

JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

Veksler and Baldin laboratory of High Energy Physics

**FINAL REPORT ON THE**

**INTEREST PROGRAMME**

*Soft Photon study in hadron and nuclear interactions*

**Supervisor:**

#### Prof Elena Kokoulina

**Student:**

Marina Ritareva, Belarus  
Gomel State University

**Participation period:**

November 02 – December 11, Wave 2

Dubna, 2020

**Резюме**

Разработана модель гетерогенного электромагнитного калориметра типа "шашлык" на основе кристаллов LYSO с низким порогом регистрации фотонов. Моделирование работы этого калориметра выполнено методом Монте-Карло. Проведены оценки энерговыделения при облучении кристаллических плоскостей LYSO мягкими фотонами, приведены графики распределений энерго выделения. На основе выполненного моделирования сделаны выводы и подведены итоги проделанной работы.

**Report**

**Keywords:** GEANT4, Monte Carlo simulation, an electromagnetic calorimeter, soft photons.

**Object of research:** soft photons, an electromagnetic calorimeter.

**Subject of research:** transmission of soft photons through the crystal and absorber matter.

**Research methods:** computer simulation of soft photon propagation through a medium using the Geant4 software package.

**Objective:** to design a software module for modeling the process of soft photons passing through a crystal based on the GEANT4 package.

**Subject of study:**

1. Use GEANT4 software to create a computer model for description of the soft photon propagation through crystal and absorbing medium.
2. Monte Carlo simulation of the operation of an electromagnetic calorimeter of the "shashlik" type.

**Conclusions:** the project results are: a computer model of the calorimeter; a computer experiment for soft photons with an energy of E < 50 MeV.

**СОДЕРЖАНИЕ**

[**Введение** 5](#_Toc58799192)

[**1.** **Описание пакета GEANT4** 7](#_Toc58799193)

[1.1. Geant4. Структура 7](#_Toc58799194)

[1.2. Порядок работы с Geant4 8](#_Toc58799195)

[**2.** **Элементы компьютерной модели** 9](#_Toc58799196)

[**Список использованных источников** 15](#_Toc58799197)

# **Введение**

В настоящее время в экспериментальной физике высоких энергий применяют все более сложную технику, увеличивая количество элементов в каждой новой установке, занимающей порой огромное пространство. Расширяется тематика исследований, наряду с проверкой стандартной модели, проводятся эксперименты по поиску носителей темной материи, сигналов нарушения стандартной модели и другие.

Свойства элементарных частиц изучаются в экспериментах на ускорителях. Наряду с экспериментами, выполняемых на ускорителях LHC (CERN), RHIC (BML), Tevatron (FNAL), на которых энергии сталкивающихся частиц достигают нескольких ТэВ, строятся и работают ускорители с более низкими энергиями пучков элементарных частиц и релятивистских ионов. Один из таких ускорителей коллайдерного типа строится в ОИЯИ в г. Дубна. На нем будут сталкиваться тяжелые ионы (установка MPD) и поляризованные протоны и/или дейтроны (установка SPD).

Более 30 лет тому назад было обнаружено значительное превышение выхода прямых мягких (менее 50 МэВ) фотонов в адронных и ядерных взаимодействиях на ускорителях в широком энергетическим интервале. До сих пор не существует исчерпывающего объяснения и понимания этого явления. Для изучения этого феномена, загадки повышенного выхода мягких фотонов, в ЛФВЭ предложена большая физическая программа, для выполнения которой необходимо изготовить специальный электромагнитный калориметр с низким порогом регистрации.

Группой физиков, занимающейся изучением выхода и свойствами мягких фотонов, в качестве сцинтиллятора выбраны и приобретены кристаллы гадолиний-галиевые гранаты (ГаГГ), обладающие большим световыходом, радиационной стойкостью и выращиваемые в России.

Чтобы изготовленный калориметр был не слишком дорогим, было принято решение в пользу гетерогенной структуры, а именно, испытать два типа такой структуры: «спагетти» и «шашлык». Монте Карло моделирование и экспериментальное тестирование двух изготовленных прототипов калориметра «спагетти» показало, что необходимого энергоразрешения при регистрации мягких фотонов на нем достигнуто не будет.

