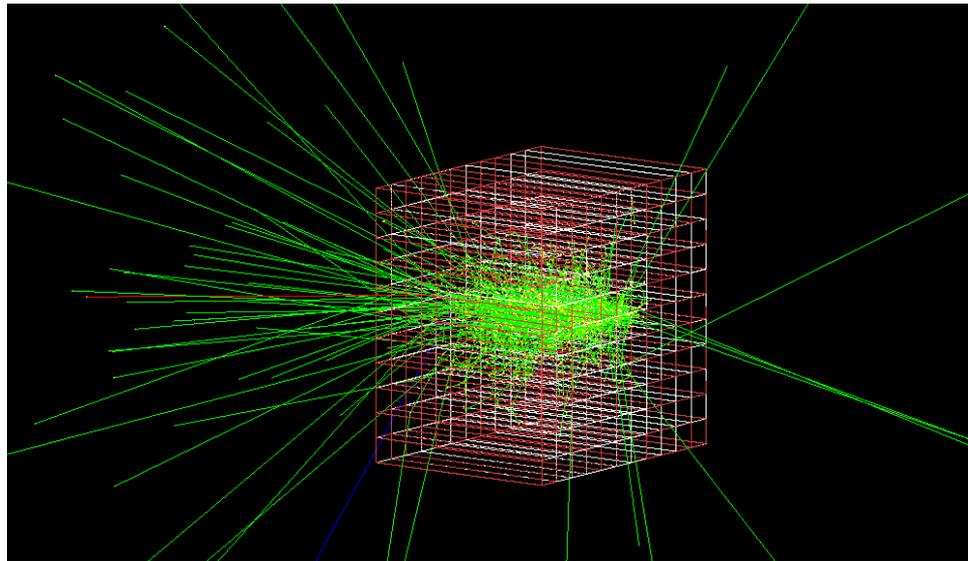


Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДА РАЗДЕЛЕНИЯ СЛИВШИХСЯ
КЛАСТЕРОВ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ КАЛОРИМЕТРЕ НА
ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОВ ВОЛЬФРАМАТА СВИНЦА**



Работу выполнил:
Фоменко Г.Е.
Б18-102

Научный Руководитель
Блау Д.С.

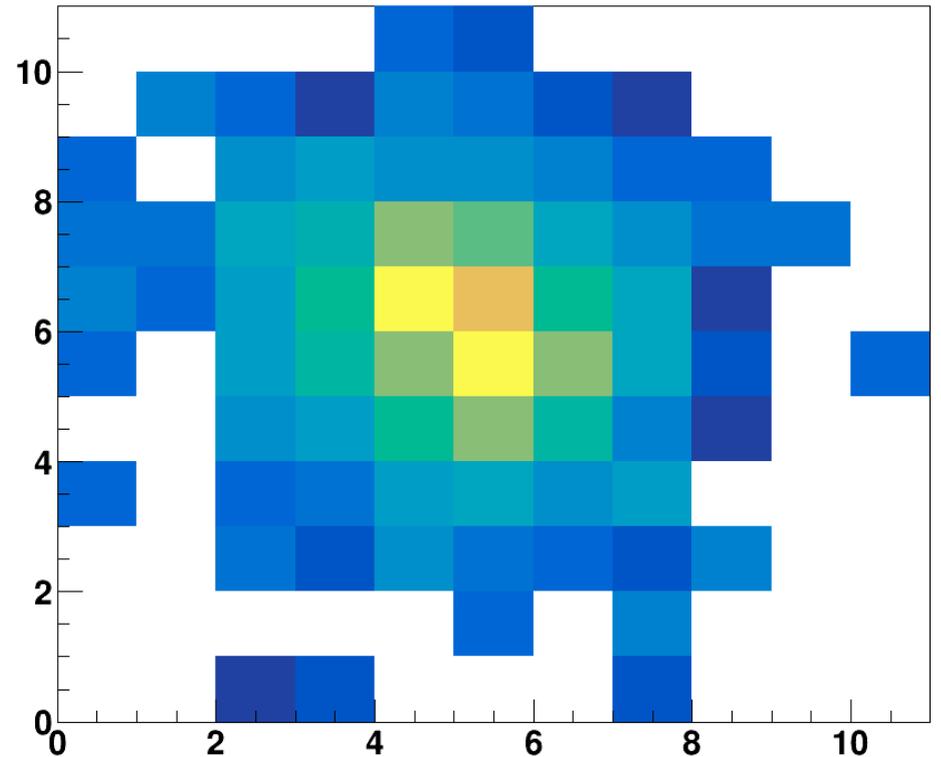
Москва 2022

ВВЕДЕНИЕ

- Эксперимент ALICE CERN: столкновение тяжелых ионов и протонов (p-p, Pb-Pb, p-Pb).
- Для получения информации о столкновении – регистрация детекторами частиц. В нашем случае, фотонов, с использованием фотонного спектрометра PHOS.
- Спектрометр PHOS – гомогенный калориметр на основе кристаллов PbWO_4 .
- Электромагнитный ливень – образуется в ходе каскадных процессов при попадании фотона в калориметер.
- Преобразование световой вспышки в электрический сигнал происходит посредством лавинного фотодиода

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- Цель работы: создание и оптимизация метода разделения слившихся кластеров в сегментированном калориметре PHOS.
- Была создана модель в GEANT4 калориметра PHOS как сборки 11x11 элементов.
- Сигнал приходит в виде матрицы сигналов в кристаллах сборки.
- Искомые значения – расстояние между частицами, энергии каждой из частиц.
- Решение: создать алгоритм, аппроксимирующий сигнал суммой выбранных функцией, с наименьшим числом свободных параметров, для увеличения скорости работы.



РЕШЕНИЕ

$$E_{1,2}^{ij} = E_{cell}^{ij} \frac{E_{func1,2}}{E_{func1} + E_{func2}}$$

Формула перевешивания энергетических вкладов в кристалле.

- Для аппроксимации выбраны две функции:
1) Функция Гаусса.

2) Функция:

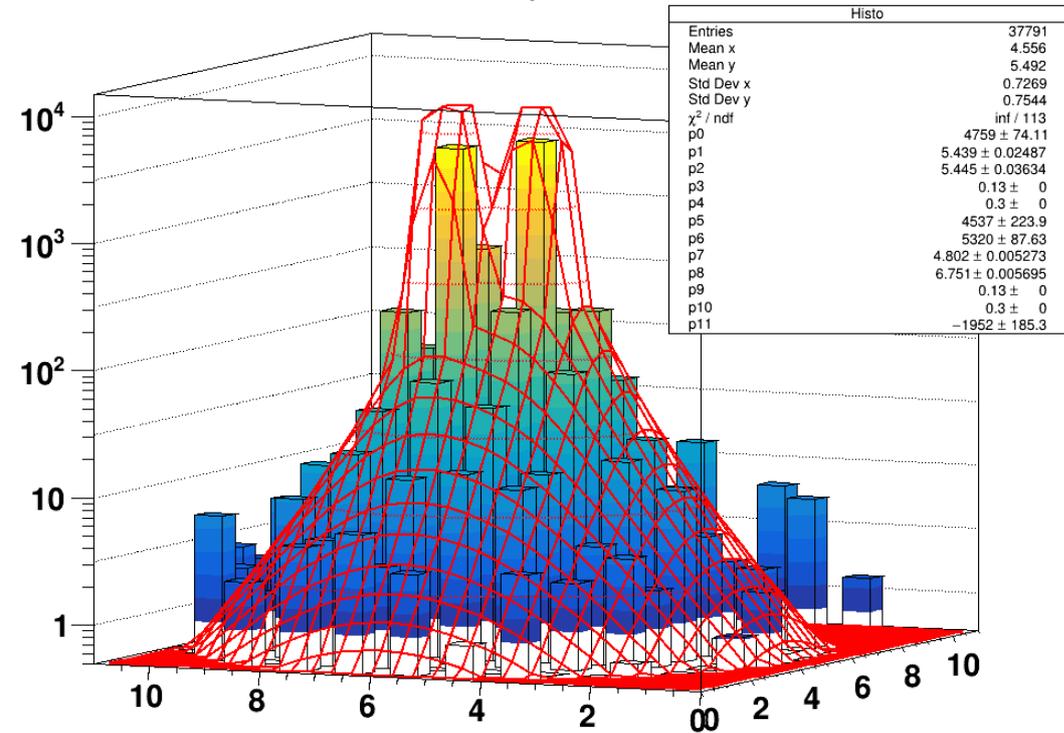
$$f(E, r) = \begin{cases} par[0] \cdot \exp(-r^4/par[3]) \\ par[0] \cdot \max(\exp(-r^4/par[3]), par[5] \cdot \exp(-r^{0.6}/par[4])) \end{cases}$$

$r = \sqrt{(x - par[1])^2 + (y - par[2])^2}$ далее именуется как фиттер.

- Величины параметров выбранных для фиксирования получаются при фитировании большого числа событий (1000) для случая попадания одной частицы с энергией 6 ГэВ.
- Для определения искомым величин задаются начальные координаты как координаты локальных максимумов. Далее итерационным методом величины энергии в кристалле перевешиваются согласно полученным результатам при фитировании.
- При заданных параметрах для обработки сигнала от фотонов с энергиями в 6 ГэВ на расстоянии 3см фиттер затрачивает 16.29 мкс, гауссу же требуется 6.96мкс. 3

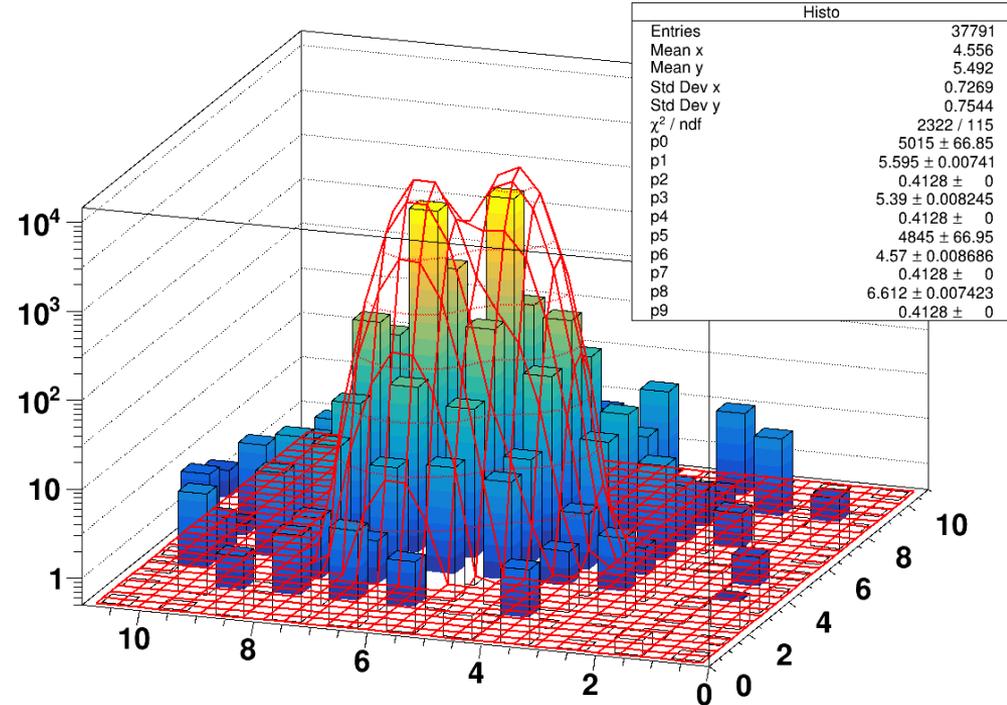
АППРОКСИМАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Edep XY



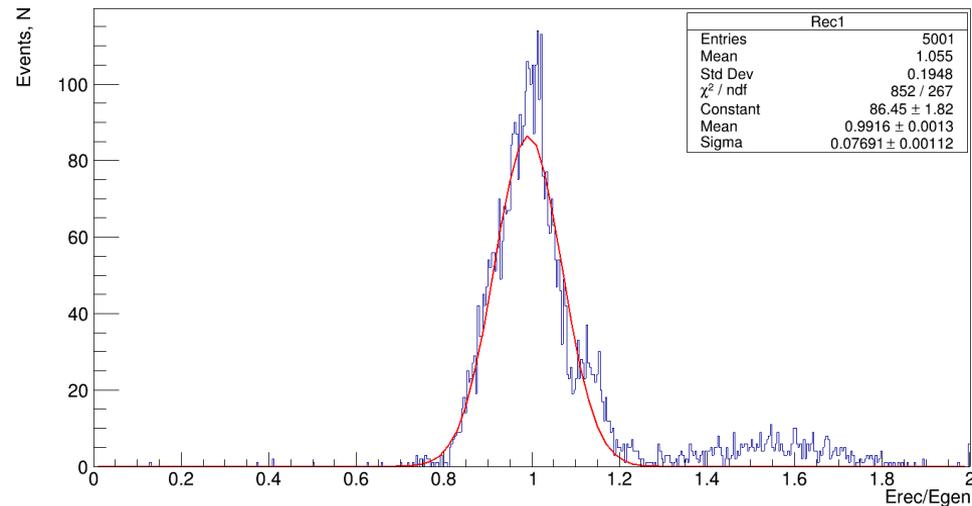
Функция Фиттер

Edep XY



Функция Гаусса

Восстановление энергии двух гамма квантов с энергией 6 ГэВ на разных расстояниях



Спектр величин отношения восстановленной энергии первой частицы к начальной энергии для фотонов с энергиями 6 ГэВ на расстоянии 3 см с применением функции Фиттер.

