



Физический факультет МГУ имени  
М.В.Ломоносова  
кафедра физики элементарных частиц  
Моделирование калибровочного лазера для  
эксперимента БАЙКАЛ-ГВД в среде Geant4



## Simulation of a calibration laser for BAIKAL-GVD experiment with Geant4

Выполнил: студент 208 группы .  
физического ф-та МГУ .  
Путилин Михаил Сергеевич .  
Научный руководитель: .  
ст. науч. сотр. ЛЯП ОИЯИ .  
д-р физ.-мат. наук .  
Наумов Дмитрий Вадимович .

Москва 2018

# Что такое Geant4

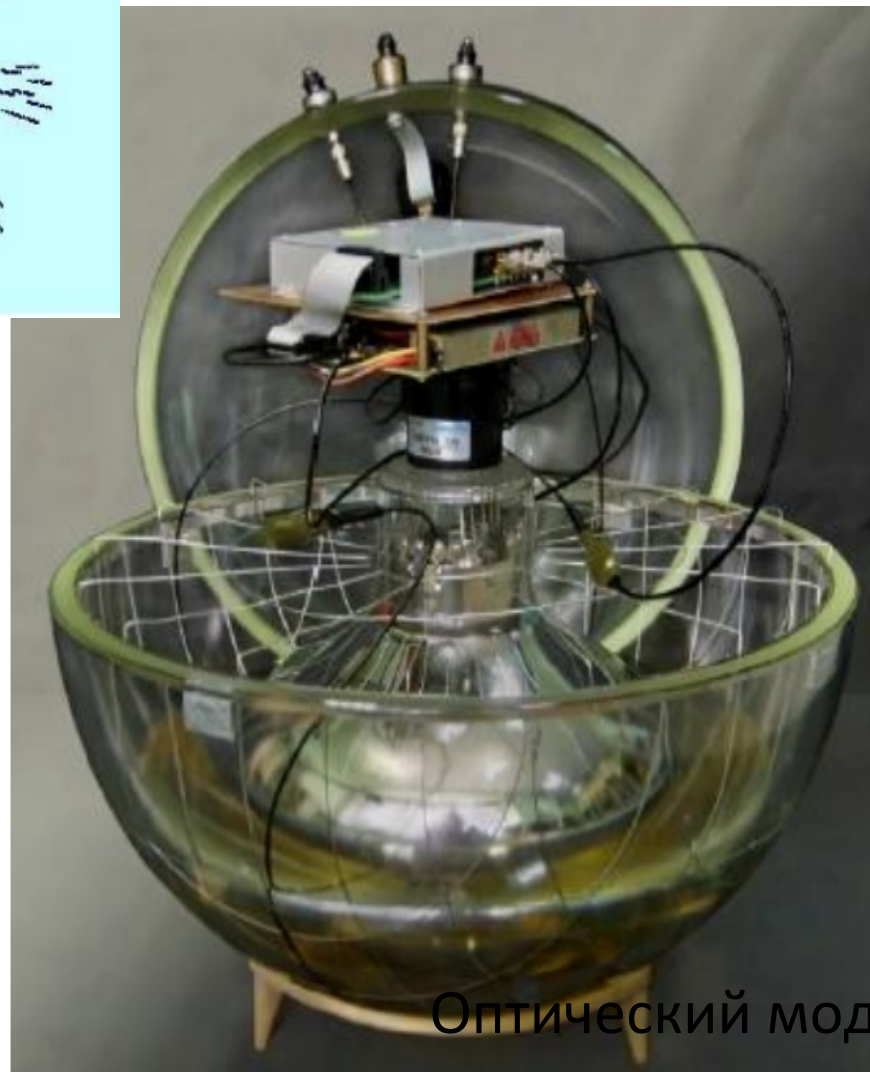