Поэтому было принято решение изготовить калориметр по типу сэндвича, но с использованием в качестве сцинтиллятор тех же кристаллы ГаГГ, из которых были изготовлены два прототипа по типу «спагетти». Размеры выращиваемых в России кристаллов 25х3x100 мм3. Из четырех таких кристаллов можно составить плоскость размерами 100х100х3 мм3. Далее эти плоскости можно переложить плоскостями абсорбера, размерами, например, 100х100х1 мм3.

Оптимальные размеры калориметра, чтобы в нем полностью помещался электромагнитный ливень, развиваемый фотонами низких энергий, можно оценить используя Монте-Карло моделирование.

Для выполнения моделирования работы такого калориметра был использован пакет программного обеспечения GEANT4, разработанный в CERN. Он удобен и относительно прост в использовании и хорошо описывает процессы взаимодействия элементарных частиц с веществом.

Целью проекта является разработка на базе пакета GEANT4 модели электромагнитного калориметра методом Монте-Карло типа «шашлык» с заменой кристалла ГаГГ на LYSO с такой же конфигурации калориметра для изучения прохождения мягких фотонов через вещество калориметра и последующей регистрации их энерговыделения.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. на базе программного модуля GEANT4 создать компьютерную модель гетерогенного калориметра.

2. спроектировать и собрать электромагнитного калориметра типа «шашлых».

3. провести обработку полученных данных.

В данной работе выполнено МК моделирование процессов электромагнитного взаимодействия элементарных частиц в калориметре для определения энергетического разрешения при регистрации мягких фотонов.

# **Описание пакета GEANT4**

## Geant4. Структура

Geant4 представляет собой набор программ, библиотек, написанных на языке С++, для моделирования прохождения элементарных частиц и ядре через вещество [3-8]. Исходный код пакета распространяется свободно по открытой лицензии на программное обеспечение [1].

Объектно-ориентированный пакет программ Geant4 предназначен для моделирования прохождения частиц в объеме детектора. Встроенные средства Geant4 позволяют описать проведение физического эксперимента: геометрию детектора, химический состав его материалов, типы частиц, участвующих в эксперименте, с учетом возможных физических процессов.

Документация, исходный код, базы данных и набор бинарных библиотек (для некоторых операционных систем) пакета Geant4 могут быть скачаны с официального сайта Geant4 [2].

Пакет включает в себя инструменты для гибкого описания геометрии. В нём содержится множество физических моделей взаимодействия частиц с веществом: а) электромагнитные процессы; б) адронные процессы; в) фотон-адронные и лептон-адронные процессы; г) процессы с участием оптических фотонов; д) моделирование распадов; е) параметризация ливней; ж) методики использования статистических весов. Процессы, моделируемые пакетом, включают в себя широкий интервал энергий: от оптических фотонов и тепловых нейтронов до высокоэнергетических реакций в коллайдерах при ТэВ-энергии и в космических лучах.

Частицы, для которых фиксируются треки, включают в себя лептоны, адроны, фотоны и ионы. В простейшем случае от пользователя требуется описание геометрии детектора, списка физических процессов, учитываемых при моделировании, и генерация первичной вершины.

Основными преимуществами GEANT4 являются инструменты для гибкого описания геометрии, наличие нескольких драйверов для визуализации и множество физических моделей взаимодействия частиц с веществом:

- электромагнитные процессы;

- адронные процессы;

- фотон-адронные и лептой-адронные процессы;

- процессы с участием оптических фотонов;

- моделирование распадов;

- параметризация ливней;

- методики использования статистических весов.

## Порядок работы с Geant4

Порядок работы с Geant4 состоит в следующем: сначала составляется план эксперимента, направленного на изучение свойств и характеристик экспериментальных частиц.

Затем строится программа на объектно-ориентированном языке С++, использующая библиотеки, входящие в структуру Geant4. Исходные тексты программ компилируются и создается программа. Программа многократно (несколько тысяч испытаний) разыгрывает случайным образом основные характеристики исходных частиц, налетающих на мишень, и создает файлы данных, позволяющих выполнить проведенный анализ полученных моделированием распределений.