Energy division for 6GeV gamma vs Radius

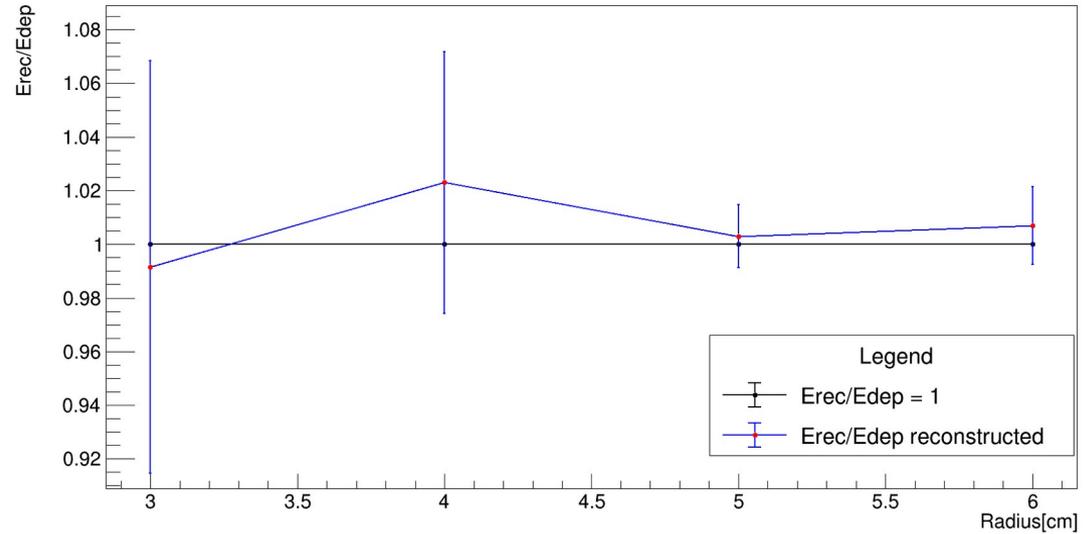
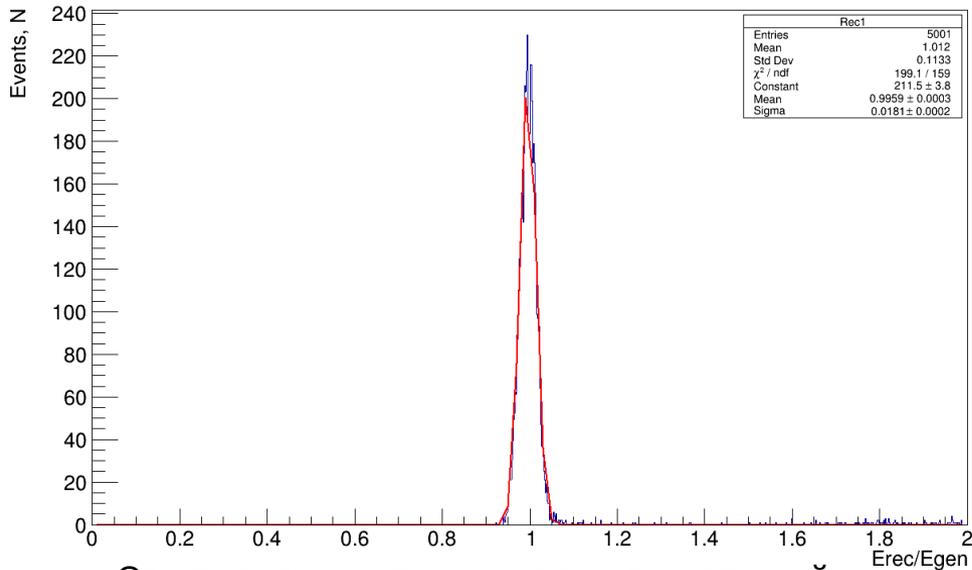


График зависимости отношения энергии реконструированной к энергии выделенной для гамма-кванта с энергией 6 ГэВ на разных расстояниях, данные получены с помощью функции фиттер.

Восстановление энергии двух гамма квантов с энергией 6 ГэВ на разных расстояниях

Energy division for 6GeV gamma vs Radius



Спектр величин отношения восстановленной энергии первой частицы к начальной энергии для фотонов с энергиями 6 ГэВ на расстоянии 3 см с применением функции Гаусса.

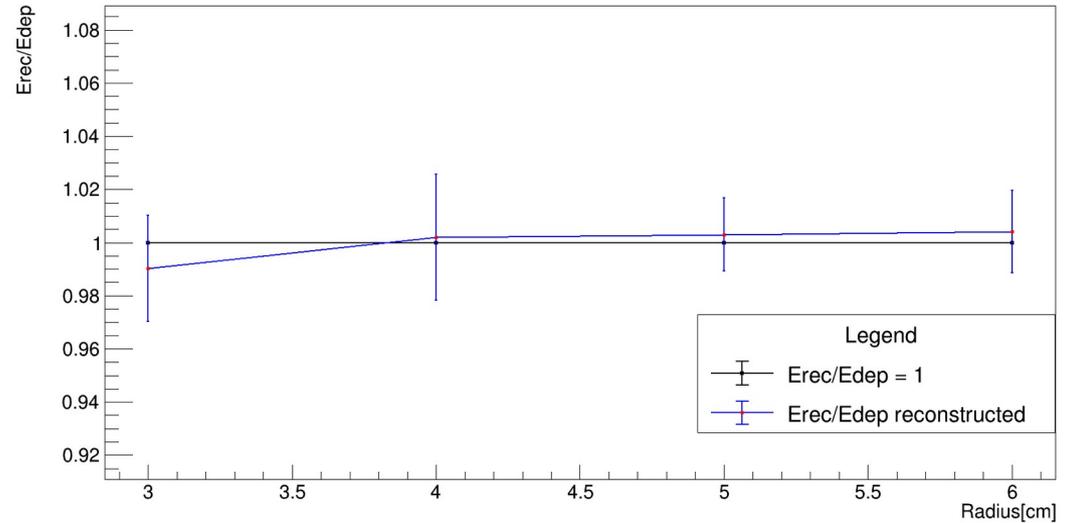
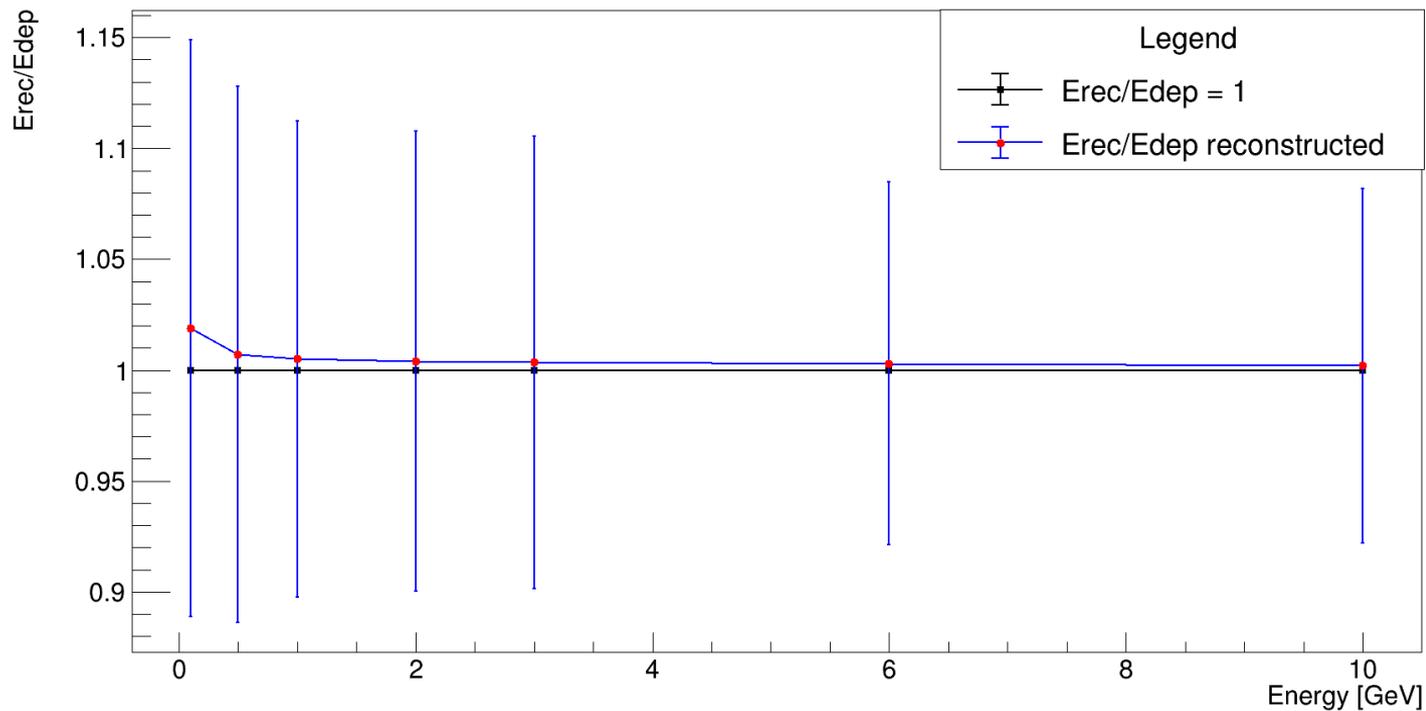


