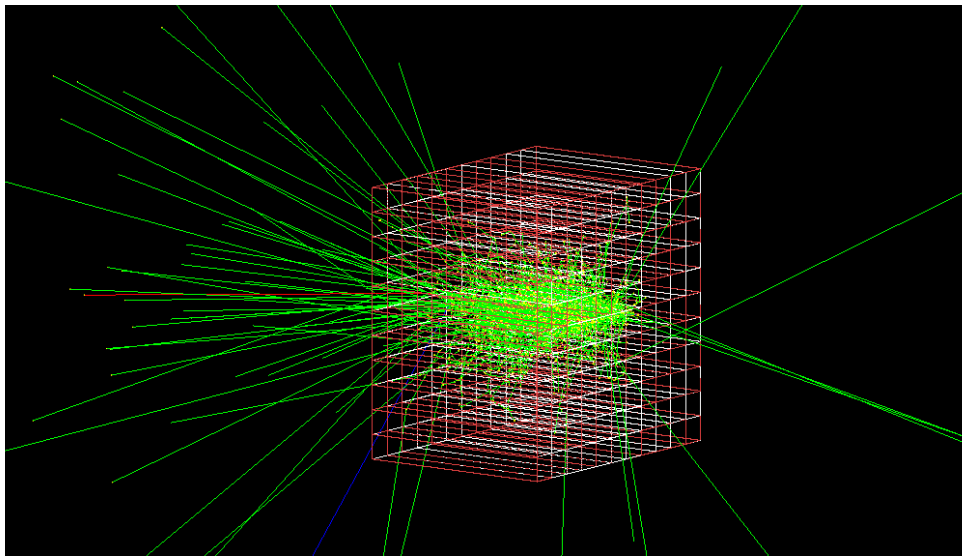


# *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РЕКОНСТРУКЦИИ  $\pi^0$  МЕЗОНОВ В  
ЭКСПЕРИМЕНТЕ ALICE ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРА PHOS В RUN3



Работу выполнил:  
Фоменко Г.Е.

Научный Руководитель  
Блау Д.С.

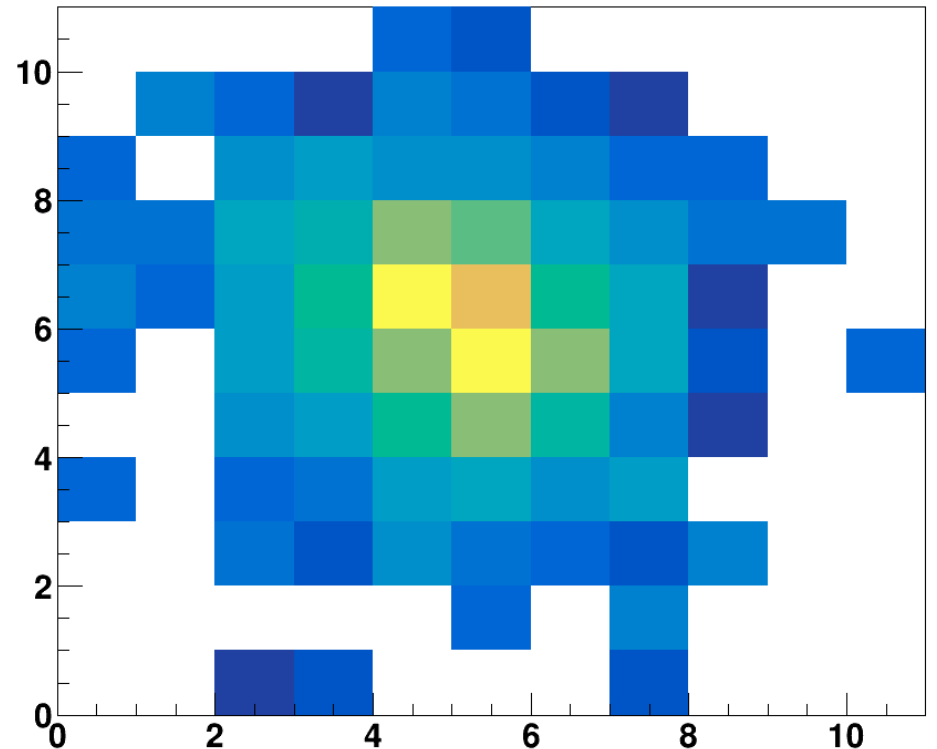
Москва 2022

# ***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  $\text{PbWO}_4$ .
- Электромагнитный ливень – образуется в ходе каскадных процессов при попадании фотона в калориметр
- Преобразование световой вспышки в электрический сигнал происходит посредством лавинного фотодиода

# ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- Цель работы: создание и оптимизация метода реконструкции  $\pi^0$  мезонов в эксперименте ALICE для спектрометра 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, восстановление инвариантной массы  $\pi^0$ .
- Решение: создать алгоритм, аппроксимирующий сигнал суммой выбранных функций, с наименьшим числом свободных параметров, для увеличения скорости работы.



Сигнал от двух 6ГэВ фотонов на расстоянии 3см друг от друга <sup>2</sup>

# РЕШЕНИЕ

$$E_n^{ij} = E_{cell}^{ij} \cdot \frac{E_n}{\sum_{i=1}^n E_k}$$

Формула перевзвешивания энергетических вкладов в кристалле.

