

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
РАЗДЕЛЕНИЕ СЛИВШИХСЯ ПУЧКОВ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ ДВУХ
 γ -КВАНТОВ

Научный руководитель

к.ф.-м.н., нач. лаб. НИЦ КИ

_____ Д. С. Блау

Студент

_____ Г. Е. Фоменко

Москва 2021

Содержание

Введение	2
Эксперимент «ALICE»	3
Фотонный спектрометр ФОС (PHOS)	4
Физика процесса	5
Описание симуляции	6
Обработка данных	7
Результаты	8
Заключение	12
Список используемых источников	13

Введение

Целью данной работы является создание алгоритма для разделения слившихся кластеров от энерговыделения двух γ -квантов. Подобрать такое распределение, где при минимальном количестве свободных параметров распределение описывалось бы максимально правдоподобно. Данная задача особо актуальна на сегодняшний день так как с подобной проблемой очень часто сталкиваются на эксперименте «ALICE».

Эксперимент «ALICE»

Эксперимент «АЛИСА» изначально был спроектирован для эффективного исследования столкновений тяжелых ионов (Свинец), поэтому основу данных «АЛИСА» составляют столкновения тяжелых ионов, имеющих энергию центра масс порядка 2.76 ТэВ и 5.02 ТэВ на пару нуклонов.

Исследования проекта «АЛИСА» затрагивают широкий спектр явлений и теорий в области изучения физики высоких энергий, затрагиваются такие вопросы как: исследование кварк-глюонной плазмы, что является основной целью эксперимента. В ходе столкновения тяжелых ионов, чаще всего не центрального, 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) и т.д. кварков.

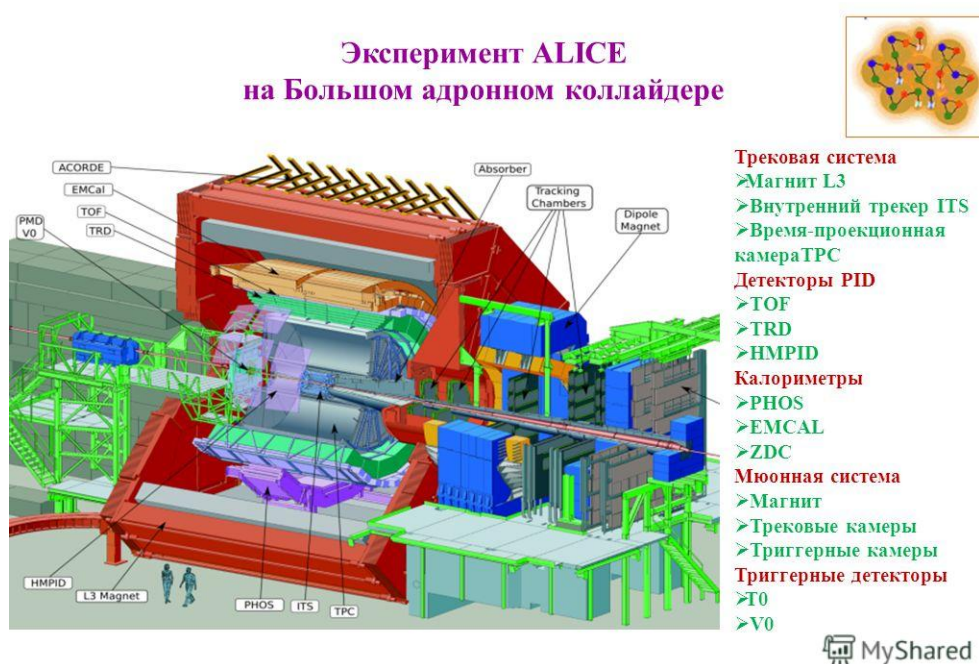


Рисунок 1 — Схема эксперимента «АЛИСА»

Фотонный спектрометр ФОС (PHOS)

Фотонный спектрометр «PHOS», обеспечивает получение важной информации о материи, образующихся 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.