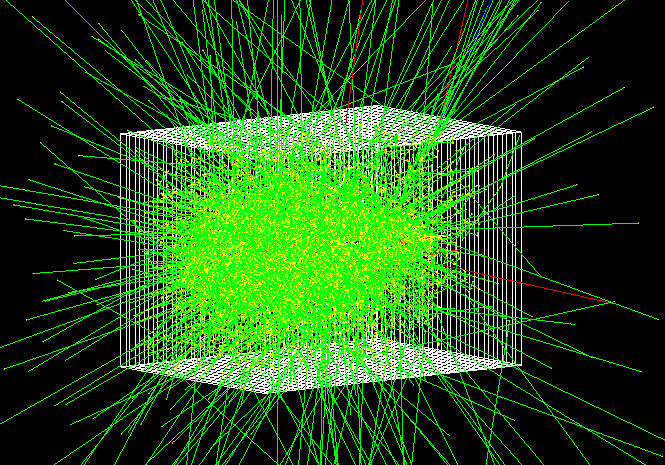
# **Элементы компьютерной модели**

Компьютерная модель калориметра включает в себя:

1. пучок мягких фотонов с энергией меньше 50 МэВ;

2. мишень, состоящая из чередующихся кристаллов и поглотителя;

3. детектор, который измеряет энергвыделение мягких фотонов;

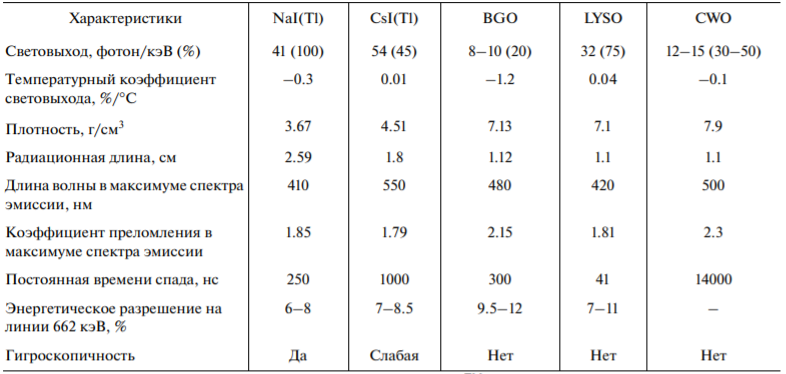


**Рисунок 1 - Компьютерная модель**

Первичные фотоны взаимодействуют с мишенью. В результате электромагнитных взаимодействий в калориметре они создают при прохождении LYSO (сцинтиллятора) электромагнитный ливень, теряя при этом энергию в виде излучения. Собирая фотоумножителями выделенную в результате взаимодействия в сцинтилляторе световую энергии, можно оценить энергию падающего фотона.

Программное обеспечение (ПО) позволяет для каждого разыгрываемого события просуммировать энергию, выделяемую при каждом шаге рассеяния специальными счетчиками, а также измерить длину пробега фотона в этом калориметре. Многократные испытания, разыгрываемые случайным образом, позволяют накопить необходимую статистику и выполнить анализ данного эксперимента.

Для данной компьютерной модели в качестве материала для калориметра был выбран кристалл LYSO. В таблице 1 представлены характеристики кристалла.