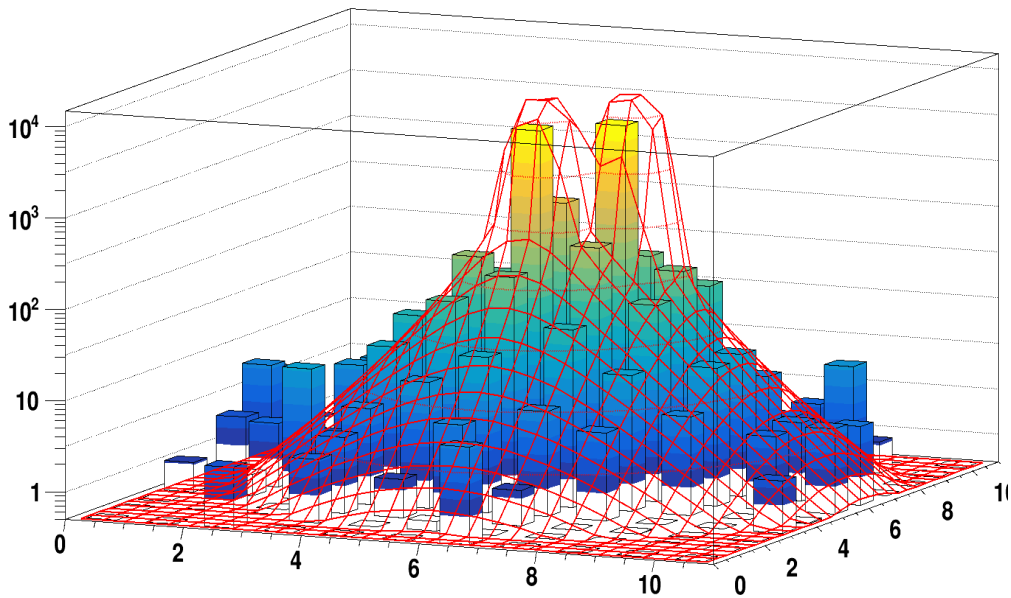
- Для аппроксимации выбраны две функции:  
1) Функция Гаусса.

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

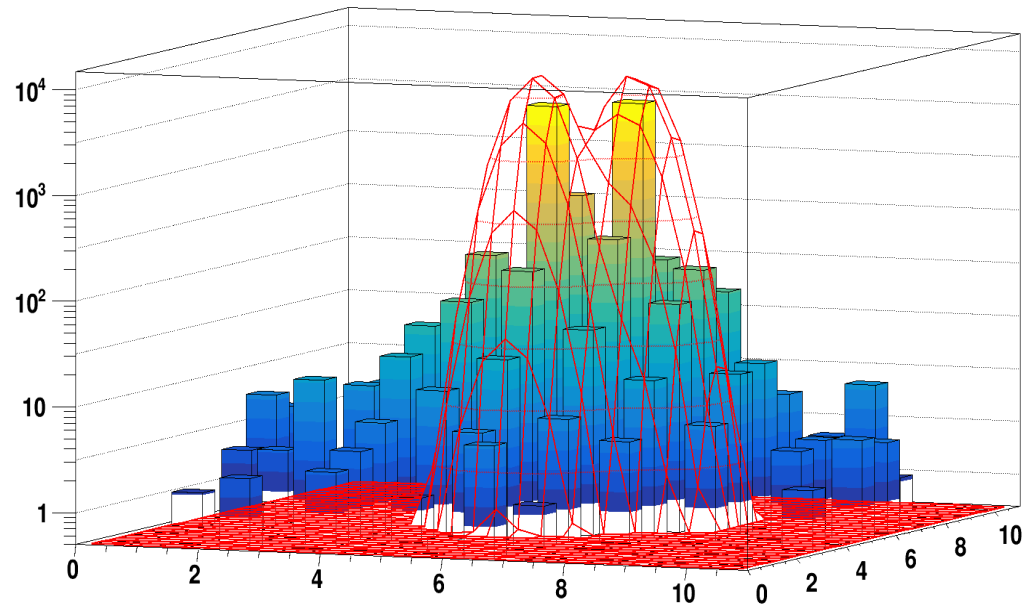
$$r = \sqrt{(x - par[1])^2 + (y - par[2])^2} \quad \text{далее именуется как фиттер.}$$

- 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 перевзвешиваются 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