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 $22 \times 22 \times 220$ мм³, ориентированными торцами к потоку регистрируемого излучения. Ливни, возникающие в кристаллах под действием фотонов высоких энергий, преобразуются в сцинтилляционное световое излучение, регистрируемое ливневым фотодиодом «APD».[1]

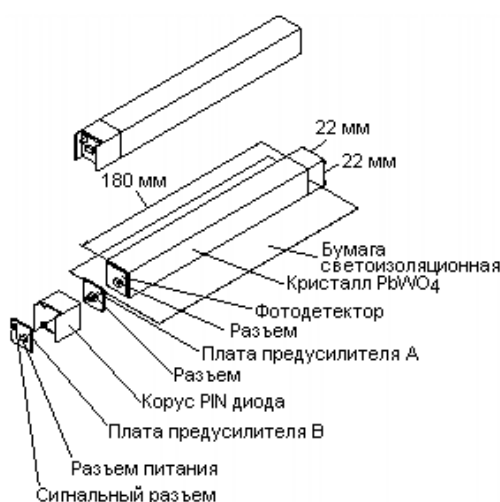


Рисунок 2 — Схема элемента спектрометра «PHOS»

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* E_c , 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.

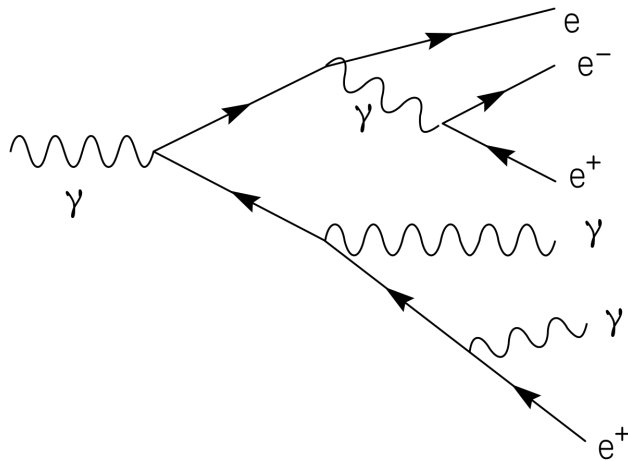


Рисунок 3 — Схема электромагнитного ливня

Описание симуляции

Для набора данных была создана модель в пакете для моделирования физического эксперимента Geant4. Была создана модель сборки калориметра PHOS размером 11×11 элементов с зазором между элементами 0.1мм. В симуляции разыгрывались события в каждом из которых создавалась пара частиц. Одна прилетала всегда в центр сборки, другая запускалась на расстоянии в 3см от центральной частицы. Были рассмотрены пары частиц с одинаковыми энергиями при энергиях в 0.1, 0.5, 1, 2, 3, 6, 10 ГэВ на расстоянии в 3см