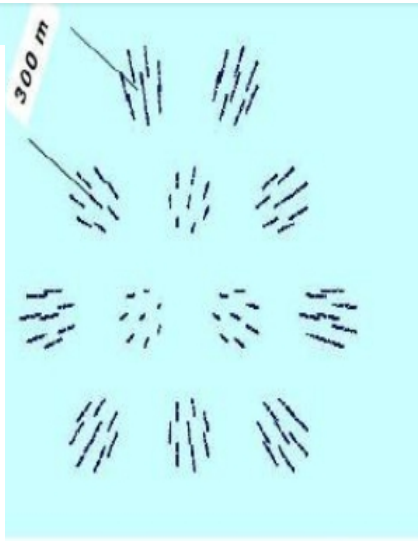
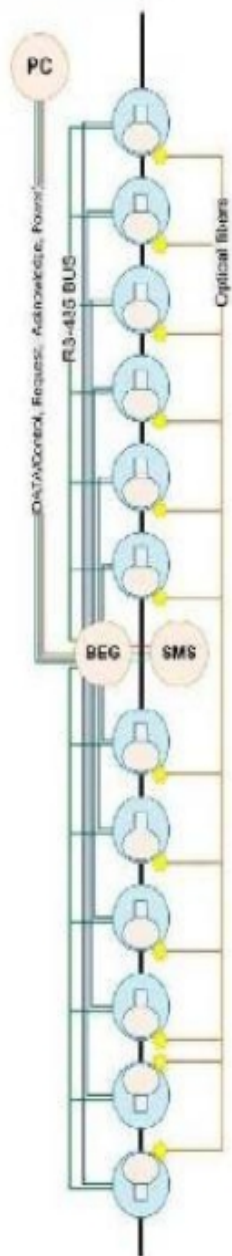
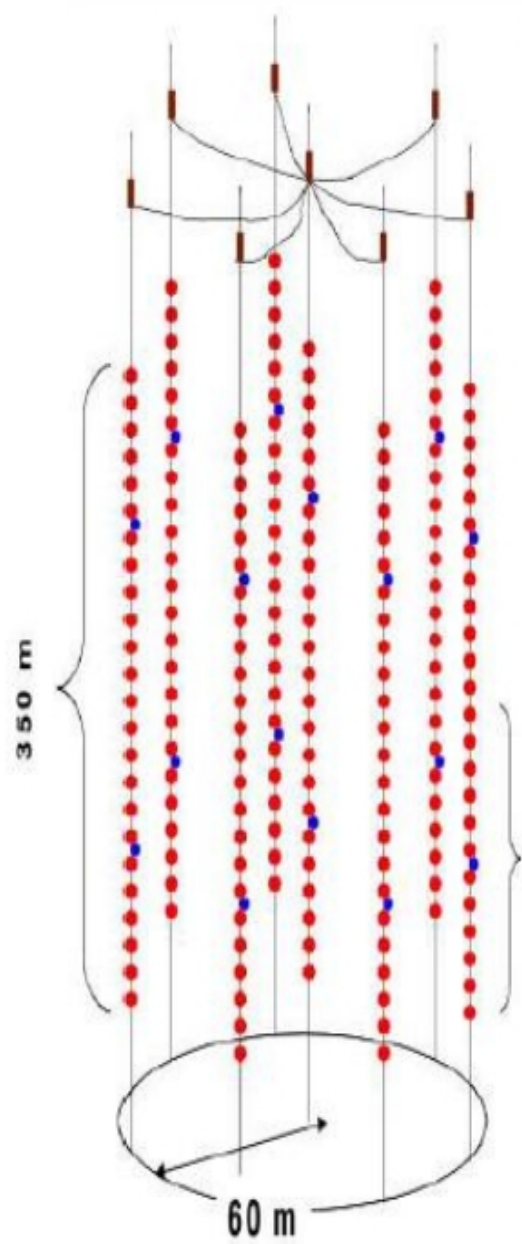
- GEANT4— это система библиотек для компьютерного моделирования процессов прохождения элементарных частиц через вещество, на основе совокупности подходов, вместе называемых «метод Монте-Карло».
- Работа с GEANT4 сводится к написанию программ на С++, связывающих его компоненты между собой определенным образом, моделирующим некоторую реальную систему.