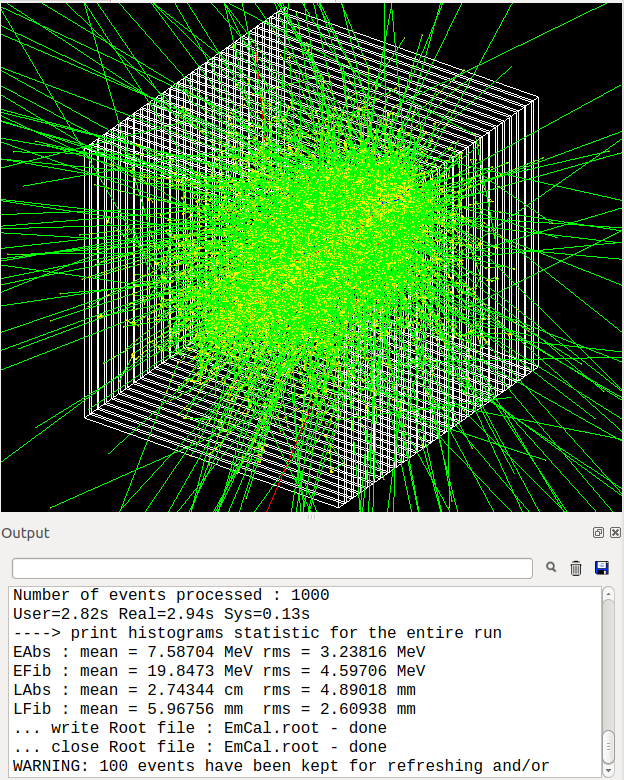


**таблица 1. Сравнение свойств сцинтиллятора**

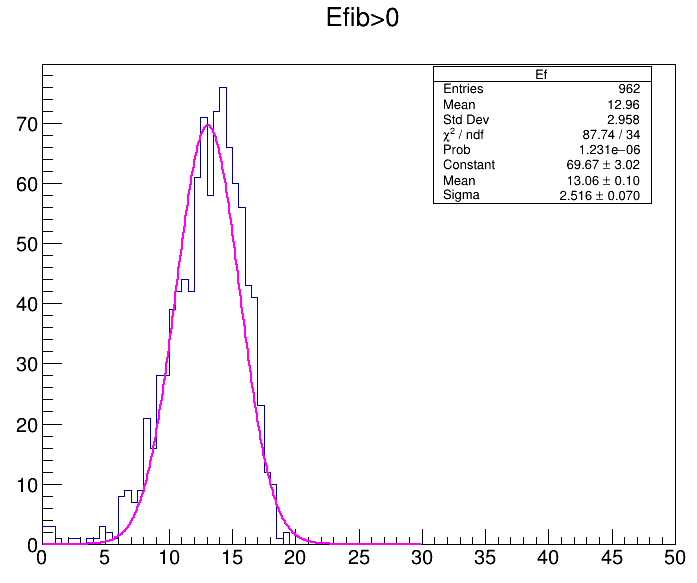
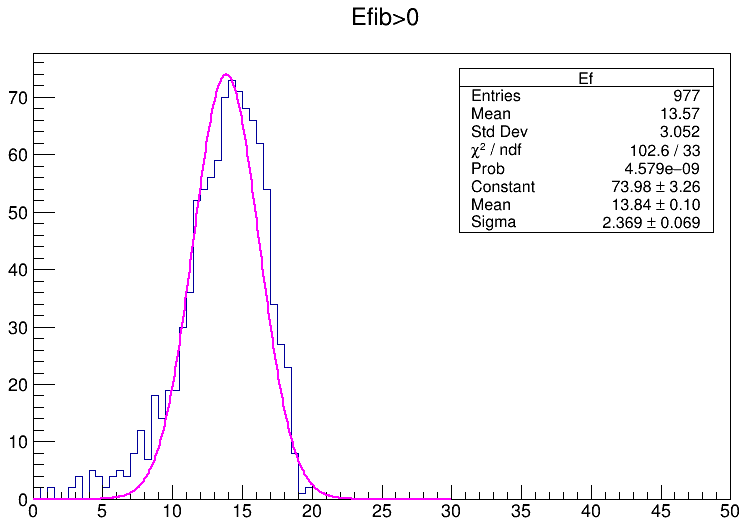
Мы использовали для «шашлыка» 28 пластин LYSO (100 × 100 × 3 мм3) и 27 пластин поглотителя 1-мм, который представляет композит, с выбранным соотношением между компонентами вольфрам/медь (W / Cu) и таким же поперечным сечением, как и кристаллическая пластина. Чередуя пластины кристалла и поглотителя, общая толщина прототипа составила 111 мм.

Для числа испытаний выбираем 1000 фотонов и определяем по их взаимодействиям в калориметре энергоразрешение кристалла при разных энергиях.