График зависимости отношения энергии реконструированной к энергии выделенной для гамма-кванта с энергией 6 ГэВ на разных расстояниях, данные получены с помощью функции гаусса.

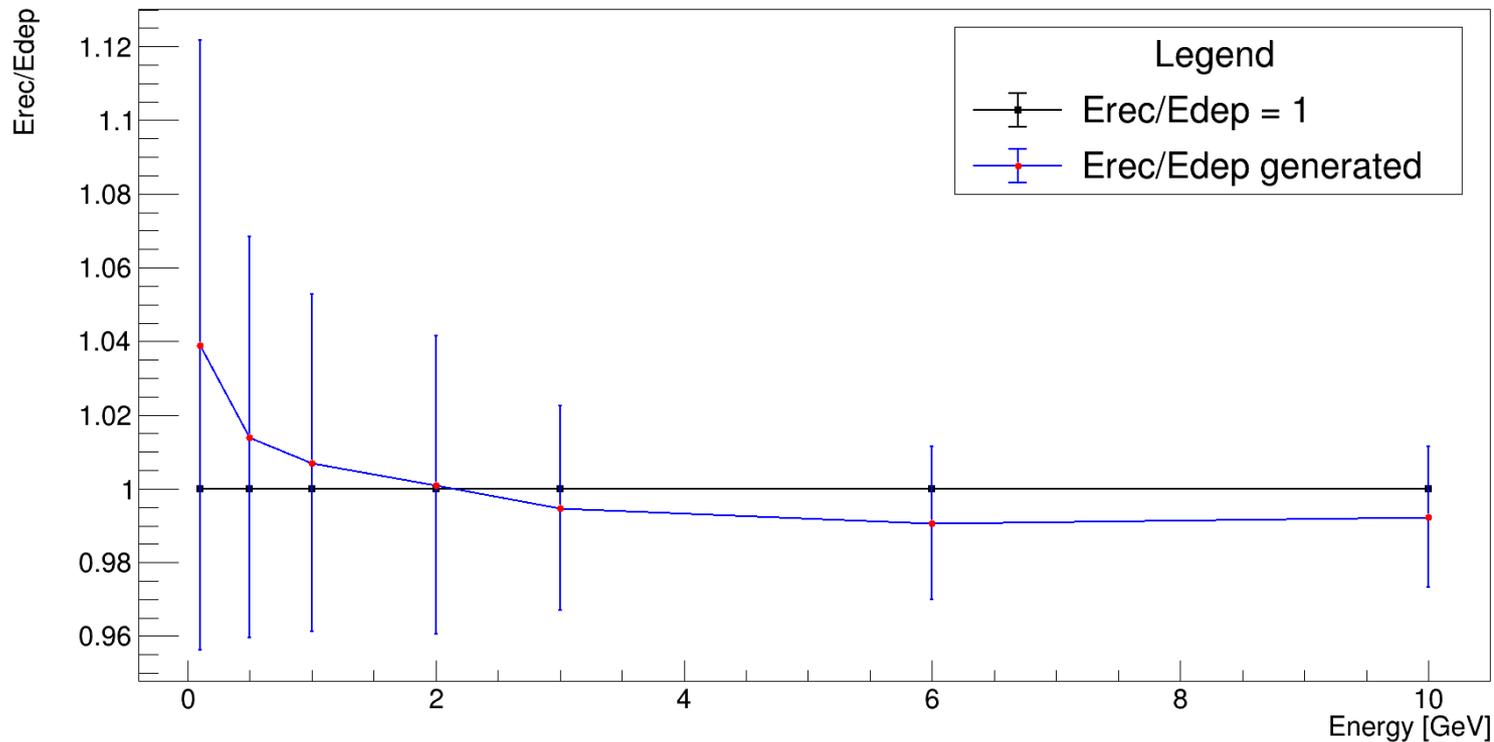
ЗАВИСИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ФОТОНОВ ОТ НАЧАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ

Energy division for 3cm vs energy by Fitter

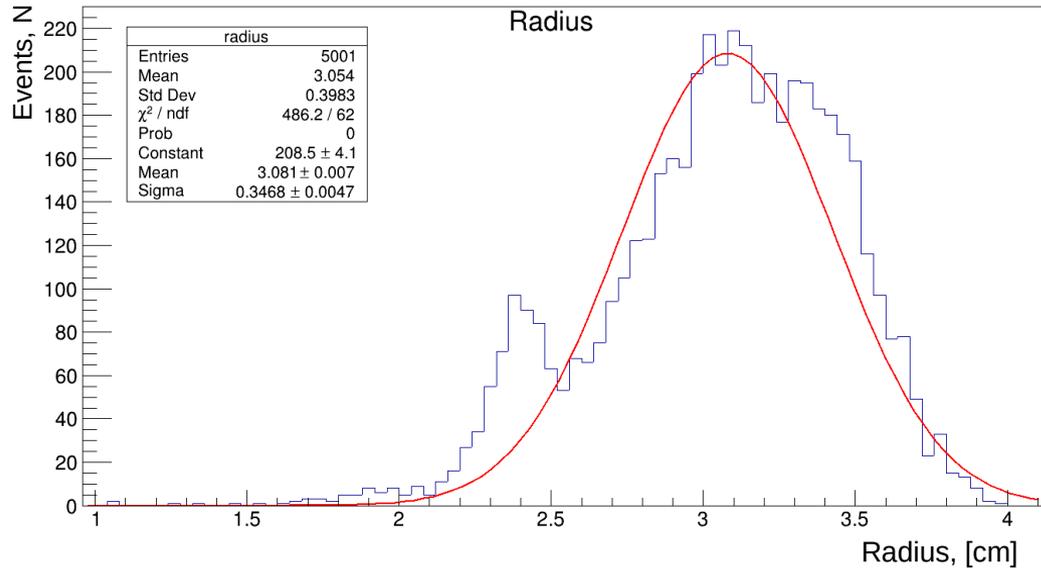


ЗАВИСИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ФОТОНОВ ОТ НАЧАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ

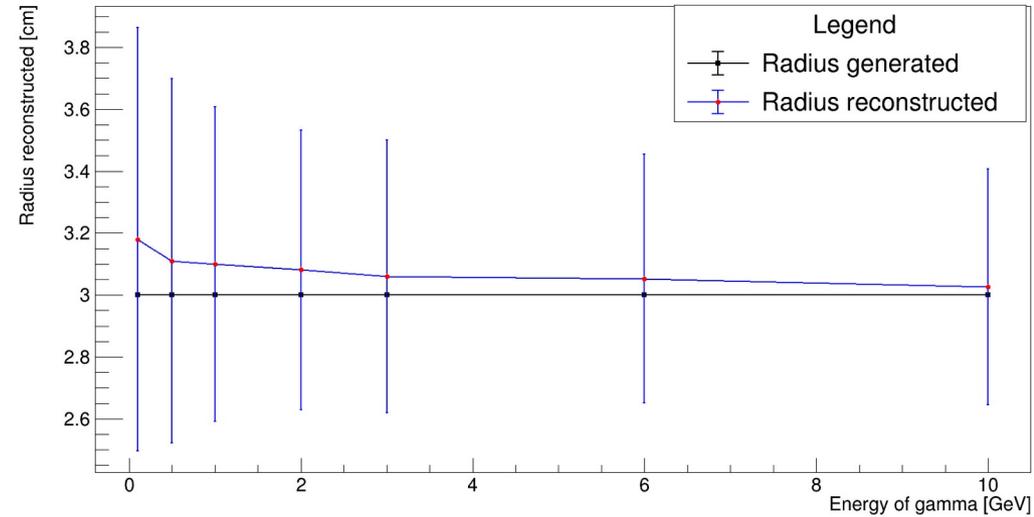
Energy division for 3cm vs energy by Gauss



ЗАВИСИМОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ЧАСТИЦАМИ ОТ ЭНЕРГИИ ФОТОНОВ



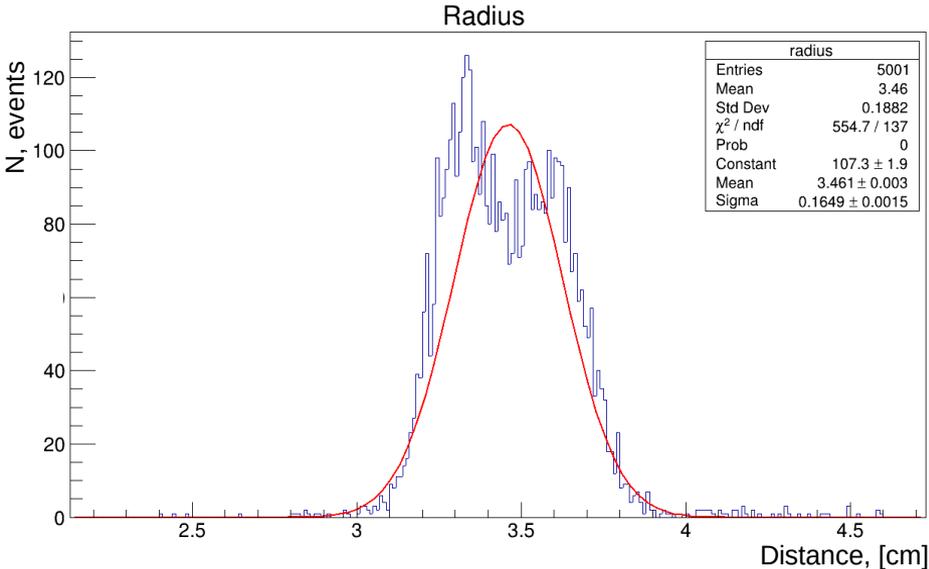
Распределение величины расстояния между разделенными кластерами для двух гамма квантов с энергией 6 ГэВ полученные с помощью функции фиттер.



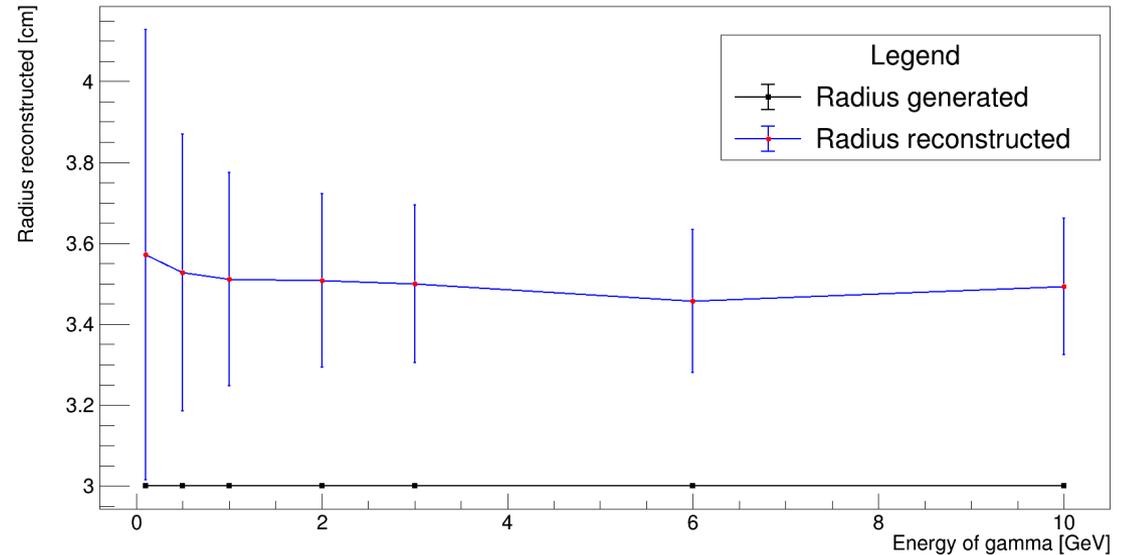
Зависимость восстановления значений расстояния между частицами от энергии фотонов с использованием функции гаусса.

ЗАВИСИМОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ЧАСТИЦАМИ ОТ ЭНЕРГИИ ФОТОНОВ

