

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

Институт Ядерной Физики и Технологий

Кафедра №40 "Физика элементарных частиц"

ОТЧЕТ ПО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

тема:

Анализ данных в эксперименте "ALICE"

Студент Б20-102

Арляпов Е.Р.

Научный руководитель

Пересунько Д. Ю.

Москва 2022

Содержание

1	Введение	3
2	Схема и описание установки ALICE	5
3	Экспериментальная часть	8
3.1	Ход работы	8
3.2	Представление результатов	8
4	Заключение	12
	Список литературы	13

1 Введение

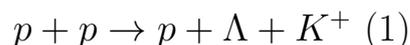
Название эксперимента "ALICE" является сокращенным от "A Large Ion Collider Experiment". В настоящее время является основным проектом по изучению кварк-глюонной плазмы путем столкновения тяжелых ионов высоких энергий.

Кварк-глюонная материя представляет собой агрегатное состояние вещества, при котором адроны (класс составных частиц, которые включают в себя мезоны (состоят из кварк-антикварковых пар и имеют целый спин) и барионы (наиболее распространенное число кварков - три, однако существуют и более тяжелые и нестабильные образования, такие как пентакварки. Имеют полуцелый спин[1]. Наиболее известные представители - протоны и нейтроны)) сближаются ("сплавляются") друг с другом до расстояний, меньших их собственных радиусов, образуя новый макроскопический объект, который состоит из свободных кварков и глюонов (при обычных условиях данные частицы существуют только в связанном состоянии только внутри адронов[2]. Их невозможно выделить отдельно вследствие явления конфаймента).

К основным признакам образования кварк-глюонной плазмы относятся:

- Повышенный выход странных частиц, т.е. тех, в состав которых входят s-кварки. Данные частицы имеют некоторые особенности:

во-первых, во всех реакциях эти частицы рождаются парами. Для примера, приведем реакцию столкновения двух протонов с образованием Λ - и K^+ - гиперонов:



во-вторых, Аномально высокое время жизни (10^{-13} с вместо ожидаемого и характерного для тяжелых частиц 10^{-26} с)

Для объяснения данных эффектов было введено новое квантовое число - странность. Оно целочисленное и сохраняется при сильном и электромагнитном взаимодействиях, но не сохраняется при слабом. В большинстве реакций со странными частицами, странность не может меняться больше, чем на единицу, однако это правило выполняется не всегда.

- Выход J/Ψ мезонов, который еще называют чармонием - частица, мезон, состоящий из пары очарованный кварк-антикварк.
- Большие потери энергии при столкновении партонов (жестких партонов). Партон является моделью ультрарелятивистского протона, который удобно представлять в виде облака из кварков, антикварков и глюонов. Внутри партона постоянно идут реакции образования и слияния этих частиц, но в результате наступает равновесное состояние.

Стоит отметить, что в первой модели кварк-глюонное состояние сравнивали с газом практически невзаимодействующих свободных кварков и глюонов. Однако в 2010-е от этой интерпретации отказались и по современным представлениям данное агрегатное состояние сравнивается с жидкостью сильно взаимодействующих свободных кварков и глюонов.

Кварк-глюонная материя образуется при плотностях энергии свыше 1 ГэВ/фм^3 , что достигается за счет столкновений ядер тяжелых атомов (в основном Pb-Pb), при этом достигаются температуры порядка триллионов градусов[3]. Столкновение ионов свинца наглядно можно представить следующим образом:

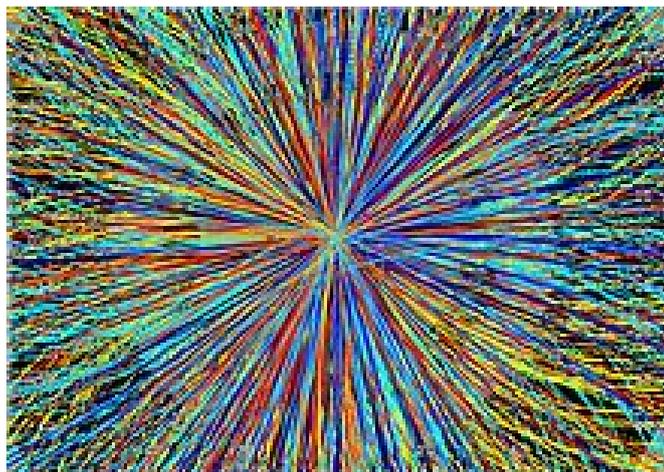


Рис. 1: *Изображение столкновения ядер Pb-Pb, сделанное на БАК. Каждая из разлетающихся частиц моделируется в виде линии, цвет которой характеризует энергию, полученную при столкновении.*

Предполагается, что Вселенная в первые доли секунды после своего образования представляла собой состояние, схожее с кварк-глюонной материей. Поэтому, изучив его в достаточной степени, можно будет ответить на ряд вопросов, касающихся происхождения, эволюции и структуры адронной материи, составляющей основу всего вещества во Вселенной.