# Что такое Geant4

- Для работы Geant4 необходимо создать несколько собственных классов, унаследованных от базовых.
- `G4VUserDetectorConstruction` (материалы, геометрия)
- `G4VUserPhysicsList` (процессы)
- `G4VUserPrimaryGeneratorAction` (генерация первичных частиц)
- `G4UserRunAction`
- `G4UserEventAction`
- `G4UserTrackingAction`
- `G4UserStackingAction`

# БАЙКАЛ-ГВД

- BAIKAL-GVD - Gigaton Volume Detector in Lake Baikal
- Байкальский глубоководный нейтринный телескоп Baikal-GVD масштаба кубического километра
- Регистрация астрофизических нейтрино высоких энергий.
- Модульная конструкция

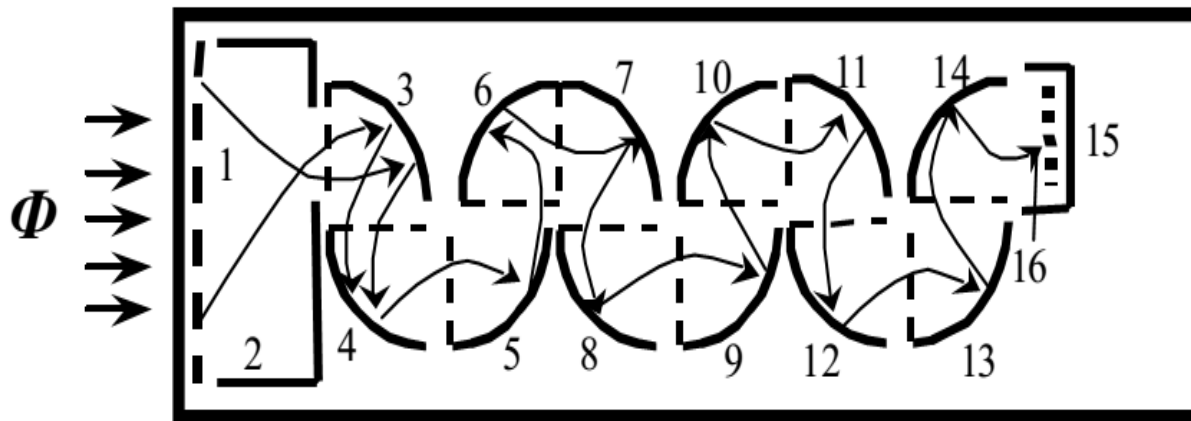


Оптический модуль

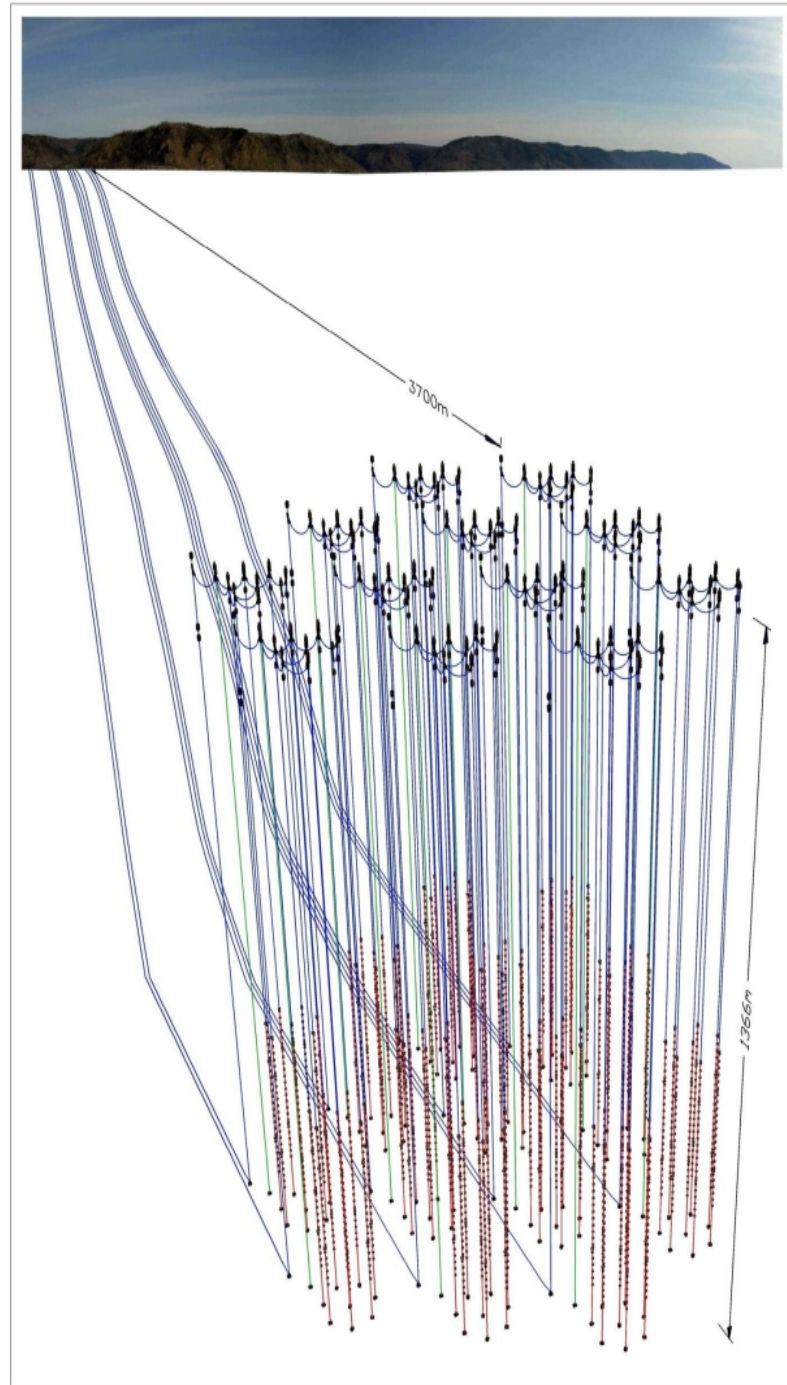
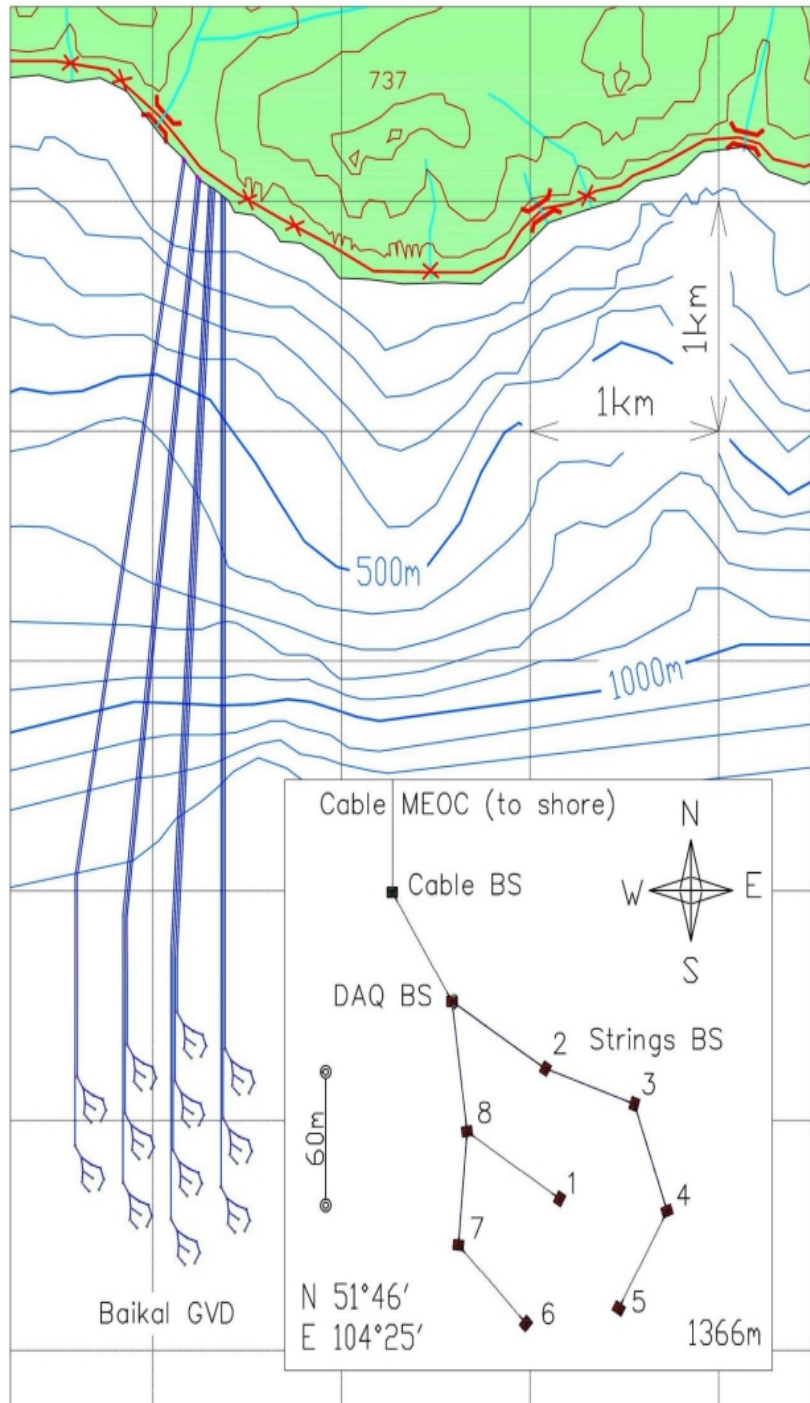
# Фотоэлектронный умножитель

- Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) очень распространенный и во многих случаях незаменимый детектор излучения. Он позволяет регистрировать и предельно слабые и довольно интенсивные потоки. От единиц до  $10^{10} \dots 10^{12}$  фотонов в секунду. Постоянная времени порядка  $10^{-10}$  с.