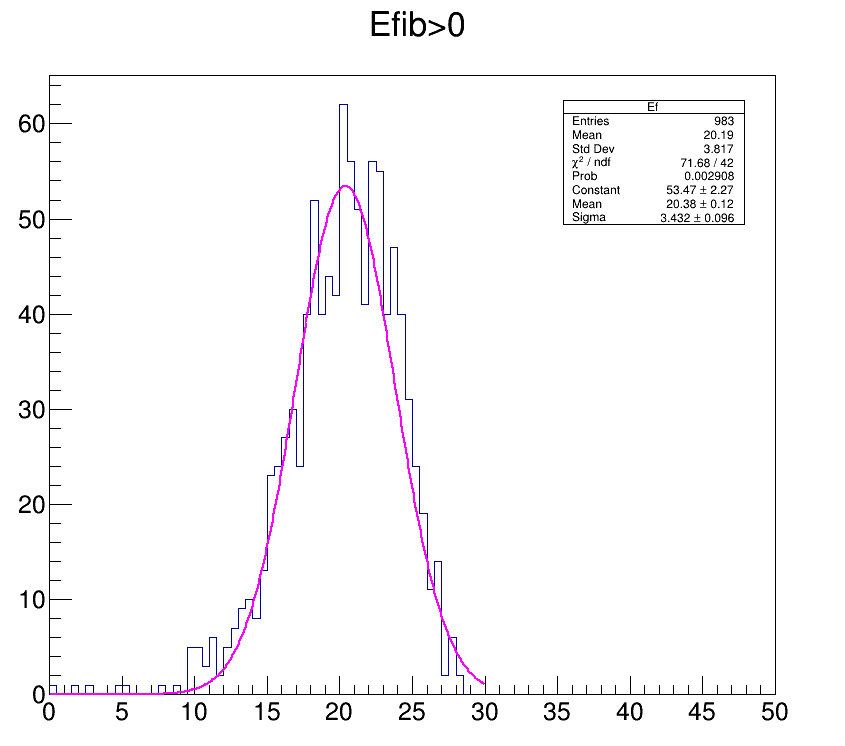
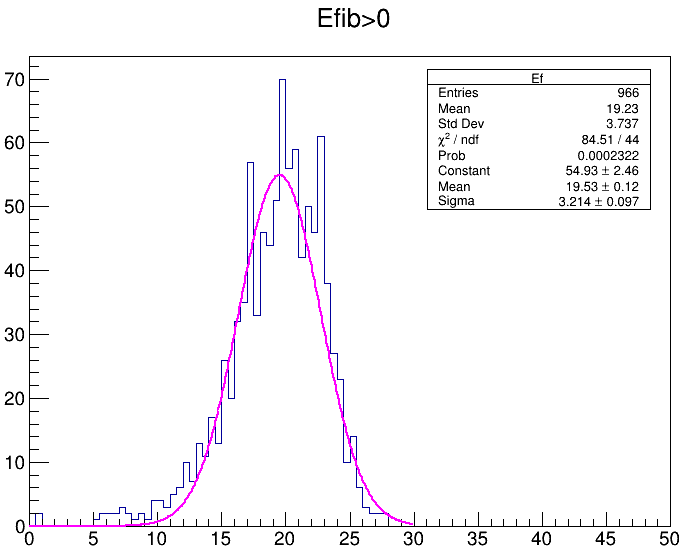
**Результат:**



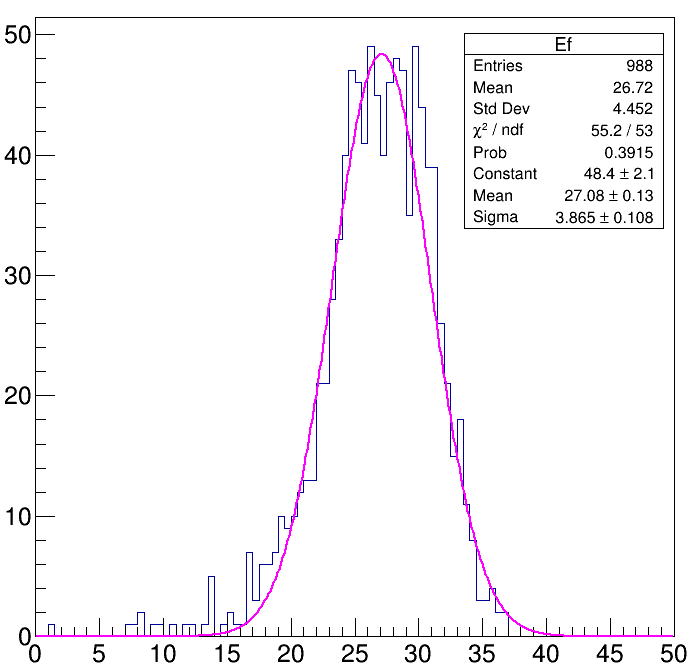
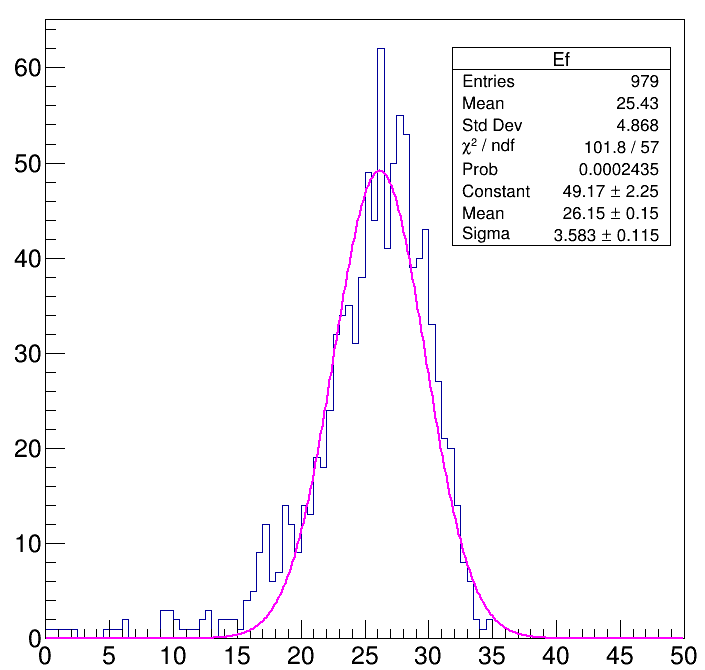
**Рисунок 2 – Развитие электромагнитного ливня в калориметре**