Целью моей работы является ознакомление с целями и методами эксперимента ALICE, а также обработка данных с детекторов и построение зависимостей вероятности конверсии первичного фотона в координатах цилиндрической и прямоугольной систем и их представление в виде гистограмм в пакете AliRoot.

2 Схема и описание установки ALICE

Установка ALICE является одним из четырех основных детекторов на LHC (остальные - ATLAS, CMS, LHCb). Он включает в себя несколько более мелких составных частей (детекторов и калориметров) и его общая схема представлена на следующем рисунке:

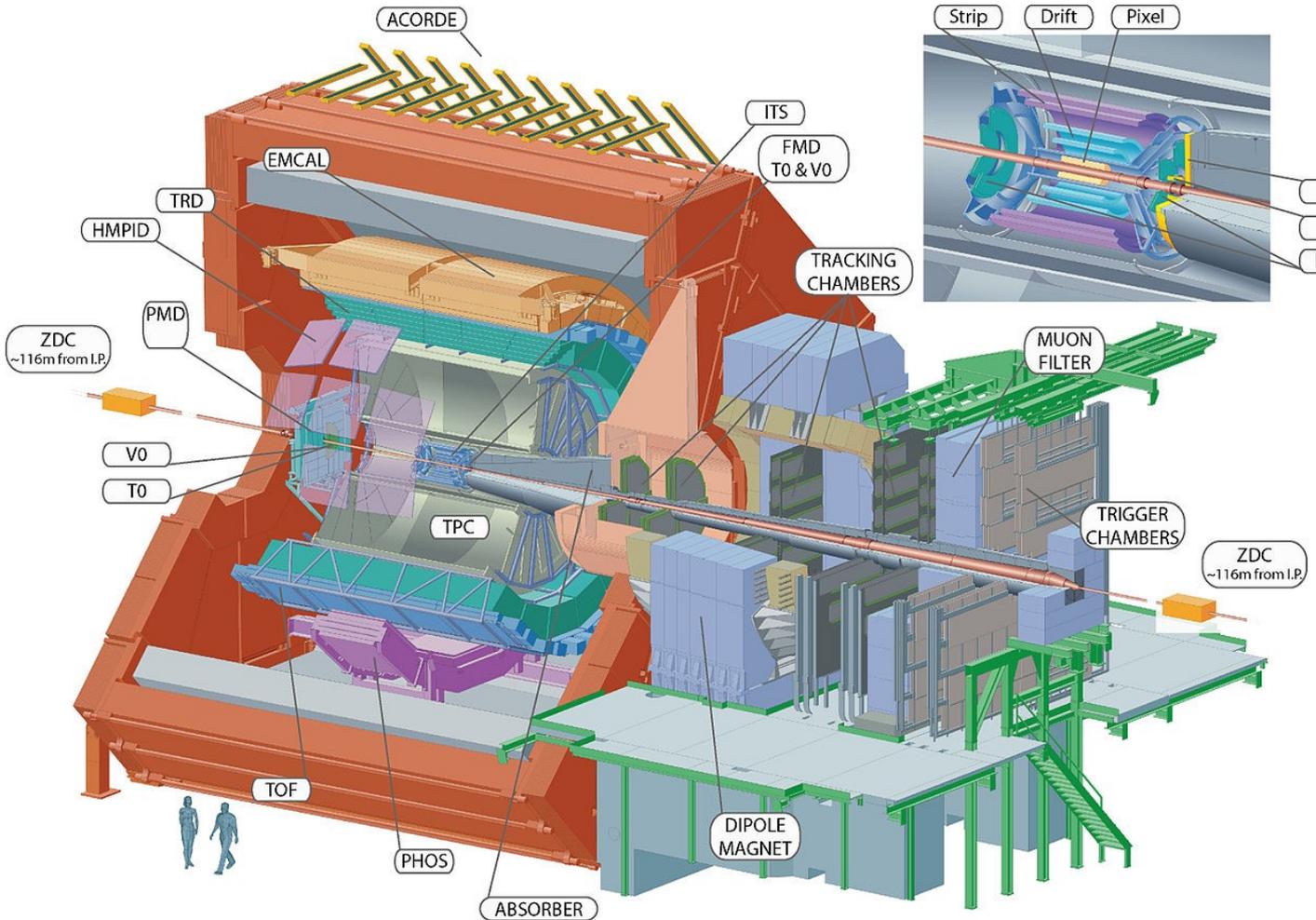


Рис. 2: Общая схема детектора ALICE

Из общего вида экспериментальной установки 2 ясно, что для описания положения частиц, разлетающихся при столкновениях тяжелых ядер, удобнее всего пользоваться цилиндрическими координатами (r, ϕ, z) , где за ось z принимается ось столкновений, а координата r указывает расстояние от данной оси, на котором произошел конверсия фотона.

Общие размеры установки ALICE составляют $16 \times 16 \times 26 \text{ м}^3$, а общий вес примерно 10000 т. Основные составляющие - баррель (представляет собой центральную цилиндрическую часть, включающую несколько детекторов) и мюонный спектрометр. В момент столкновения ядра Pb достигают 99,9999% скорости света. При этом температура вещества может достигать 10 трлн градусов (это самая высокая температура в истории, полученная человечеством). Стоит отметить, что получить в точности центральные столкновения очень сложно, в большинстве случаев ядра лишь касаются друг друга. Плотность и температура кварк-глюонной плазмы сильнее всего зависят от центральности, а

потому в разных событиях будут разными.

Основные составляющие ALICE:

- ITS - внутренняя трекинговая система. Является наиболее близким к оси столкновений детектором, состоящим из концентрических кремниевых трубок, радиусы которых составляют от 6 до 43 см. Главная его цель - обнаружение короткоживущих частиц (содержащие в основном charm и beauty кварки) и определение их вершин распада с точностью до 100 мкм.

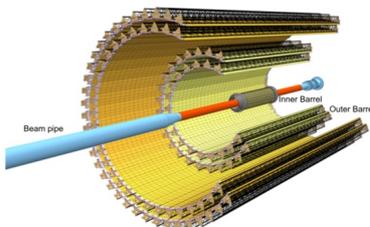


Рис. 3: Детектор ITS

- TPC - Время-проекционная камера. Представляет собой объем, заполненный газом, радиусом около 80 см. При пролете через этот детектор заряженные частицы ионизуют атомы газа. Благодаря сильному электрическому полю (порядка 100 кВ/3) выбитые электроны регистрируются считывающими камерами, которые определяют координаты сигнала, время его прихода и импульсы регистрируемых частиц.

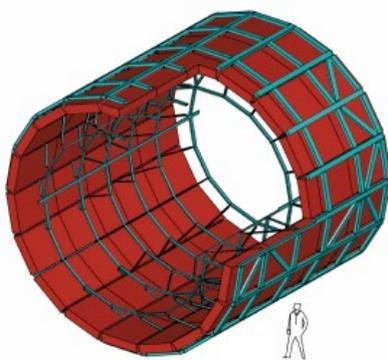


Рис. 4: Детектор TPC

- TOF - детектор времени пролета. Определяет скорость заряженной частицы по измерению времени пролета на заданное расстояние вдоль трека. Если учесть, что импульсы были измерены ранее, то можно получить массы частиц, что означает полное их описание.
- TRD - детектор переходного излучения. Регистрирует электроны и позитроны с энергиями более 1 ГэВ. В основе лежит явление переходного излучения (TR-излучение), которое появляется при пересечении границы двух сред быстрыми частицами. При этом возникают фотоны рентгеновского диапазона, которые регистрируются непосредственно за источником излучения.

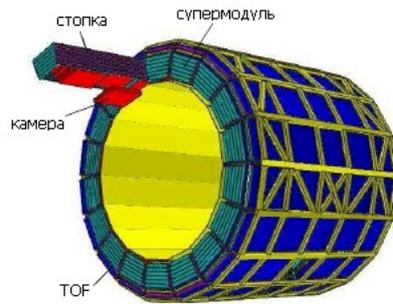


Рис. 5: *Детектор TRD*

- PHOS - фотонный спектрометр. Представляет собой электромагнитный калориметр предназначенный для измерения энергии фотонов, поскольку именно эти частицы наилучшим образом передают условия, происходящие в кварк-глюонной материи.