Radius reconstruction vs Energy of gamma by gauss



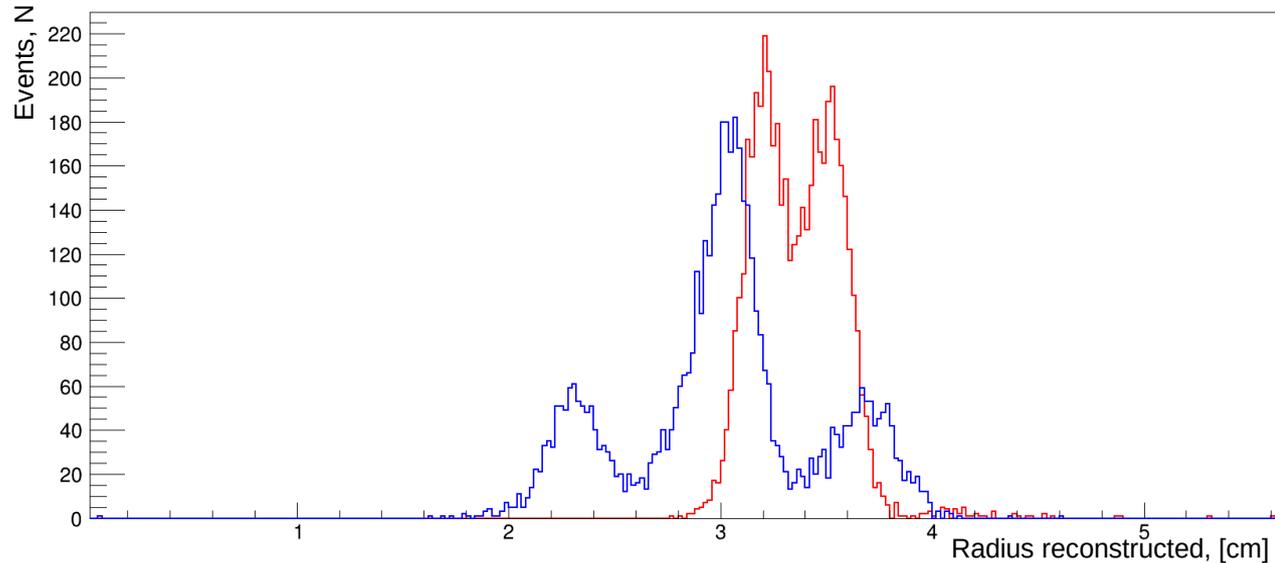
Распределение величины расстояния между разделенными кластерами для двух гамма квантов с энергией 6 ГэВ полученные с помощью функции гаусса.



Зависимость восстановления значений расстояния между частицами от энергии фотонов с использованием функции гаусса.

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ОПЦИЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ РАССТОЯНИЙ

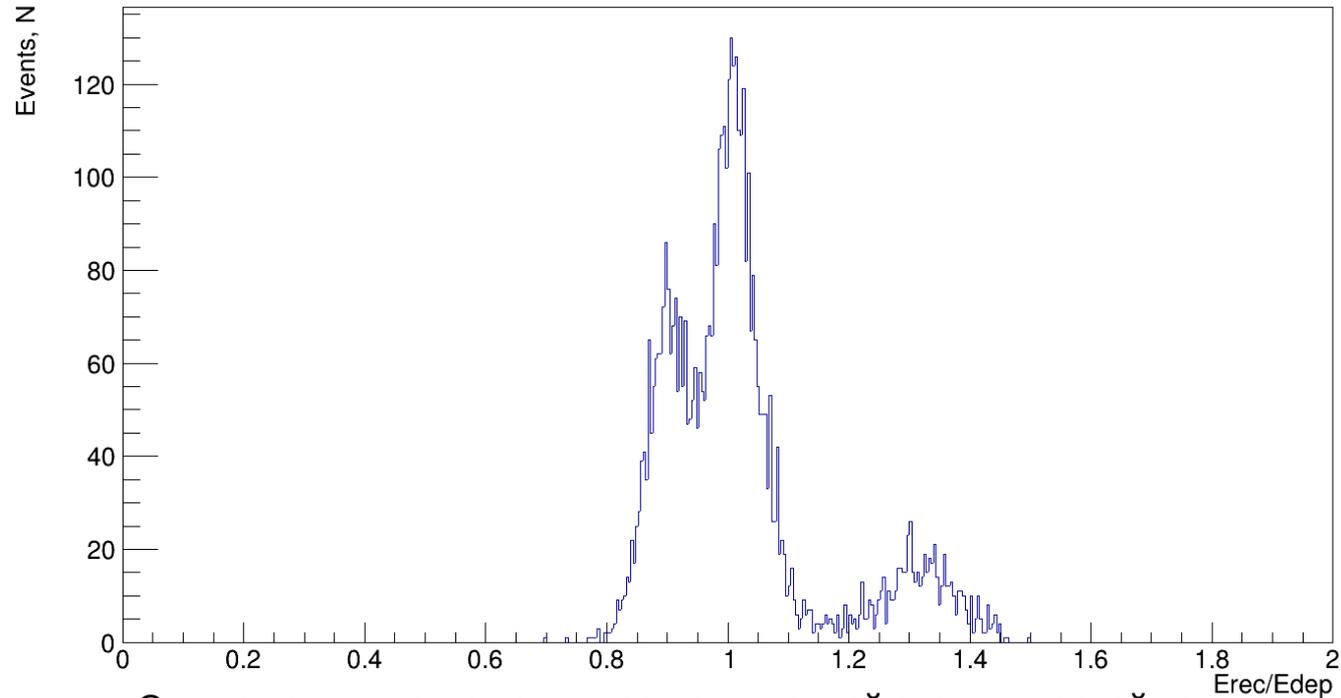
- Была рассмотрена возможность применения опций фита L, I, отсутствие опции.
- При рассмотрении опций фита был сделан вывод, что для функции фиттер применение I и L дают одинаковые результаты. Для функции Гаусса параметр I ухудшает результаты, параметр L и отсутствие параметра представлены на гистограмме.



Величины восстановленных расстояний для функции гаусса с использованием параметра L (красный) и отсутствия параметра (синий).

РАБОТА АЛГОРИТМА ПРИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ АСИММЕТРИИ ЧАСТИЦ

- В случае работы алгоритма для частиц с неравными энергиями функция Гаусса работает так же, как с равными частицами.
- Функция Фиттер же хуже восстанавливает расстояние между частицами.

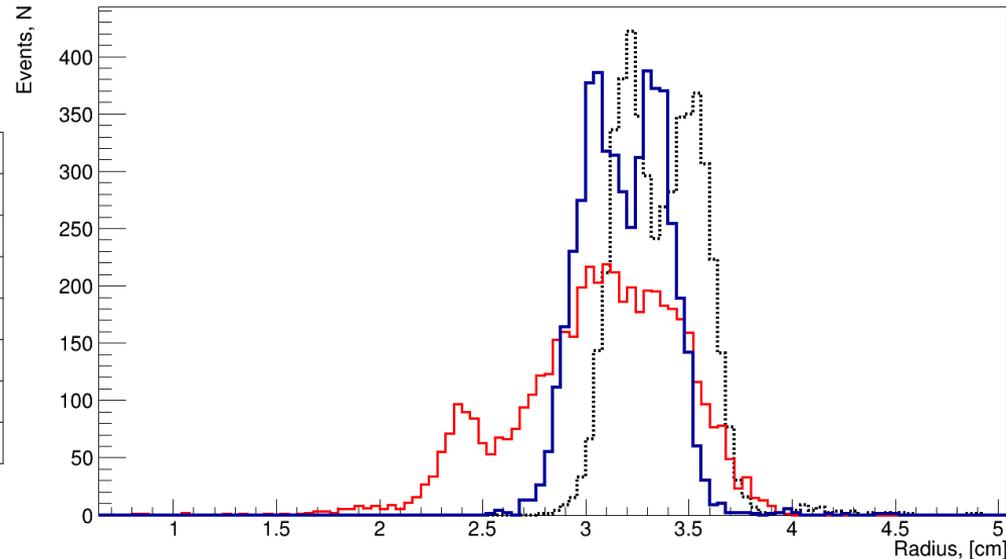


Спектр величин отношения восстановленной энергии первой частицы к начальной энергии для фотонов с энергиями 10 + 5 ГэВ на расстоянии 3 см с применением функции Фиттер.