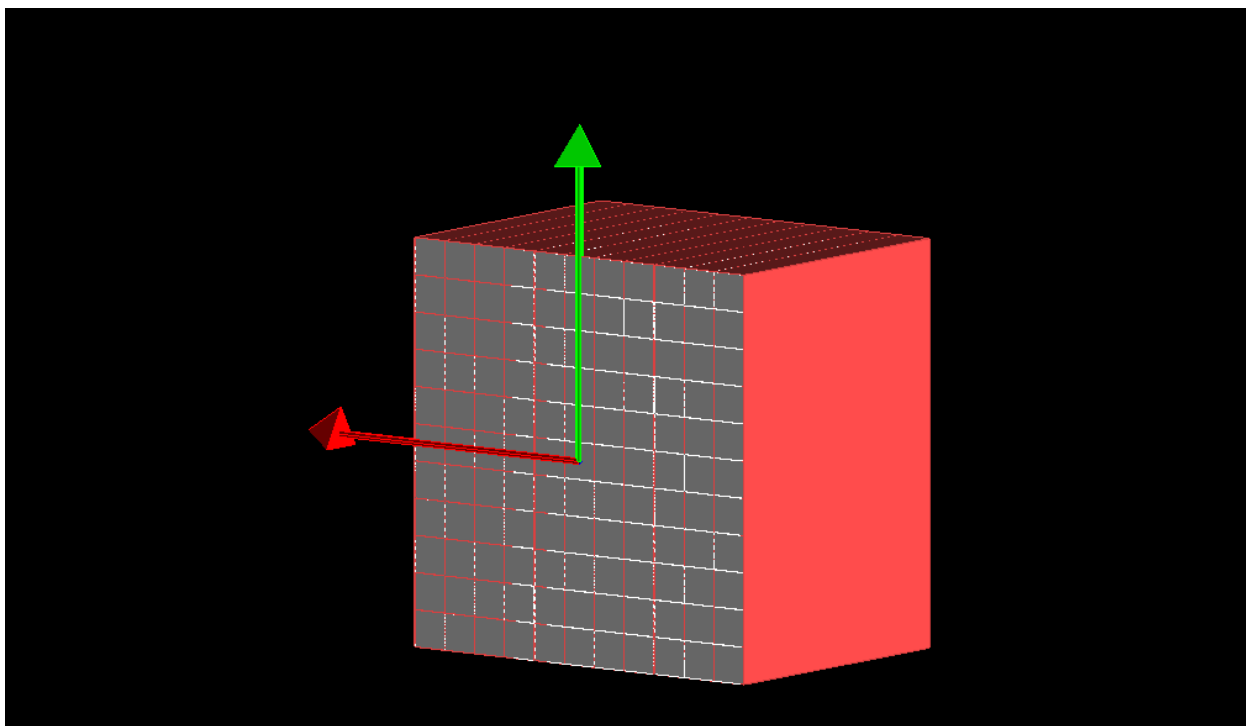


Рисунок 4 — Сборка PHOS

Обработка данных

Для обработки данных мне было предложено фитировать распределение энерговыведения в кристалле функцией Гаусса. После продолжительного анализа я пришел к выводу, что данная функция не применима для данного распределения, результаты которые получались данной функцией были не удовлетворительны. Мне была предложена другая функция. Данная функция была взята из ALICE Technical Design Report of the Photon Spectrometer (PHOS)[2]. Данная функция была проверена при фитировании одномерного радиального распределения, которое показало удовлетворительные результаты. Было принято решение об изменении этой функции и адаптации ее для аппроксимации двумерной гистограммы. В данной работе изучалось разделение двух слившихся сигналов, для этого использовалась сумма функций $f_1(E, r_1) + f_2(E, r_2)$. Также были определены оптимальные величины параметров, для минимизации количества свободных параметров функции, при фиксации которых результат аппроксимации значительно не ухудшится. Значения для $par[3]$ и $par[4]$ 0.238 и 0.382 соответственно.

$$f(E, r) = \begin{cases} par[0] \cdot \exp(-r^4/par[3]) & r \leq 0.5 \text{ cm} \\ par[0] \cdot \max(\exp(-r^4/par[3]), par[5] \cdot \exp(-r^{0.6}/par[4])) & r > 0.5 \text{ cm} \end{cases}$$
$$r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} \quad (1)$$

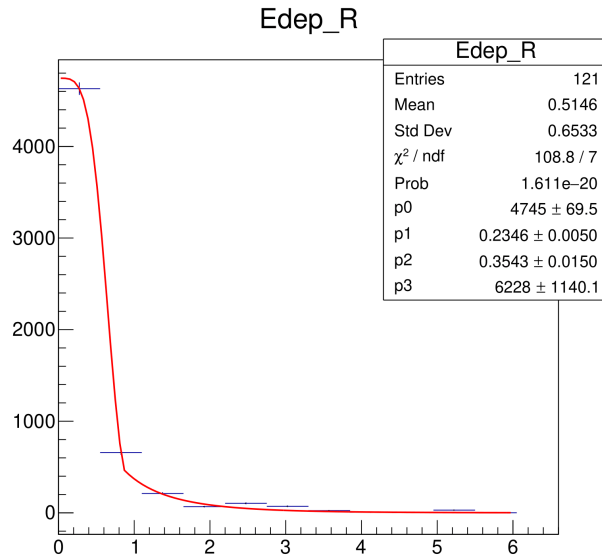


Рисунок 5 — Результат фитирования для 6 ГэВ

Результаты

В ходе моей работы с помощью симуляции физического эксперимента были получены и обработаны данные для двух частиц с равными энергиями на близких расстояниях. Был проведен сравнительный анализ двух функций Гаусса и Функции . Функция взятая из TDR была проверена на одномерном распределении, далее была модифицирована для двумерного случая.