****

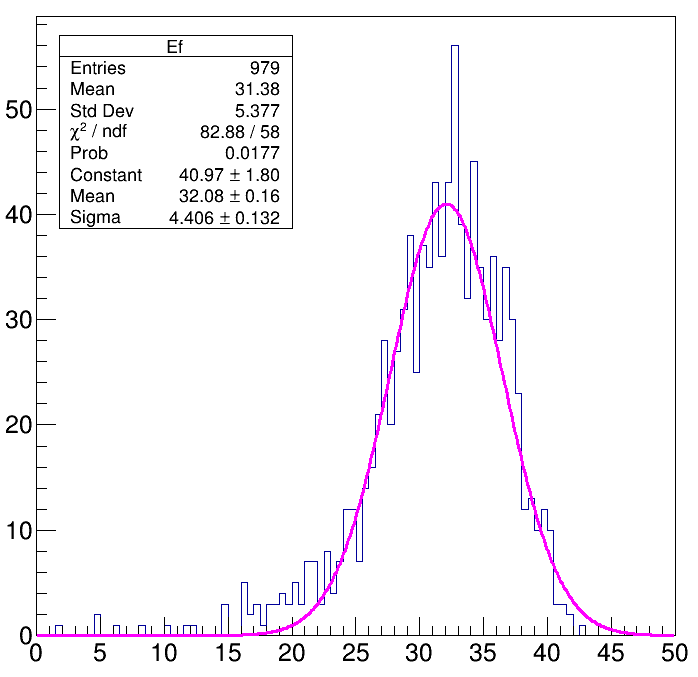
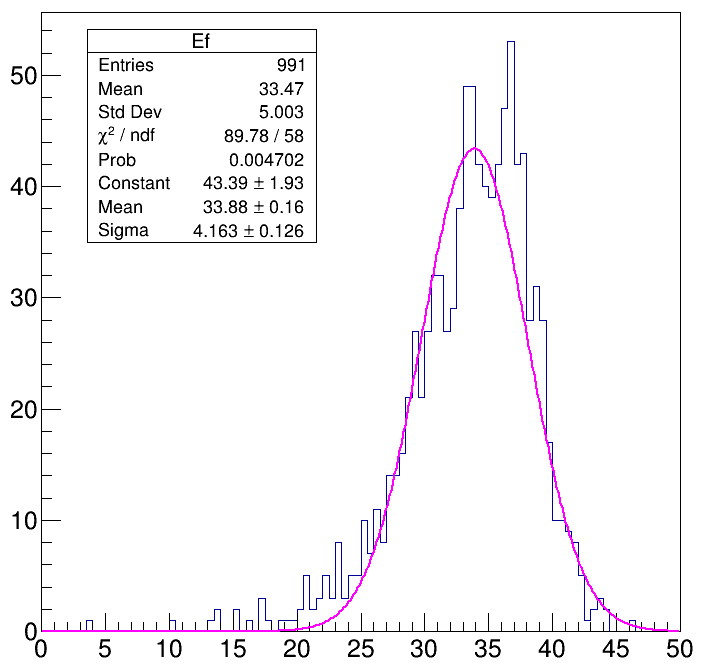
**Рисунок 3. Распределение по энерговыделению в МэВ в кристаллах слева: LYSO, справа ГаГГ при прохождении через калориметр фотонов с E=20 MeV**