ПРИМЕНЕНИЕ КАТОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ

Функция фита	Гаусс		Фиттер	
Наличие ката	⊕	⊖	⊕	⊖
Среднее значение R_{rec} [cm]	3.193	3.356	3.079	3.070
Стандартное отклонение R_{rec} [cm]	0.1697	0.1863	0.3880	0.3742
Процент событий в пике	99.1%	99.2%	98.5%	98.5%
Среднее значение E_{rec}/E_{dep}	0.9934	0.9904	0.9929	0.9981
Стандартное отклонение E_{rec}/E_{dep}	0.01987	0.02027	0.08355	0.08109
Процент событий в пике	98.2%	97.5%	89.2%	89.5%

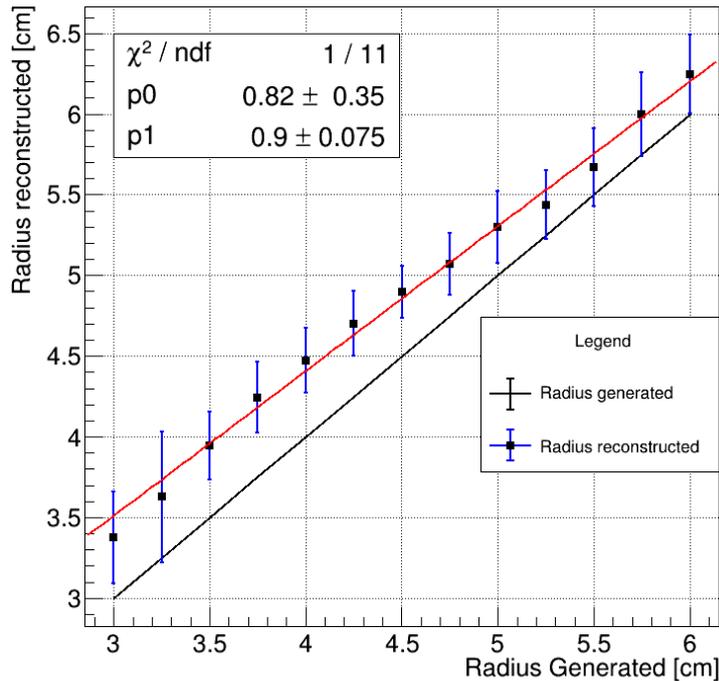
При приближении опыта к реальному эксперименту мы должны использовать каты, энергосодержанием в кристалле ниже чем 10 МэВ мы пренебрегаем.



Распределение величины восстановленного расстояния с применением выбранных функций. (Синий – Гаусс с катками, пунктир – Гаусс без катков, красный – Фиттер).

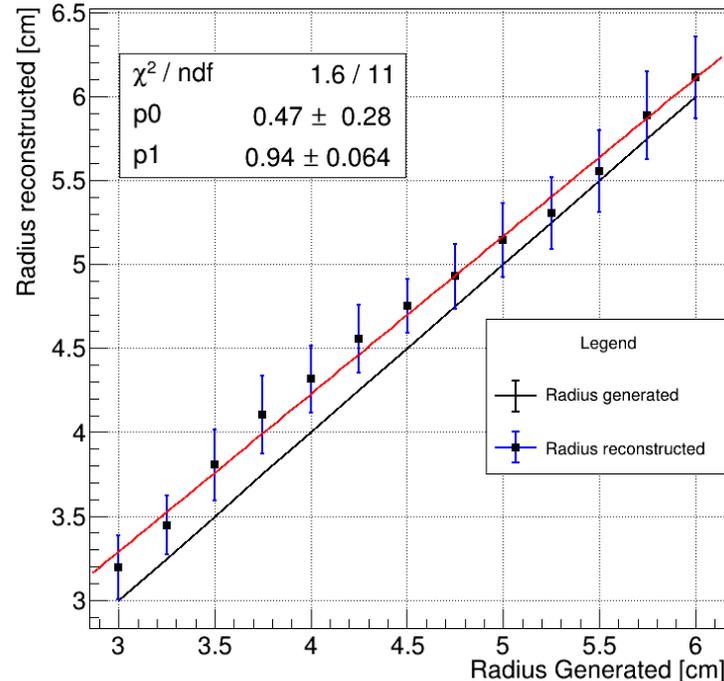
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ЧАСТИЦАМИ

Radius reconstruction vs Radius Generated



Восстановления расстояния для частиц с энергией 6Гэв на различных расстояниях с использованием функции гаусса без применения катодов.

Radius reconstruction vs Radius Generated



Восстановления расстояния для частиц с энергией 6Гэв на различных расстояниях с использованием функции гаусса с применением катодов.

Из полученных данных видно, применение катодов действительно улучшает результат определения координат центров ливней (отклонение от начальных данных, параметр p_0 , упало в два раза). При значениях расстояния более 4.5 см алгоритм восстанавливает значения в пределах погрешности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Была создана модель фотонного спектрометра PHOS.
- Была проведена проверка применимости модели для дальнейшего набора данных.
- Была проверена возможность алгоритма восстанавливать значения энергии, расстояния между частицами с применением различных функций для частиц с равными и асимметричными энергиями.
- Было проверено влияние наличия различных опций фитирования и применения катов на результат работы алгоритма.

- Полученные результаты могут говорить о том, что функция Гаусса, не смотря на неточное восстановление расстояния между частицами, все равно остается более предпочтительным вариантом для применения, нежели функция Фиттер. Возможна комбинация функций при обработке данных.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ОПЦИЙ ФИТА ДЛЯ ВЫБРАННЫХ ФУНКЦИЙ

Функция фита	Гаусс						Фиттер					
	3см			6см			3см			6см		
Параметр	L	I	None	L	I	None	L	I	None	L	None	
Среднее значение R_{rec} [cm]	3.385	2.687	3.007	6.252	5.937	6.006	3.054	3.039	3.051	6.010	6.058	
Стандартное отклонение R_{rec} [cm]	0.1882	0.1413	0.1432	0.1881	0.3209	0.3389	0.1706	0.4063	0.3880	0.2755	0.3549	
Процент событий в пике	98.9%	99.8%	59.7%	99.7%	100%	99.4%	99.3%	100%	99.0%	99.1%	99.9%	
Среднее значение E_{rec}/E_{dep}	0.991	1.009	1.009	1.004	1.005	1.005	0.998	1.019	0.989	1.007	0.998	
Стандартное отклонение E_{rec}/E_{dep}	0.01618	0.03946	0.01649	0.01453	0.03463	0.01540	0.08115	0.04312	0.05604	0.01762	0.02021	
Процент событий в пике	97.2%	99.8%	57.5%	99.26%	99.8%	99.6%	88.9%	99.3%	87.9%	97.9%	99.9%	

Данные были получены для 5000 событий в случае слияния двух кластеров гамма квантов с энергией каждого 6 ГэВ.
 Для 1000 событий для данных обработанных параметром I .