Результат восстановления параметров частицы функцией Гаусса.

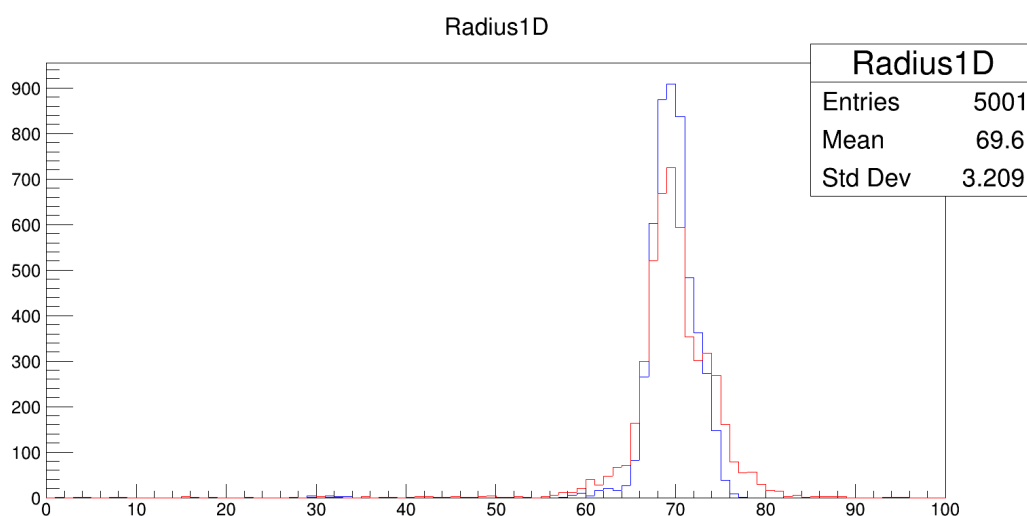


Рисунок 6 — Результат восстановления Радиуса двух частиц на расстоянии 7см

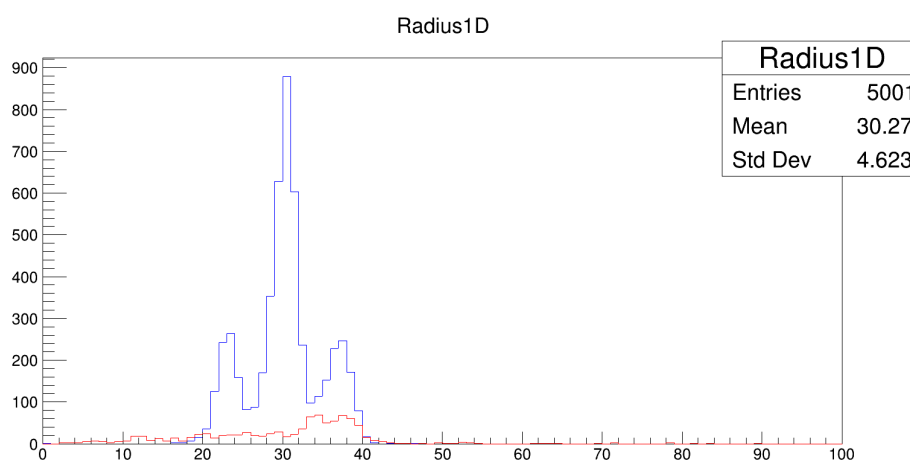


Рисунок 7 — Результат восстановления Радиуса двух частиц на расстоянии 3см

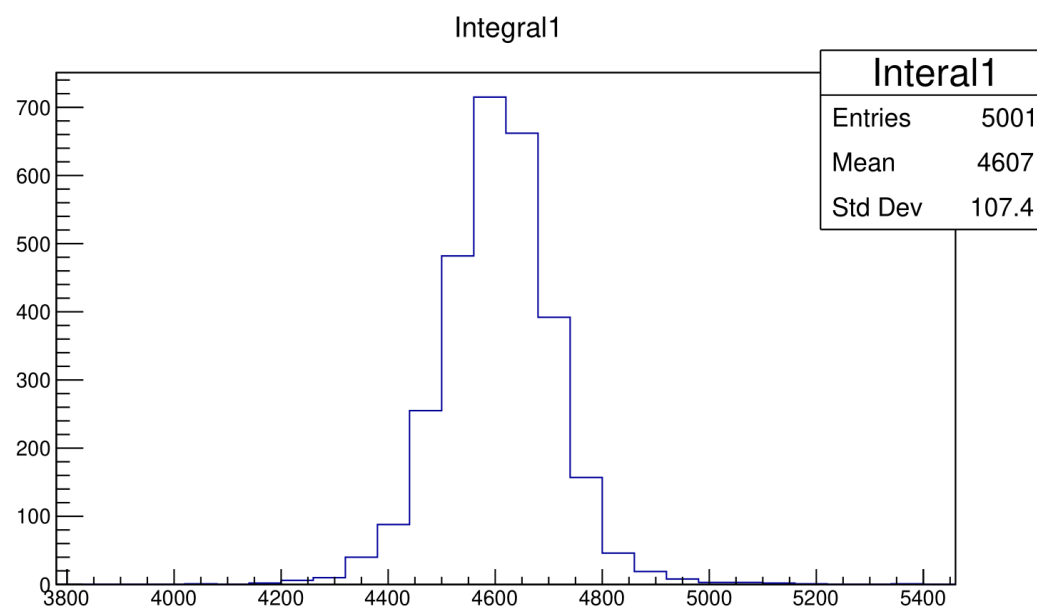


Рисунок 8 — Результат восстановления Энергии первой частицы на расстоянии 3см

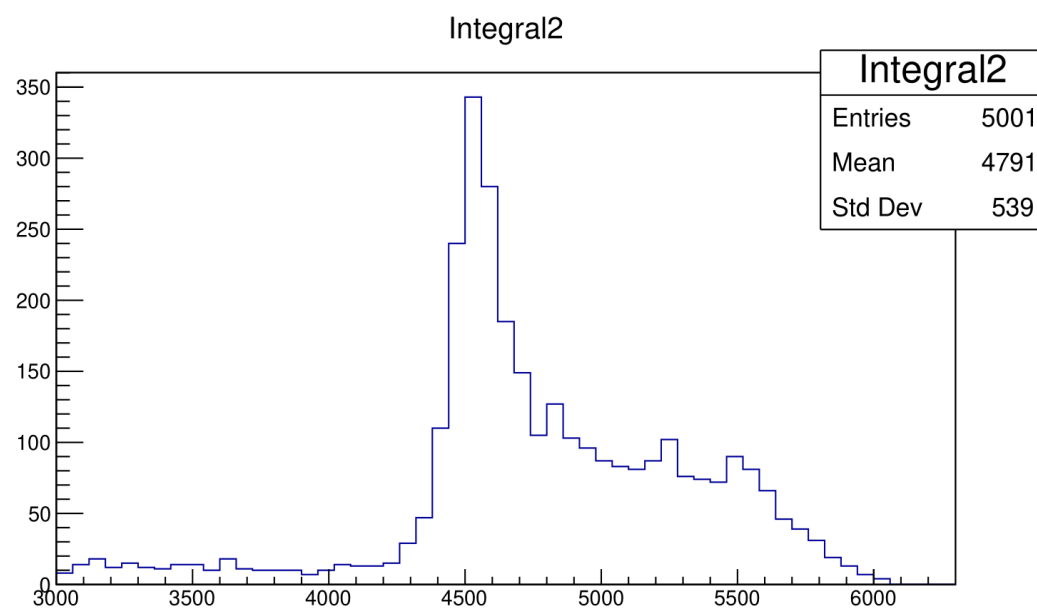


Рисунок 9 — Результат восстановления Энергии второй частицы на расстоянии 3см

Исходя из представленных гистограмм мы можем сказать, что функция Гаусса не отвечает нашему распределению, интеграл функции аппроксимации не восстанавливает выделенное количество энергии, а радиус же восстанавливается, но с недостаточной точностью при близком расположении частиц относительно друг друга.

Результаты же для функции из TDR (fitter) оказались удовлетворительными. Однако стоит уточнить, что при выставлении величин фиксированных параметров озвученных выше, результат интеграла функции не отвечает действительности.