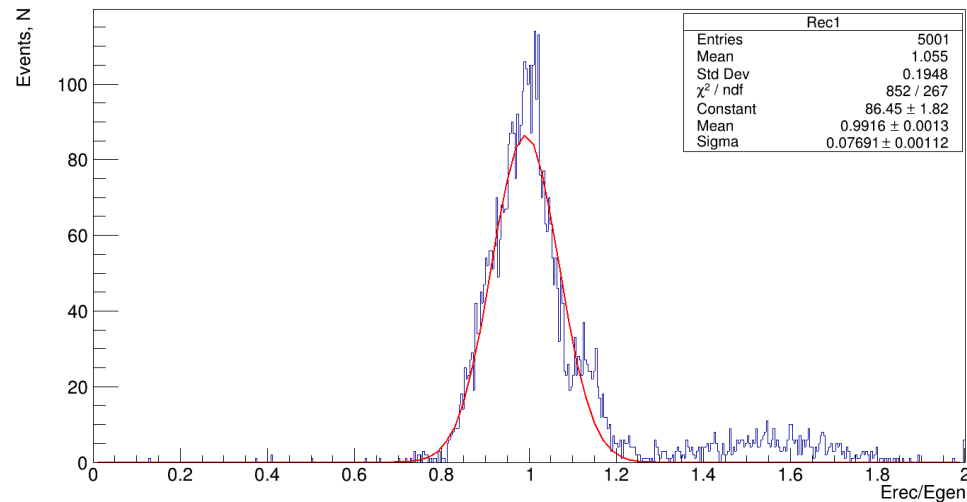


Функция Фиттер



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

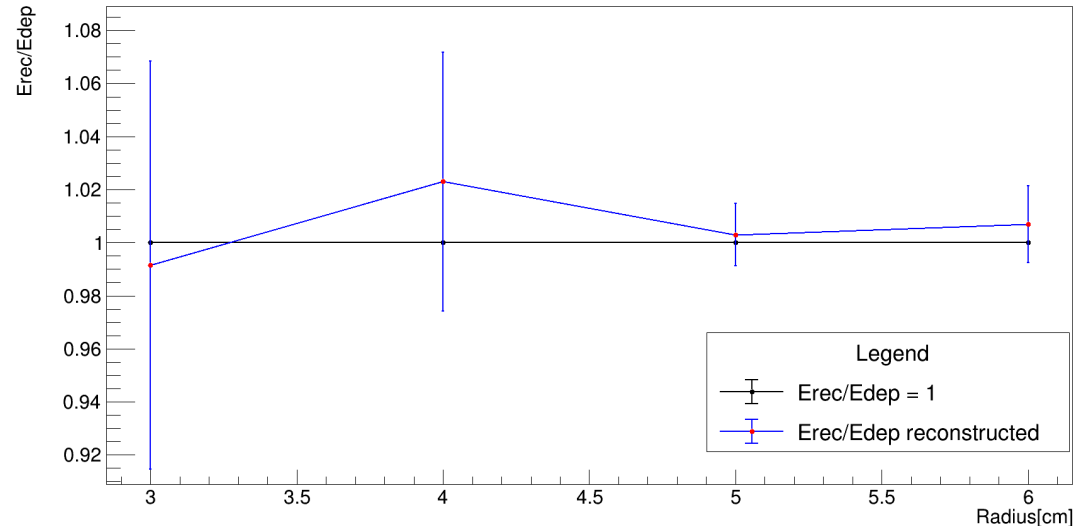
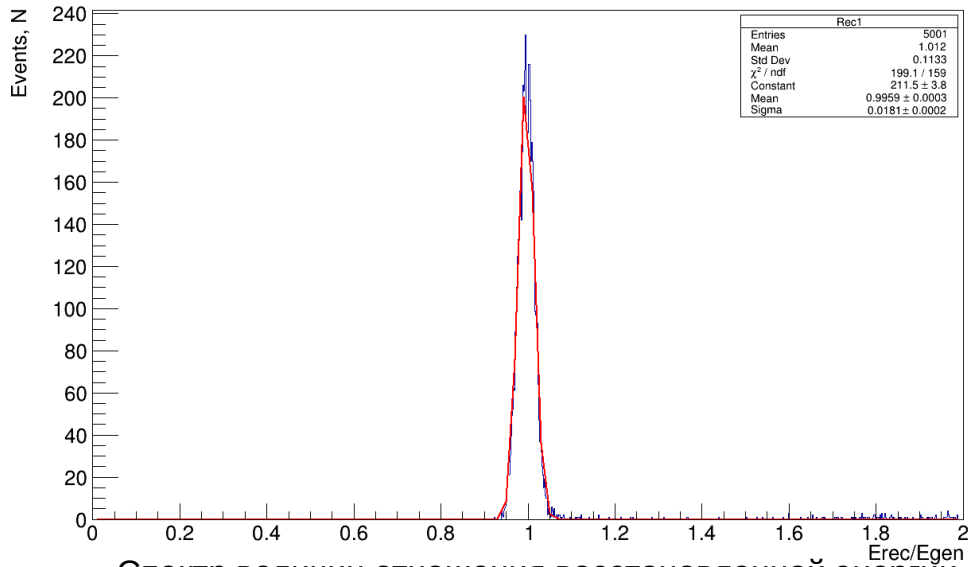


График зависимости отношения энергии реконструированной к энергии выделенной для гамма-кванта с энергией 6 ГэВ на разных расстояниях, данные получены с помощью функции фиттер.