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗДЕЛЕНИЯ КЛАСТЕРОВ С РАЗНЫМИ ЭНЕРГИЯМИ

Функция фита	Гаусс						Фиттер		
Энергия частиц [GeV]	2+1		6+3		10+5		2+1	6+3	10+5
Параметр	L	None	L	None	L	None	L		
Среднее значение R_{rec} [cm]	3.357	2.986	3.345	2.935	3.339	3.006	2.988	3.028	3.022
Стандартное отклонение R_{rec} [cm]	0.2472	0.3203	0.2159	0.2196	0.1797	0.1419	0.598	0.3983	0.3495
Процент событий в пике	93.0%	82.0%	96.2%	72.4%	97.3%	61.7%	91.3%	93.7%	94.7
Среднее значение E_{rec1}/E_{dep1}	0.9847	0.9762	0.974	0.9902	0.9713	0.9904	0.9784	0.9736	0.9752
Стандартное отклонение E_{rec1}/E_{dep1}	0.02547	0.01671	0.50910	0.01641	0.01430	0.01525	0.07615	0.06905	0.07032
Процент событий в пике	87.4%	58.1%	90.5%	61.3%	89.2%	61.7%	76.4%	86.3%	85.9%
Среднее значение E_{rec2}/E_{dep2}	1.028	1.047	1.054	1.021	1.005	1.021	0.9902	1.054	1.007
Стандартное отклонение E_{rec2}/E_{dep2}	0.04425	0.05005	0.03816	0.03024	0.02835	0.02528	0.09236	0.09247	0.09817
Процент событий в пике	86.0%	57.8%	92.4%	60.7%	89.2%	59.1%	82.3%	89.3%	88.7%

Данные были получены для 5000 событий для случая двух гамма квантов на расстоянии 3см

ПЕРЕВЗВЕШИВАНИЕ

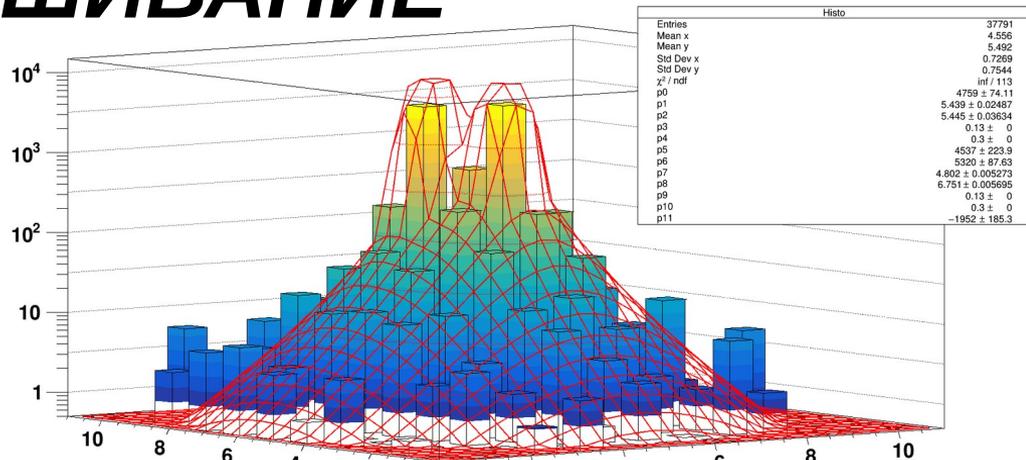
$$E_{1,2}^{ij} = E_{cell}^{ij} \frac{E_{func1,2}}{E_{func1} + E_{func2}}$$

Формула перевзвешивания энергетических вкладов в кристалле.

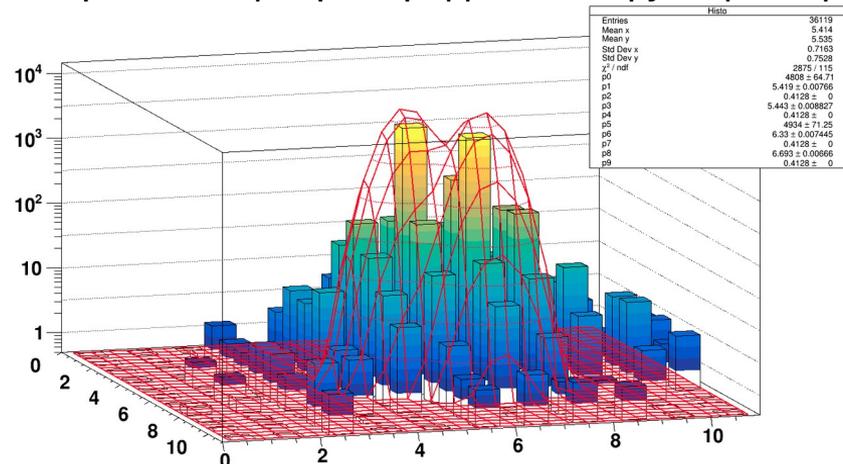
$E_{ij,1,2}$ – вклад от первой или второй частицы в i, j элементе сборки.

$E_{ij,cell}$ – суммарная энергия в i, j элементе сборки.

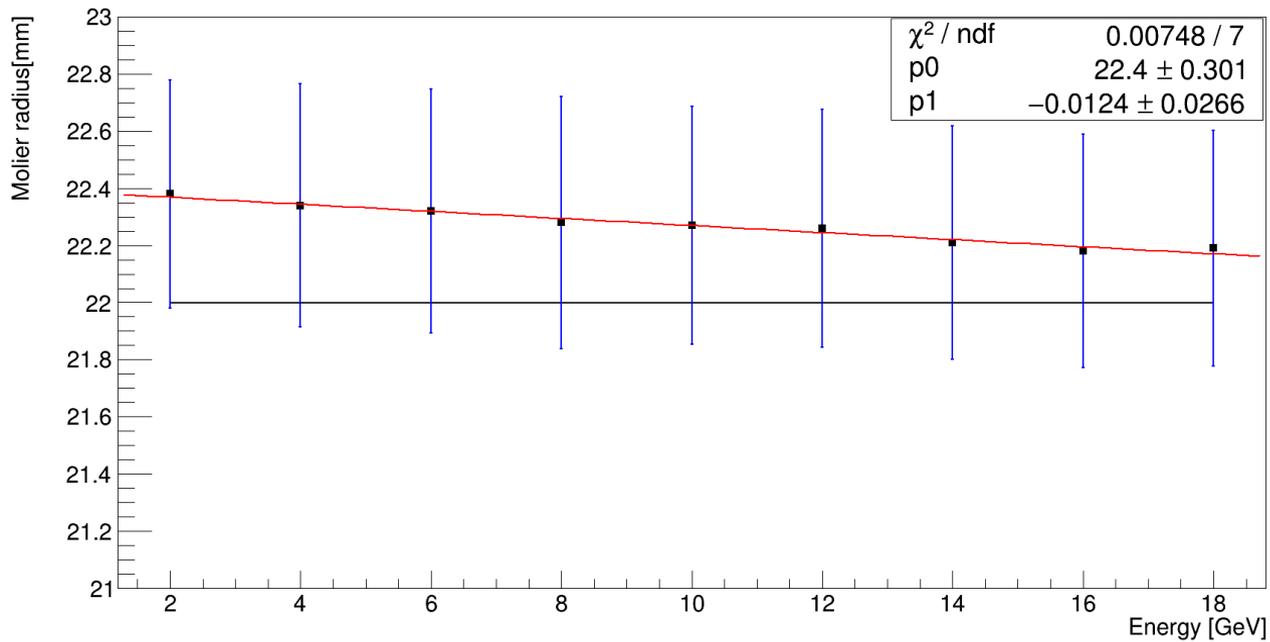
$E_{func1,2}$ – энергия в элементе сборки, полученная при аппроксимации функцией.



Аппроксимация распределения функцией фиттер



Аппроксимация распределения функцией гаусса



Зависимость величины восстановленного радиуса
Мольера от энергии фотона