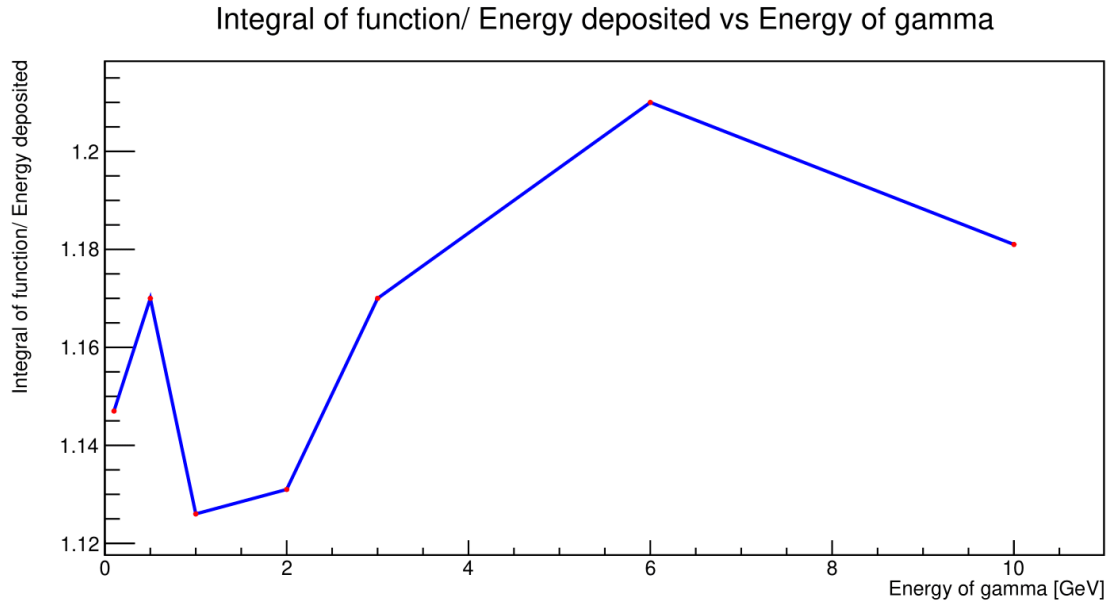


Рисунок 10 — Результат восстановления Энергии двух частиц новой функцией при старых параметрах

После длительного анализа и набора статистики для свободного параметра $\text{par}[1]$, было установлено, что при величине $\text{par}[1] = 0.14$ интеграл от величины выделенной энергии наиболее близко описывает величину выделенной энергии на больших величинах энергии гамма кванта, но все еще завышает на малых, данная проблема будет изучена в будущем.