# 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.

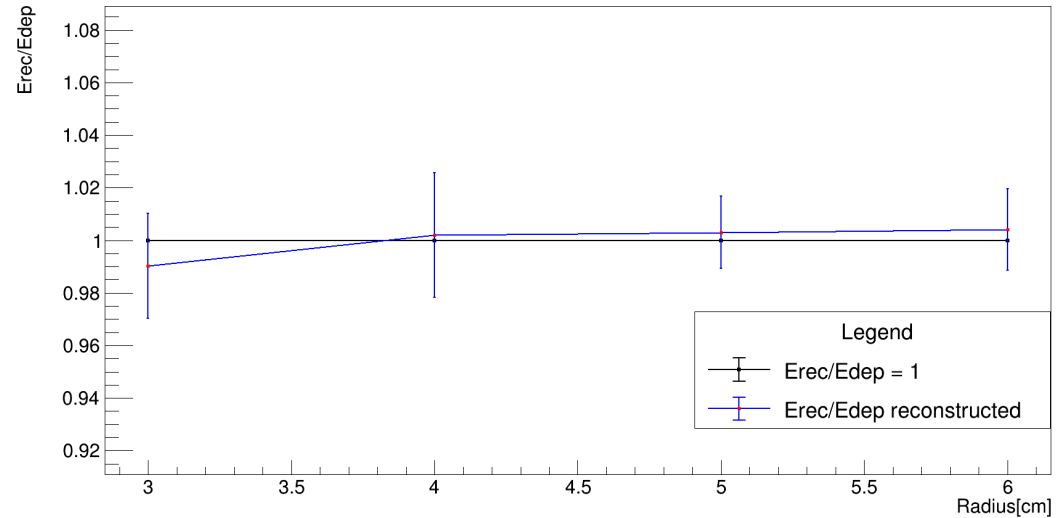
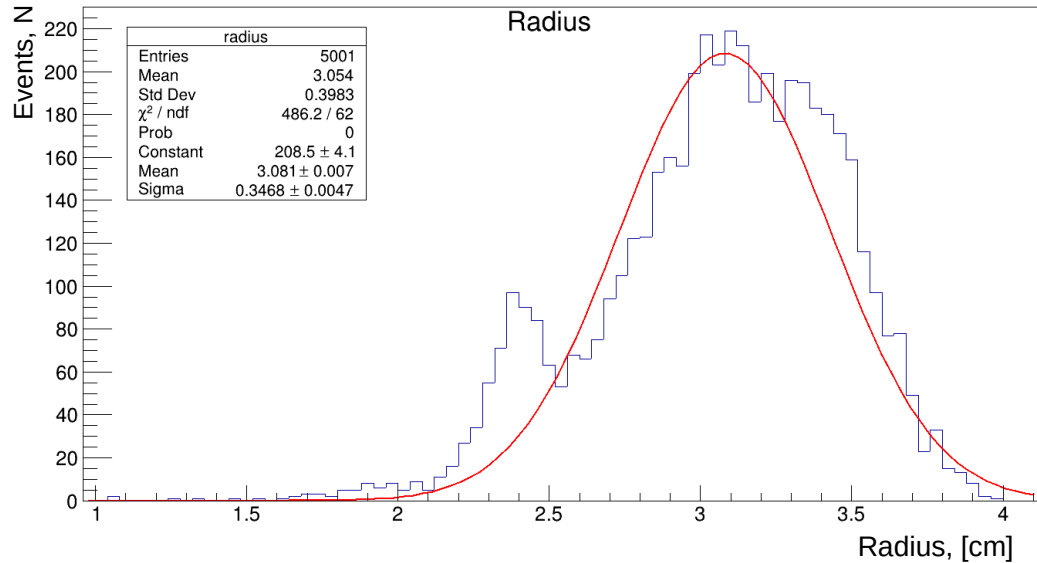
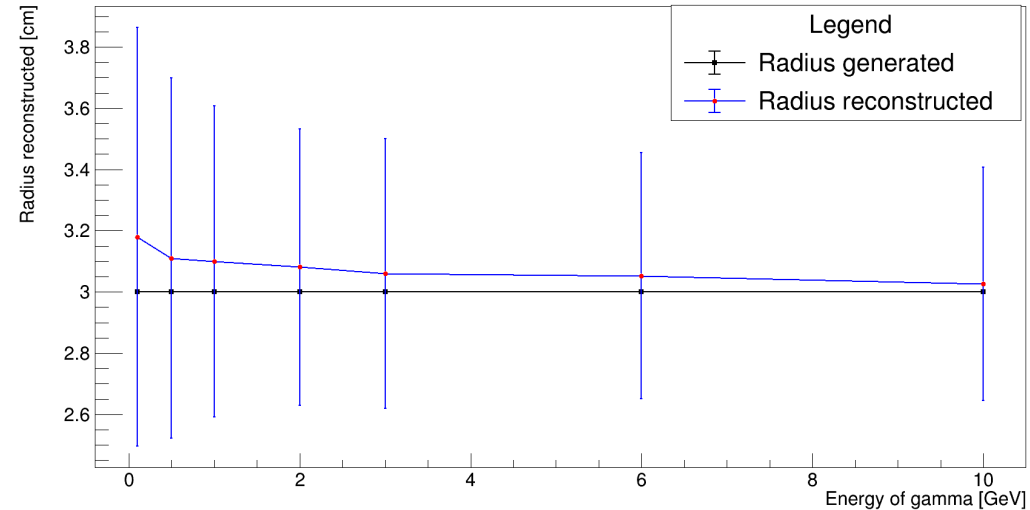


График зависимости отношения энергии реконструированной к энергии выделенной для гамма-кванта с энергией 6 ГэВ на разных расстояниях, данные получены с помощью функции гаусса.

# ЗАВИСИМОСТЬ 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.

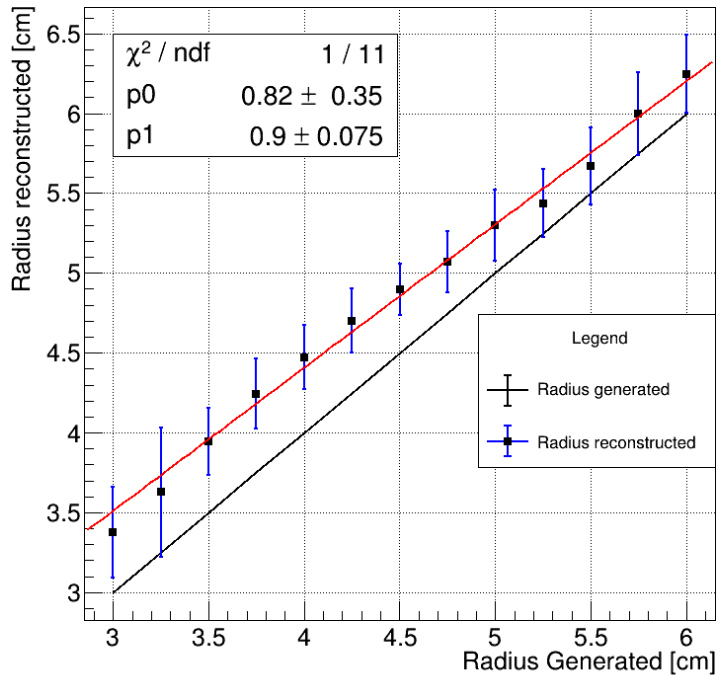


Зависимость восстановления значений расстояния между частицами от энергии фотонов с использованием функции Фиттер.



