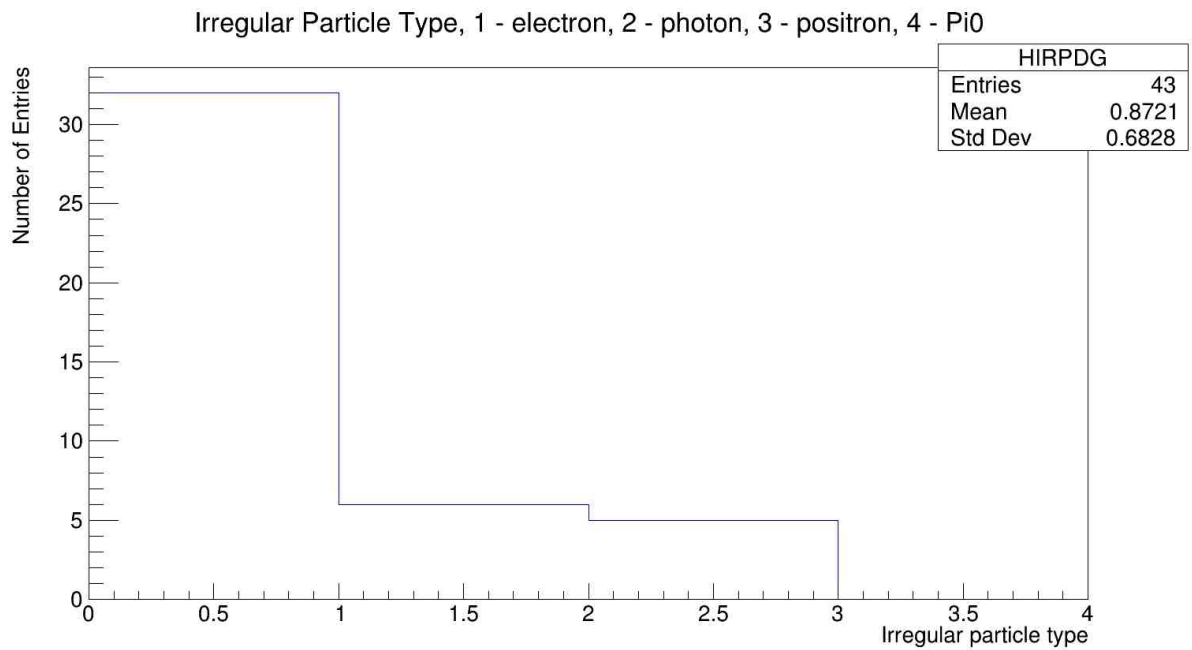


Рисунок 16 — Распределение по типам нестандартных частиц, 2 диапазон

Естественное предположение, что иррегулярных частиц не будет. Результат изначально получается в виде текстовых файлов-"сосисок" в которых хранятся все сведения об отобранных событиях или частицах, записанные по единым шаблонам, для того, чтобы хранить эту информацию в читаемом явным образом виде. Также в них, помимо самой частицы и ее характеристик, также есть список формирующих кластер частиц, и список частиц, родительских по отношению к этим частицам, в том числе и координаты, в которых порождаются эти частицы. Сами эти файлы не могут быть непосредственно включены в отчет из-за размера, однако, далее будут представлены примеры.

Результат - противоположный. Найдено некоторое количество частиц, существование которых очевидно указывает на не определенные ошибки. Процесс, на основе которого строились получаемые данные, это запуски и распад π^0 -мезона с энергиями в диапазоне от 5 до 15 ГэВ.

ВЫВОДЫ

На текущий момент, удалось обнаружить некорректные кластеры, однако, после обновления, последовавшего за первым обнаружением, их число сократилось приблизительно вдвое. Число процессов, которые нарушают законы сохранения, следующее:

1 диапазон: 33 единицы

2 диапазон: 46 единиц

3 диапазон: 67 единиц

Следующим этапом будет определение того, где именно находится подобная ошибка, чтобы устранить очевидно нефизического характера ошибку.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Alice Technical Design Report of the Photon Spectrometer PHOS / D. Czerwinski [et al.]. — 1999.
2. Calibration of the photon spectrometer PHOS of the ALICE experiment / S. Acharya [et al.] // Journal of Instrumentation. — 2019. — Vol. 14. — P05025–P05025.
3. ALICE electromagnetic calorimeter technical design report / P. Cortese [et al.]. — 2008.
4. *collaboration T. A.* ALICE DCal: An Addendum to the EMCal Technical Design Report Di-Jet and Hadron-Jet correlation measurements in ALICE // CERN-LHCC-2010-011. — 2010.