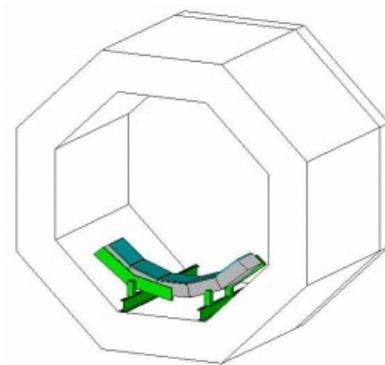


Рис. 6: *Калориметр PHOS*

В реальности ALICE выглядит следующим образом:

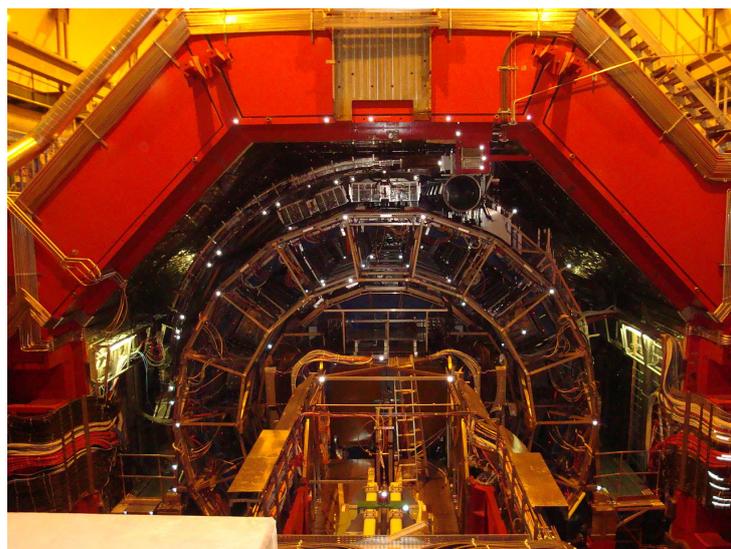


Рис. 7: *Фотография ALICE*

3 Экспериментальная часть

3.1 Ход работы

Обработка данных в эксперименте ALICE производится с помощью пакета AliRoot. Поэтому предварительная часть работы заключалась в знакомстве с операционной системой Linux Ubuntu, а также с наиболее важными функциями пакета root - построение и фитирование одномерных и двумерных гистограм, работа с деревьями и функциями класса AliAODMCParticle. Результатом предварительной части работы стало написание программы, с помощью которой можно отбирать данные о частицах (проекции импульса и координаты в точках рождения в декартовой, цилиндрической и сферической системах, материнские и дочерние частицы, PDG-коды частиц) по событиям, строить гистограммы интересующих распределений, устанавливать число интересующих событий. Данная программа имеет следующий вид:

```
1 void POC()
2 {
3     TFile *input = new TFile("ALICE.root", "read");
4     TTree *tree = (TTree*)input->Get("odtree");
5     gStyle->SetPalette(kRainbow);
6
7     TH1F *Histogram = new TH1F("Histogram", "hist", 100, 0, 100);
8     TH2F *Histogram2 = new TH2F("Histogram", "hist2", 100, 0, 100, 100, 0, 100);
9     TH3F *Histogram3 = new TH3F("Histogram", "hist3", 100, 0, 100, 100, 0, 100, 100);
10    TH1F *Histogram4 = new TH1F("Histogram", "hist4", 100, 0, 100);
11    TH2F *Histogram5 = new TH2F("Histogram", "hist5", 100, 0, 100, 100, 0, 100);
12    TH3F *Histogram6 = new TH3F("Histogram", "hist6", 100, 0, 100, 100, 0, 100, 100);
13    TH1F *Histogram7 = new TH1F("Histogram", "hist7", 100, 0, 100);
14    TH2F *Histogram8 = new TH2F("Histogram", "hist8", 100, 0, 100, 100, 0, 100);
15    TH3F *Histogram9 = new TH3F("Histogram", "hist9", 100, 0, 100, 100, 0, 100, 100);
16
17    Histogram->SetTitle("");
18
19    Histogram->GetXaxis()->SetTitle("radius of top");
20    Histogram->GetYaxis()->SetTitle("number of daughter");
21    //printf("Event = %d\n", tree->GetEntries()); ; return ;
22    TClonesArray *arr = new TClonesArray("TClonesArray*Particles");
23    tree->SetBranchAddress("particles", arr);
24
25    //for(int i = 0; i < tree->GetEntries(); i++)
26    int n = 10000;
27    for(int i = 0; i < n; i++)
28    {
29        tree->GetEvent(i);
30        printf("Event %d should be %d\n", i, tree->GetEntries());
31        for(int j = 0; j < arr->GetEntries(); j++)
32        {
33            AliAODMCParticle *p = (AliAODMCParticle*) arr->At(j);
34            p->Print();
35            cout << p->GetPdgCode() << endl;
36            cout << j << endl;
37            cout << p->PHI() << endl;
38            if(p->GetPdgCode() == 11) { if(p->GetMother() == 0)
39                {
40                    // if(p->Phi() <= 180*PI/180 && p->PHI() >= 180*PI/180) {
41                    float r=sqrt(p->Xv()*p->Xv()+p->Yv()*p->Yv());
42                    int kin;
43                    Histogram->Fill(sqrt(p->Xv()*p->Xv()+p->Yv()*p->Yv()));
44                    Histogram2->Fill(sqrt(p->Xv()*p->Xv()+p->Yv()*p->Yv()), p->Zv());
45                    Histogram3->Fill(sqrt(p->Xv()*p->Xv()+p->Yv()*p->Yv()), p->Zv(), p->Phi());
46                    Histogram4->Fill(p->PHI());
47                    Histogram5->Fill(p->PHI());
48                    Histogram6->Fill(p->PHI());
49                    Histogram7->Fill(p->PHI());
50                    Histogram8->Fill(p->PHI());
51                    Histogram9->Fill(p->PHI());
52                }
53            }
54        }
55    }
56}
```