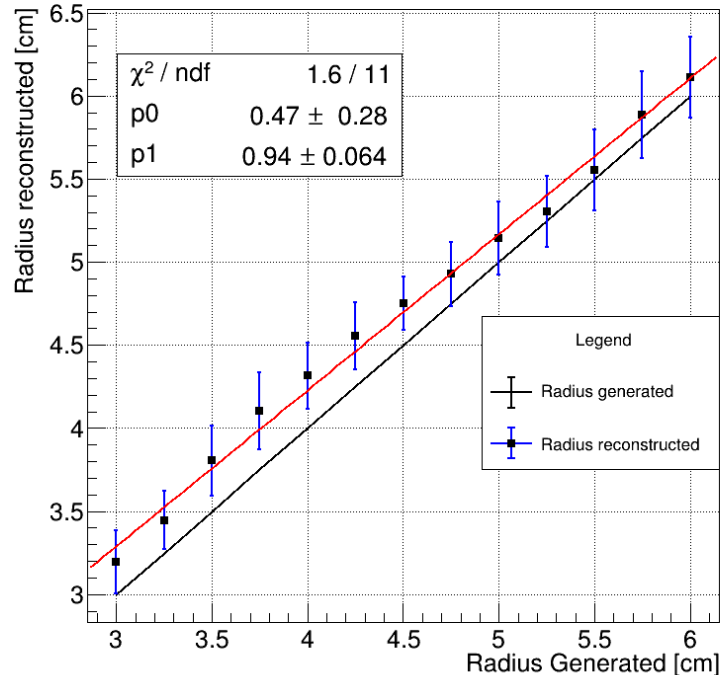
# ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ЧАСТИЦАМИ

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

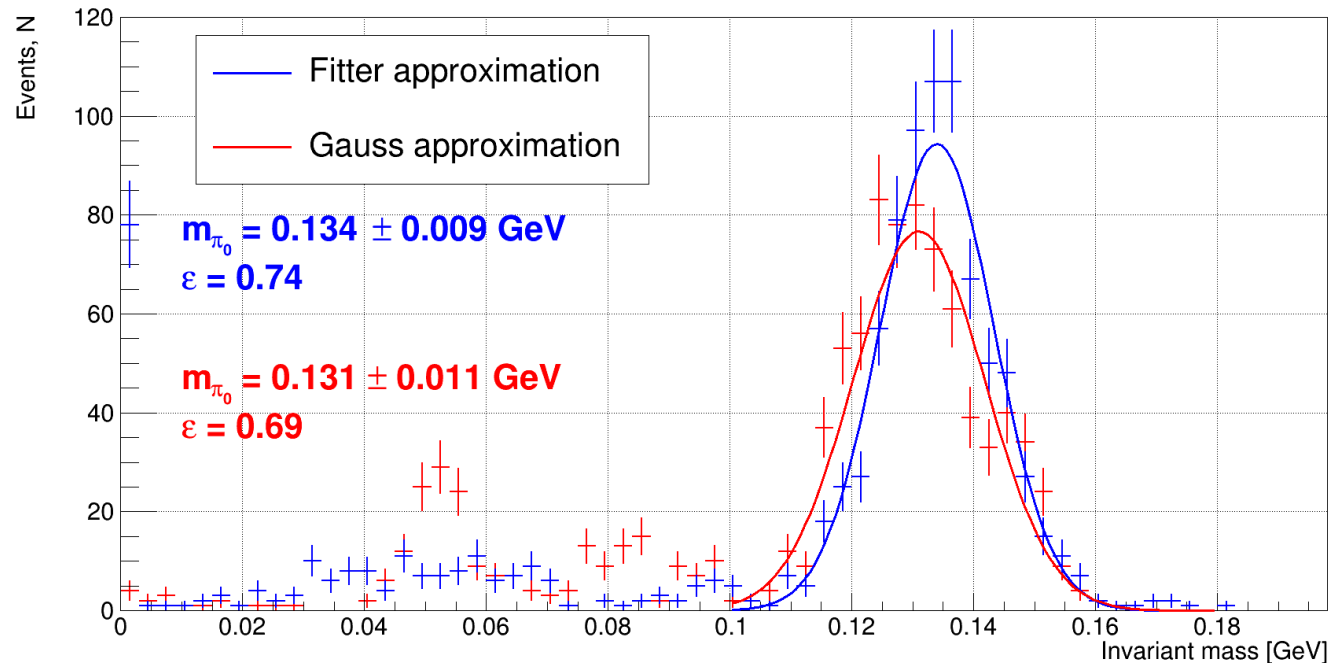


Восстановления расстояния для частиц с энергией 6Гэв на различных расстояниях с использованием функции гаусса с применением катодов.

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.

# ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИНВАРИАНТНОЙ МАССЫ $\pi^0$ .

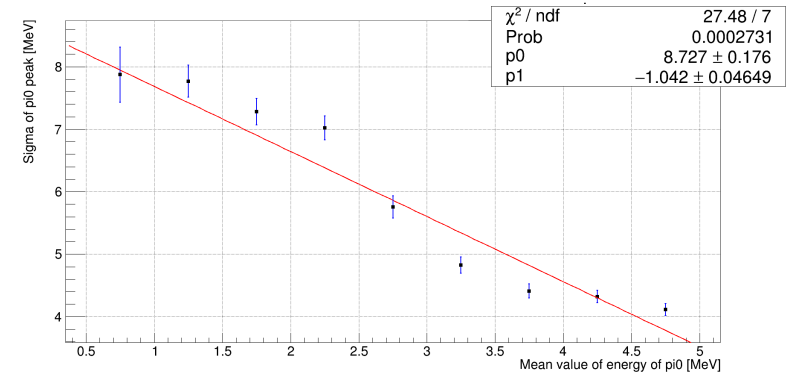
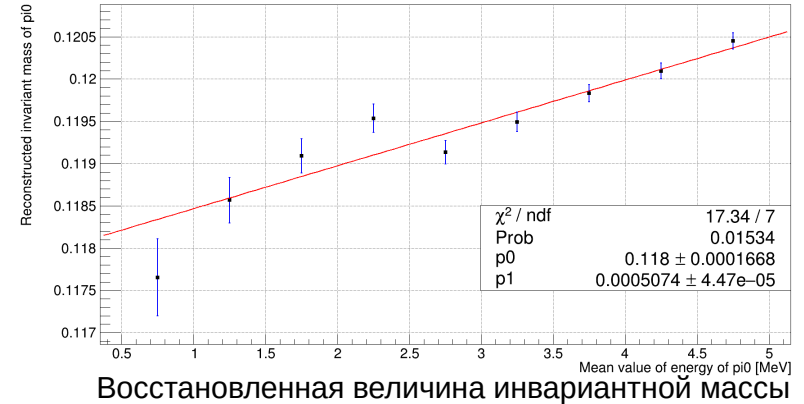
Для проверки работоспособности алгоритма, было принято решение восстановить инвариантную массу 40 ГэВ  $\pi^0$ . Данные для восстановления инвариантной массы были получены с помощью симуляции в среде GEANT4, объем статистики составил 1000 событий.



Распределение величины восстановленной инвариантной массы  $\pi^0$  с использованием функции Гаусса и Фиттера.

# ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДЫ O2 ДЛЯ СИМУЛЯЦИИ ДАННЫХ

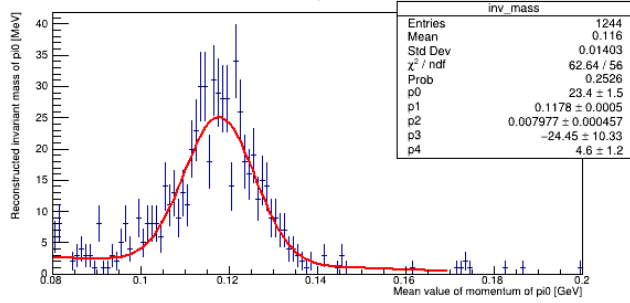
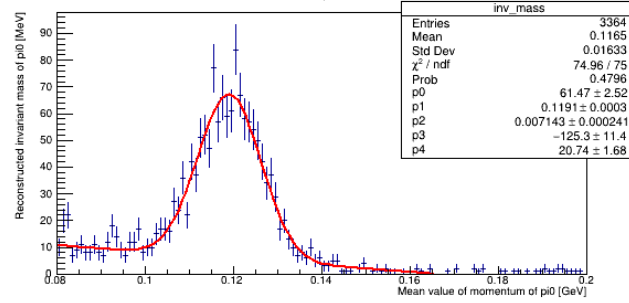
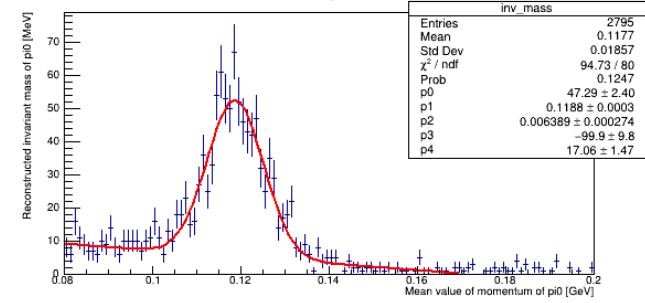
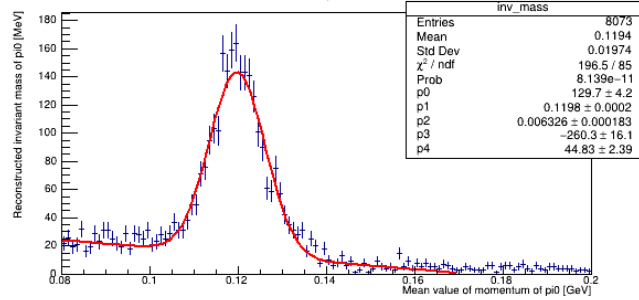
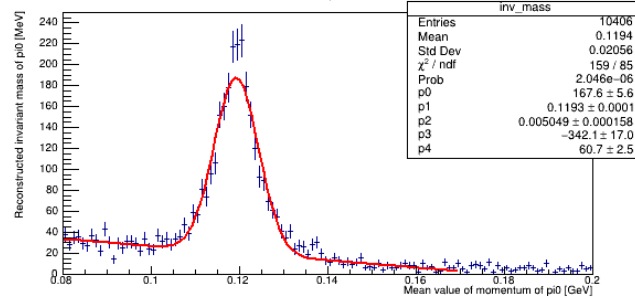
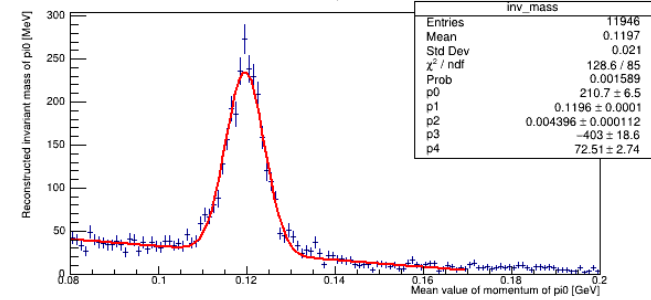
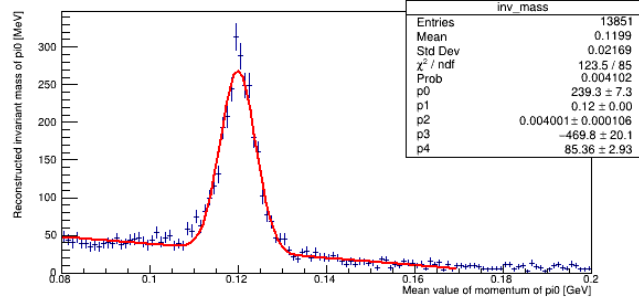
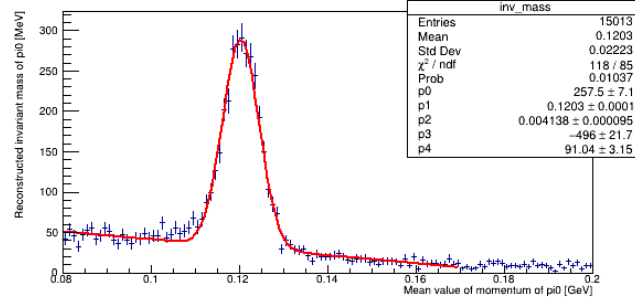
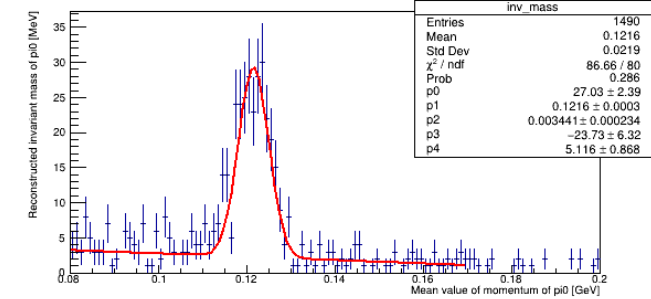
- Следующим этапом в разработке методов по реконструкции  $\pi^0$  стало применение среды для симуляции O2, разработанной для Run3 на LHC.
- В ходе работы с пакетом программ O2 была получена инвариантная масса для частиц с различными энергиями, были получены зависимости величины  $\pi^0$  пика и его ширины, от начальной энергии. В дальнейшем эти данные будут применены для определения функции нелинейности детектора.