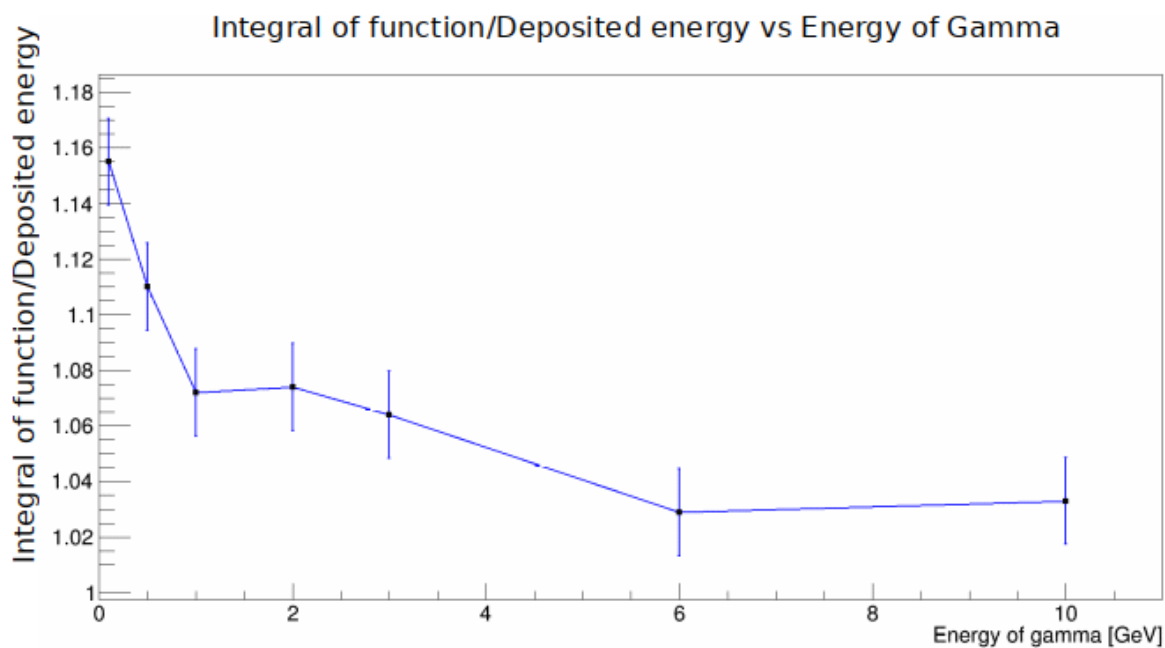


Рисунок 11 — Результат восстановления Энергии двух частиц новой функцией

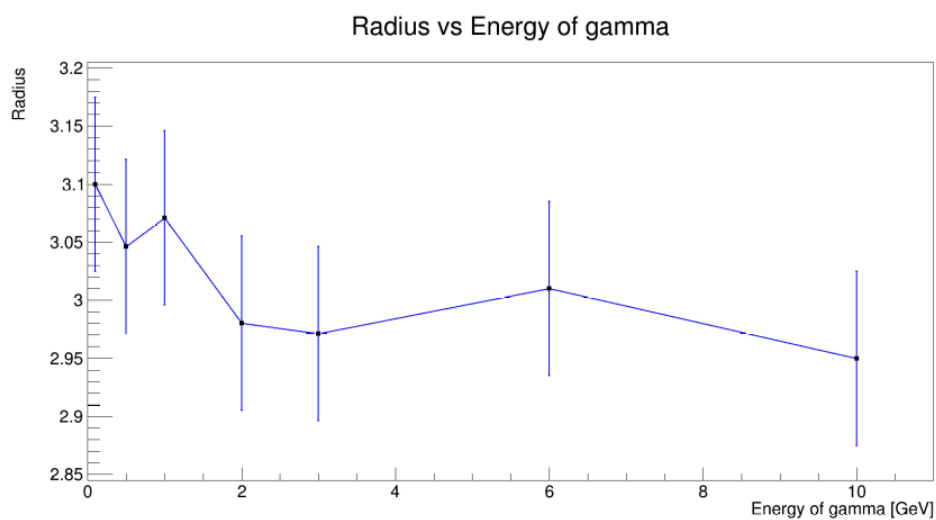


Рисунок 12 — Результат восстановления Энергии двух частиц новой функцией

Заключение

В ходе данной работы была создана симуляция на основе модели сборки с кристаллами PWO, был проведен сравнительный анализ двух предложенных функций для описания распределения энергосвечения в кристалле. После подтверждения применимости функции функция была изменена для двумерного случая.

Были получены значения параметра отвечающего за ширину распределения. Данные параметры были зафиксированы при разделении слившихся пучков энергосвечения от гамма квантов. Полученные результаты говорят о применимости данной функции для описания энергосвечения в кристалле PWO.

В дальнейшем будут добавлены в симуляцию шумы, будут рассмотрены энергосвечения при смещении частицы в отдельной ячейке. Также в планах провести разделение двух кластеров при разных энергиях на близких расстояниях, определение применимости разделения кластеров данной функцией.

Список используемых источников

1. *Gustafsson H.-A.* The ALICE experiment at the CERN LHC // Journal of Instrumentation. — 2008. — Vol. 3. — P. 88–91.
2. *J. Schukraft V. M.* ALICE Technical Design Report of the Photon Spectrometer. — 1999.
3. ***Richard L. Halterman.*** Geant4 User's Guide for Application Developers. — 2007.
4. *Halterman R. L.* Fundamentals of Programming C++. — School of Computing Southern Adventist University, 2018.
5. *Acharya S.* Calibration of the photon spectrometer PHOS of the ALICE experiment // Journal of instrumentation, JINST. — 2019. — Vol. 14.
6. *Berger F.* Particle identification in modular electromagnetic calorimeters. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. — 1992. — P. 152–164.