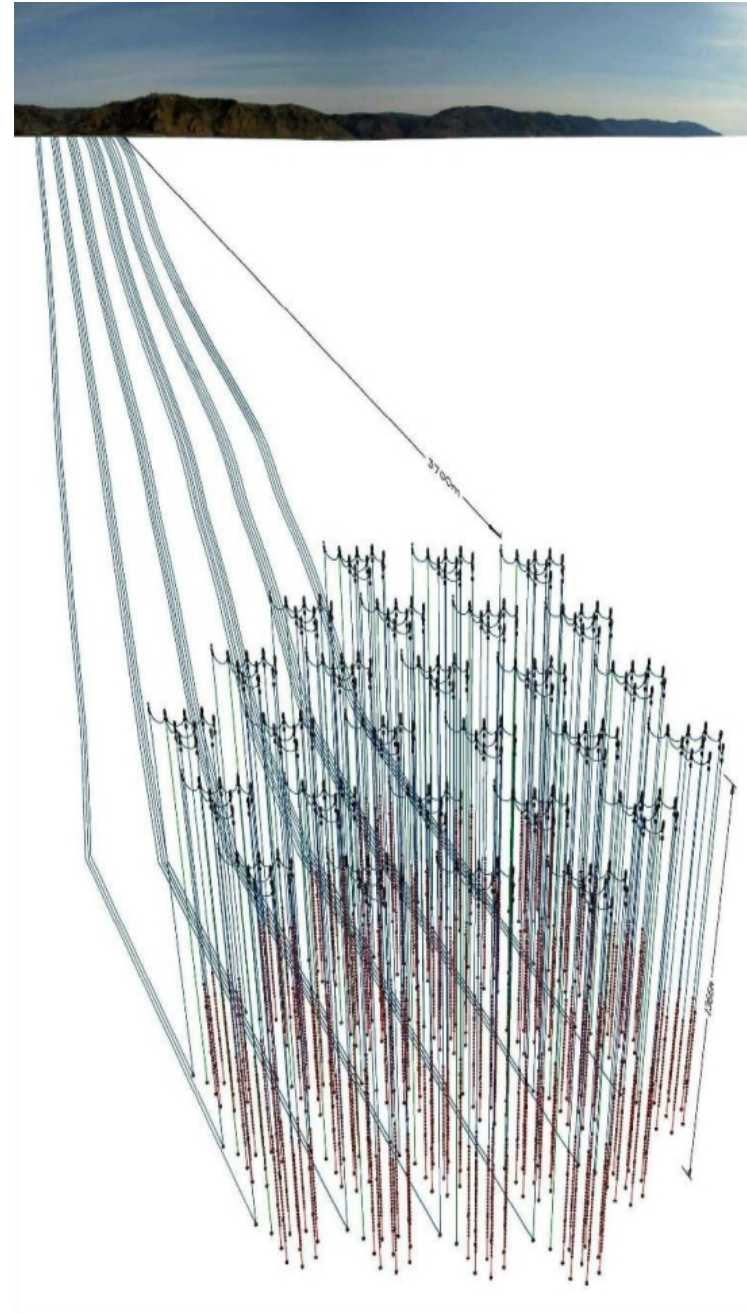
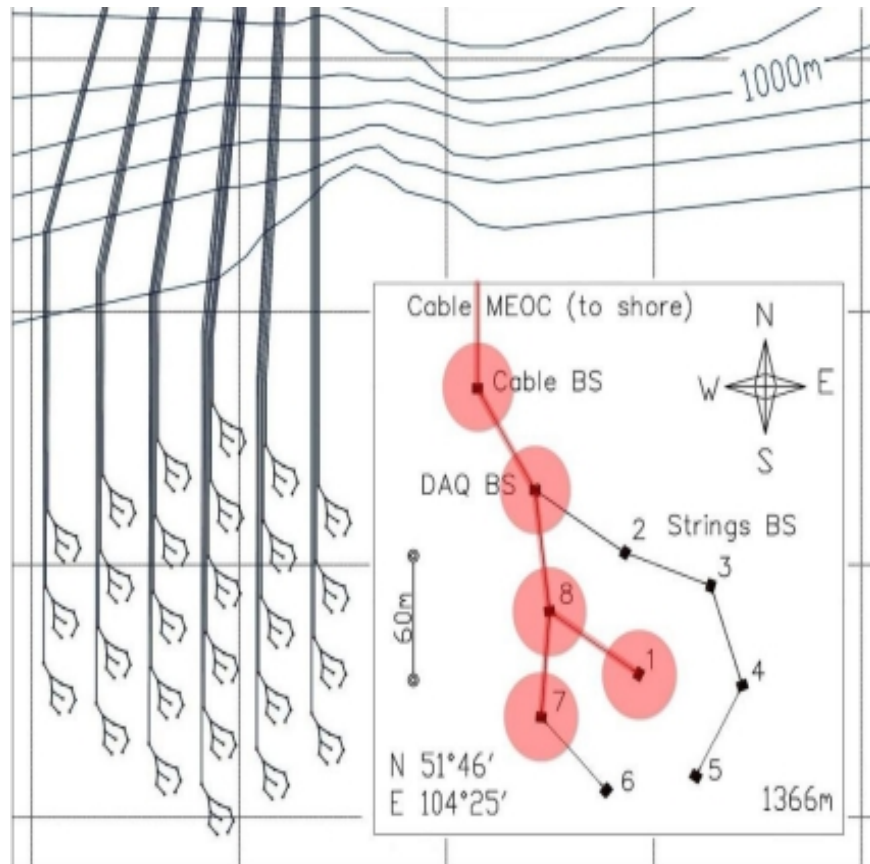
частоты