# 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.
- Была проверена работоспособность алгоритмов для восстановления инвариантной массы  $\pi^0$ , была получена эффективность восстановления инвариантной массы алгоритмами.
- Полученные результаты могут говорить о том, что и функция Гаусса и функция Фиттер справились с задачей по восстановлению инвариантной массы  $\pi^0$ -мезона. Функция Гаусса имеет более низкую эффективность и более высокую погрешность восстановления величины инвариантной массы. При этом функция Гаусса имеет преимущество по скорости работы алгоритма перед алгоритмом с функцией Фиттер.
- Были получены значения инвариантных масс  $\pi^0$  при различных энергиях частицы. По этим данным были построены зависимости инвариантной массы и ширины пика инвариантной массы от энергии.
- В дальнейшем планируется определение функции нелинейности инвариантных масс  $\pi^0$  и освоение пакета программ для обработки данных O2-physics.

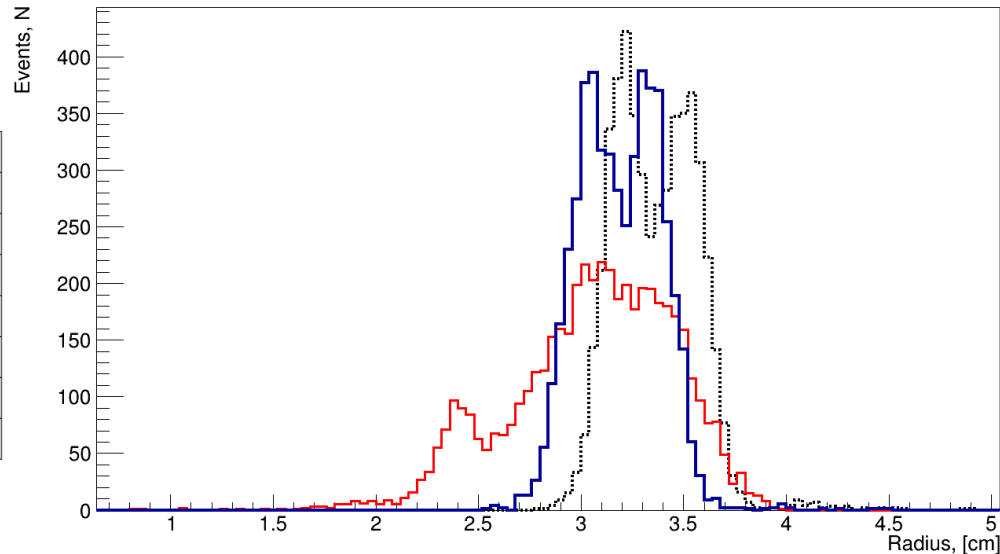
***СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ***

Invariant mass of  $\pi^0$  for 0.5-1 GeVInvariant mass of  $\pi^0$  for 1-1.5 GeVInvariant mass of  $\pi^0$  for 1.5-2 GeVInvariant mass of  $\pi^0$  for 2-2.5 GeVInvariant mass of  $\pi^0$  for 2.5-3 GeVInvariant mass of  $\pi^0$  for 3-3.5 GeVInvariant mass of  $\pi^0$  for 3.5-4 GeVInvariant mass of  $\pi^0$  for 4-4.5 GeVInvariant mass of  $\pi^0$  for 4.5-5 GeV