Рис. 8: основная часть программы, предоставляющая доступ к данным с ALICE

Основной этап работы заключался в построении гистограмм, описывающих вероятность конверсии первичного фотона в данной точке. Для этого с помощью функций GetMother() и GetPdgCode() отбирались только те электроны, у которых родительской частицей был первичный фотон (т.е. фотон, долетевший до вещества детектора непосредственно из области столкновения тяжелых ядер). Остальные (вторичные) фотоны могли образовываться при аннигиляции вторичных частиц или при их взаимодействиях с веществом детектора). Далее строились гистограммы, описывающие распределение числа рожденных частиц в зависимости от интересующей координаты, тем самым получалось число фотонов, прореагировавших на данном интервале. Нормируя с помощью функции Scale() данную гистограмму на общее число первичных фотонов по всем событиям, получали вероятность конверсии в интересующем интервале.

3.2 Представление результатов

Итогом работы стало получение следующих распределений:

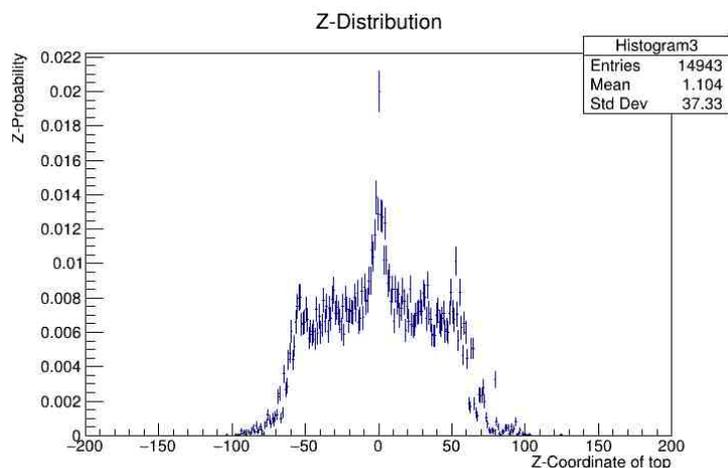
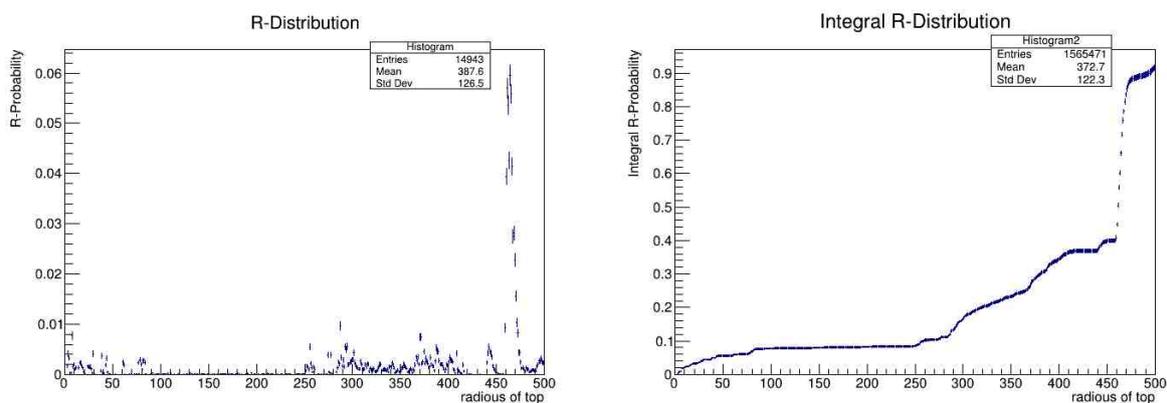
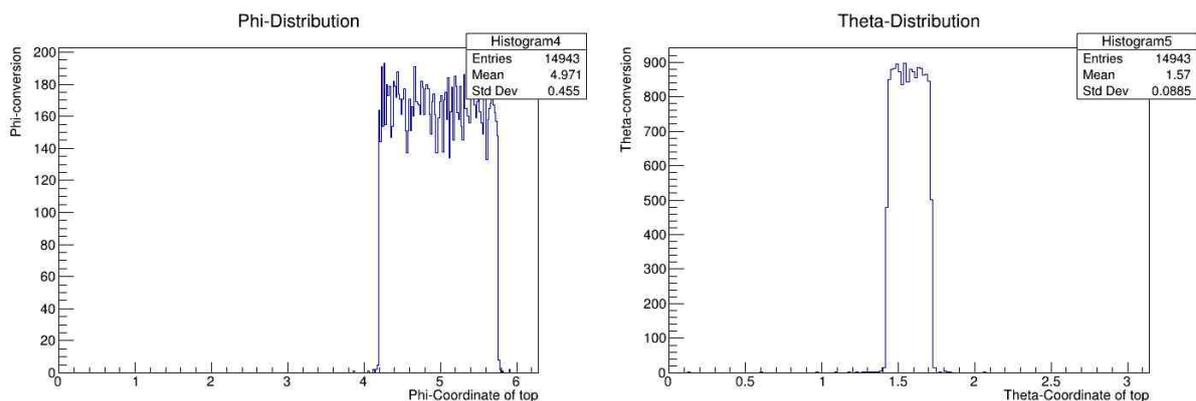


Рис. 9: Распределение вероятности по координате z



(a) Вероятность конверсии первичного фотона в зависимости от радиуса (b) Интегральная гистограмма распределения вероятности конверсии фотона

Рис. 10



(a) Число конверсий в зависимости от угла ϕ (b) Число конверсий в зависимости от угла θ

Рис. 11

Здесь представлены одномерные гистограммы для различных распределений.

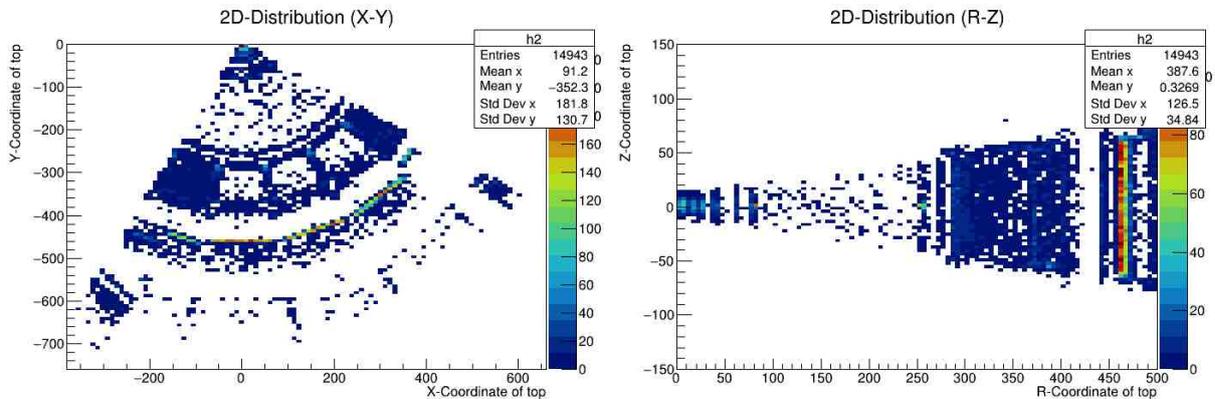
Первая (Рис.4) показывает, с какой вероятностью первичный фотон про-