****

**Рисунок 4. Распределение по энерговыделению в МэВ в кристаллах слева: LYSO, справа ГаГГ при прохождении через калориметр фотонов с E=30 MeV**

****

**Рисунок 5. Распределение по энерговыделению в МэВ в кристаллах слева: LYSO, справа ГаГГ при прохождении через калориметр фотонов с E=40 MeV**

****

**Рисунок 6. Распределение по энерговыделению в МэВ в кристаллах слева: LYSO, справа ГаГГ при прохождении через калориметр фотонов с E=50 MeV**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Кристалл** | **E, MeV** | **Энергетическое разрешение** |
| **LYSO** | 20 | 11,84 |
| 30 | 11,44 |
| 40 | 9,66 |
| 50 | 8,33 |
| **ГаГГ** | 20 | 12,58 |
| 30 | 10,71 |
| 40 | 8,95 |
| 50 | 8,81 |

**Заключение**

В результате проделанной работы был освоено моделирование в пакете Geant4 на Linux; изучены правила построения модели; описание материалов и геометрии установки и взаимодействие первоначальных частиц с материалами детекторов и окружающей среды; построены графики распределения по энерговыделению в кристаллах LYSO (ГаГГ) при прохождении через калориметр фотонов с Е<50 MeV ; вычислено энергетическое разрешение для кристаллов при этих энергиях .

**Основные результаты**

* Знакомство с методикой построения геометрической модели.
* Создана модель: мишень, детектор, источник частиц.
* Определение основной характеристики электромагнитного калориметра

(энергоразрешение).

# **Список использованных источников**

1. Geant4 software licence [Electronic recourse] : - Mode of access: <http://geant4.web.cern.ch/geant4/license/LICENSE.html>, - Date of access: 20.04.2020.
2. Geant4 : A toolkit for the simulation of the passage of particles through matter [Electronic recourse] : - Mode of access: <http://geant4.cern.ch>. - Date of access: 22.04.2020.
3. Демичев, M. Компьютерное моделирование физических процессов в детекторах с использованием пакета Geant4 [Текст] : тез. лекции / М. Демичев, А. Жемчугов; Дубна: ОИЯИ, 2008 г.
4. Asai, М. Geant4 - a simulation toolkit / М. Asai // Trans. Amer. Nucl. Soc. - 2006. - Vol. 95.
5. Allison, J. Geant4 Developments and Applications/ J. Allison [и др.]; SLAC-PUB-11870
6. Geant4 user’s guide for application development [Текст] : руководство / Geant4 Collaboration; 2007 r.
7. Physics Reference Manual [Текст] : руководство / Geant4 Collaboration; 2007 r.
8. Mora de Freitas, P. Detector simulation with MOKKA/Geant4: present and future / P. Mora de Freitas, H. Videau; Laboratoire Leprince-Ringuet C.N.R.S.-I.N.2.P.3, 2003 r.
9. Geant4[Electronic recourse] : - Mode of access: <http://GEANT4.cern.ch/> - Date of access: 01.03.2020.
10. Geant4 - a simulation toolkit/ S. Agostinelli et al. / Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. - 2003. - A 506. - 250-303.
11. Introduction to Geant4[Electronic resource] - Mode of access: <http://geant4userdoc.web.cern.ch/geant4userdoc/UsersGuides/>IntroductionToGeant4/html/index.html-Date of access:01.03.2020.
12. Geant4 User’s Guide for application developers[Electronic resource]-URL: <https://mirror.yandex.ru/> gentoodistfiles/distfiles/ BookForAppliDev-4.10.0.pdf - Date of access: 01.03.2020.
13. Full working example on Geant4 with visualization [Electronic resource]-URL: <https://dev.asifmoda.com/geant4/rabochij-primer> - Date of access: 04.03.2020.