# 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 катом, пунктир – Гаусс без катов, красный – Фиттер).

# 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

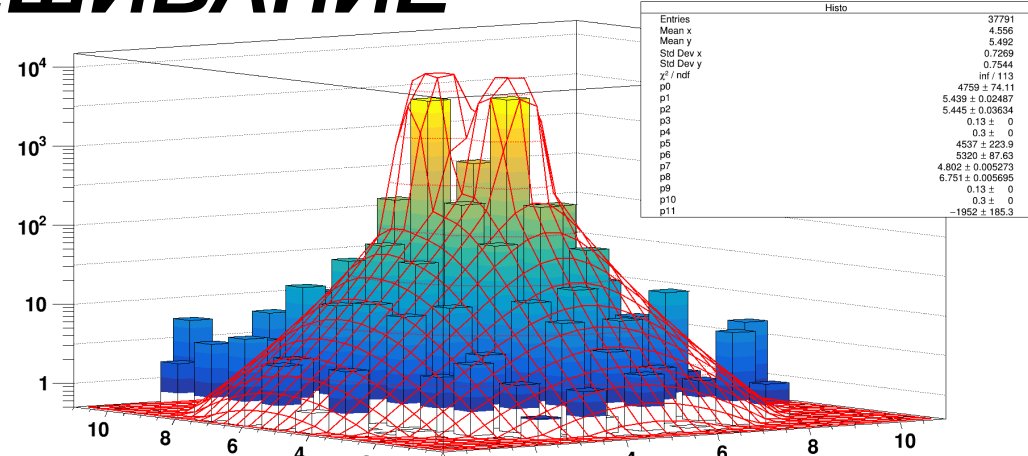
$$E_{1,2}^{ij} = E_{cell}^{ij} \frac{E_{func1,2}}{E_{func1} + E_{func2}}$$

Формула перевзвешивания энергетических вкладов в кристалле.

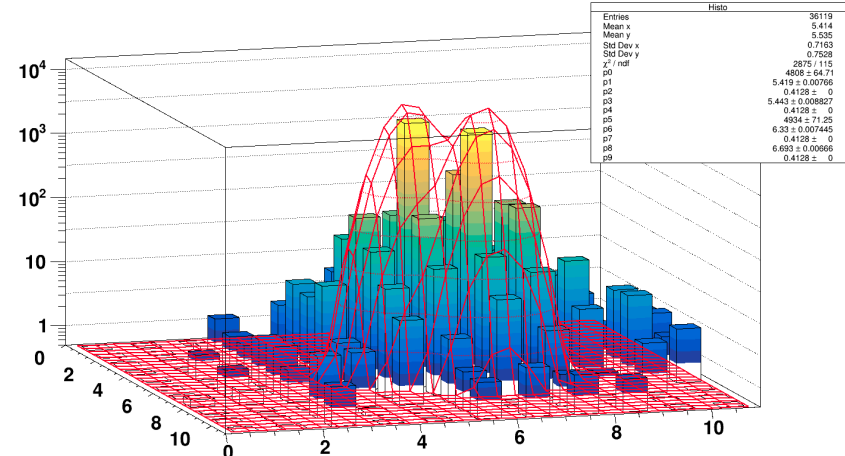
$E_{1,2}^{ij}$  – вклад от первой или второй частицы в  $i,j$  элементе сборки.

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

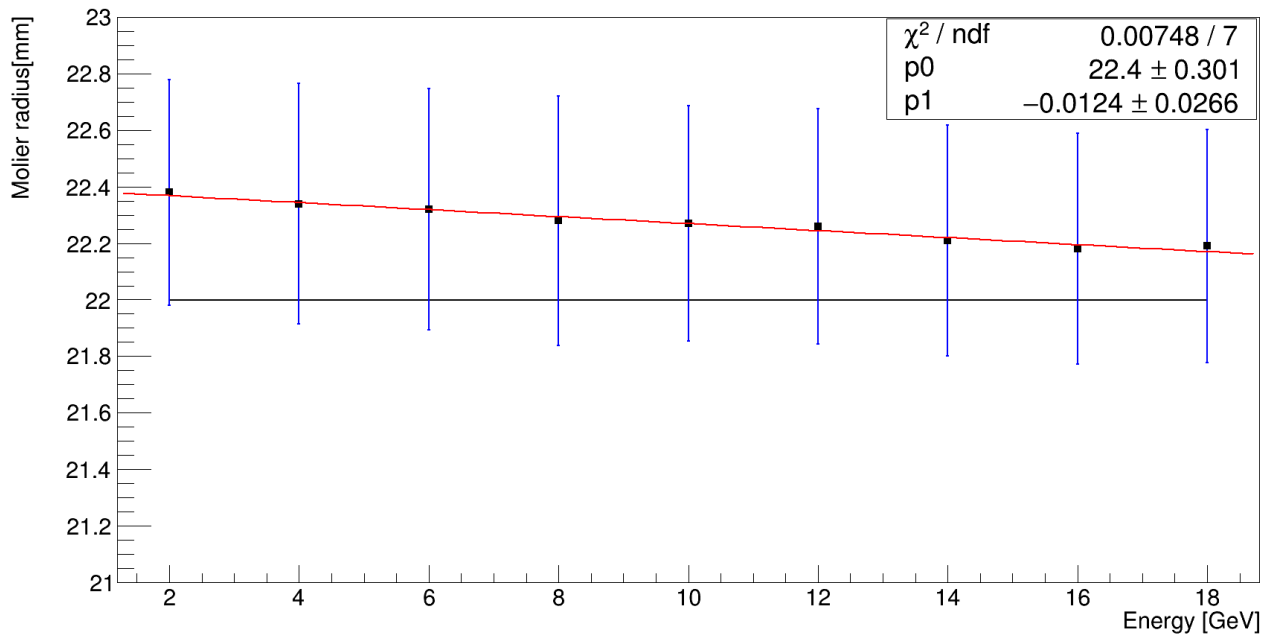
$E_{func1,2}$  – энергия в элементе сборки, полученная при аппроксимации функцией.



Аппроксимация распределения функцией фиттер



Аппроксимация распределения функцией гаусса



Зависимость величины восстановленного радиуса  
Мольера от энергии фотона