конвертирует в точку, с координатой Z . Принцип построения следующий: берется некоторый интервал по оси Z и делится на равное количество более мелких отрезков, которые образуют бины гистограммы (в данной гистограмме 400 бинов). Далее отбираются Z -координаты всех вторичных электронов и распределяются по бинам. В конце мы делим количество попавших в каждый бин координат на общее число первичных фотонов и тем самым получаем вероятность конверсии в данной Z .⁹

Следующие две гистограммы описывают вероятность конверсии от радиуса (под радиусом здесь следует понимать расстояние от оси столкновений до проекции точки на плоскость OXY , поскольку, как уже было сказано ранее, в ALICE наиболее удобными являются цилиндрические координаты). На Рис.5а представлена дифференциальная гистограмма (принцип ее построения такой же, как и для Z -распределения)^{10а}. На Рис.5.б представлена интегральная гистограмма. Основное ее назначение - наглядно продемонстрировать, с какой вероятностью первичный фотон проконвертирует до точки, имеющей данный радиус R . Данная зависимость имеет практически вертикальную производную в точках, с координатами, близкими к 460 см, что говорит о расположении в этом месте объекта с высокой плотностью. В действительности им является PHOS, где происходит наибольшее число конверсий^{10б}.

Следующие две гистограммы описывают зависимость числа конверсий от угловых координат. Из Рис.6а видно, что максимум числа конверсий лежит в пределах азимутального угла $\phi \in \left(\frac{2\pi}{3}; 2\pi\right)$, именно в этих пределах углов расположен PHOS^{11а}. Рис.6б демонстрирует, что максимум распределения по полярному углу θ находится в районе $\frac{\pi}{2}$. Действительно, генерация основной части фотонов в ALICE происходит в направлении PHOS, противоположном оси OY ^{11б}.

Также были построены двумерные гисотграммы. В пакете root они выглядят следующим образом:



(а) Число конверсий в зависимости от угла ϕ (б) Число конверсий в зависимости от угла θ

Рис. 12

Смысл данных гистограмм заключается в следующем: они показывают поверхностное распределение числа конверсий в соответствующей плоскости, а с учетом того, что это число в первую очередь определяется плотностью вещества, данные гистограммы являются фактически проекциями ALICE со всеми составляющими ее частями на выбранную плоскость. Объединяя данные проекции, можно получить объемное изображение всей установки. Можно сказать, что двумерные гистограммы являются некими аналогами рентгенограммы, получают с помощью одних и тех же методов.

На Рис.7а представлено сечение установки ALICE плоскостью XOY. По данной гистограмме можно безошибочно определить соответствующие координаты всех детекторов от ITS до PHOS (белый цвет означает, что в данной точке число конверсий равно нулю и, соответственно, нулевая плотность. Т.е. можно увидеть интервалы между детекторами)12а. На Рис.7б представлена двумерная гистограмма для сечения установки плоскостью ZOY. Поскольку ALICE имеет цилиндрическую геометрию, для ее описания достаточно двух проекций.

4 Заключение

В ходе работы было осуществлено знакомство с операционной системой Linux, математическим пакетом root и его некоторыми важнейшими функциями, целями и методами эксперимента ALICE, получены первичные навыки анализа данных и зависимости, описывающие вероятности конверсии фотонов в прямоугольных и цилиндрических координатах, которые были графически представлены в виде соответствующих гистограмм, а также проекции установки ALICE в виде двумерных гистограмм. Полученные результаты проанализированы и установлены соответствующие закономерности.

Список литературы

- [1] Савельев И. В. *Общая физика*. Лань, 2007.
- [2] В.А. McLerran and L.D. Freedman. *Quark star phenomenology*. Phys. Rev. D 16, 1977.
- [3] Шуряк Э. В. *Кварк-глюонная плазма*. ЖЭТФ 74, 1978.