окие



- Конечная конфигурация
- 27 кластеров



# Астрофизические нейтрино

- В последнее время особое внимание исследователей обращено на нейтрино астрофизического происхождения, ведь именно они, за счёт малого (порядка 10-20 барн) сечения взаимодействия с веществом, обладают наивысшей по сравнению с другими частицами астрофизического происхождения, проникающей способностью, что даёт возможность получать информацию об удалённых космических объектах.
- Одним из вопросов при исследовании астрофизических нейтрино является природа нейтрино сверхвысоких (порядка 1 ПэВ и выше) энергий. Существуют различные теоретические модели, прогнозирующие наличие космических

# Излучение Вавилова-Черенкова

- Черенковское излучение (или излучение Вавилова-Черенкова) возникает при движении заряженной частицы в прозрачной среде со скоростью  $v$  большей скорости света в этой среде, т.е. при  $v > c/n$ , где  $c$  – скорость света в вакууме, а  $n$  – показатель преломления среды.
- Нейтрино взаимодействует с веществом детектора, порождая заряженный лептон и адронный ливень, которые обнаруживаются по их черенковскому излучению
- $\nu_{\mu} + n \rightarrow p + \mu^{-}$   
 $\nu_{\mu} + p \rightarrow n + \mu^{+}$

По детектированию черенковского света в среде возможно детектирование мюона. Регистрация электронов и таонов в схожих реакциях сложнее и даёт менее точное угловое распределение.

Преимущество мюонов в том, что они имеют:

малые энергетические потери в среде (по сравнению с электронами)

большее время жизни (по сравнению с тау-лептонами)

При высоких энергиях ( $> 100$  ГэВ) направление движения мюона совпадает с траекторией нейтрино с хорошей точностью. Нейтрино и, соответственно, мюоны от нейтрино пересекают детектор со всех направлений, но отделить мюоны от нейтрино от



# Калибровочный лазер

- Направление прилета и энергия нейтрино могут быть восстановлены исходя из измерения времени прихода черенковских фотонов и амплитуды сигнала, порождаемого такими фотонами в оптическом модуле.
- Актуальной задачей является калибровка времен отклика всех оптических модулей.
- Калибровочный лазер позволяет калибровать времена оптических модулей, а также постоянно мониторировать оптические свойства воды – длины рассеяния и поглощения.

# В результате моделирования

Необходимо сформулировать требования к  
мощности лазера,  
расходимости его луча,  
его временным характеристикам.

# На данном этапе работы

Установлена ОС Linux;

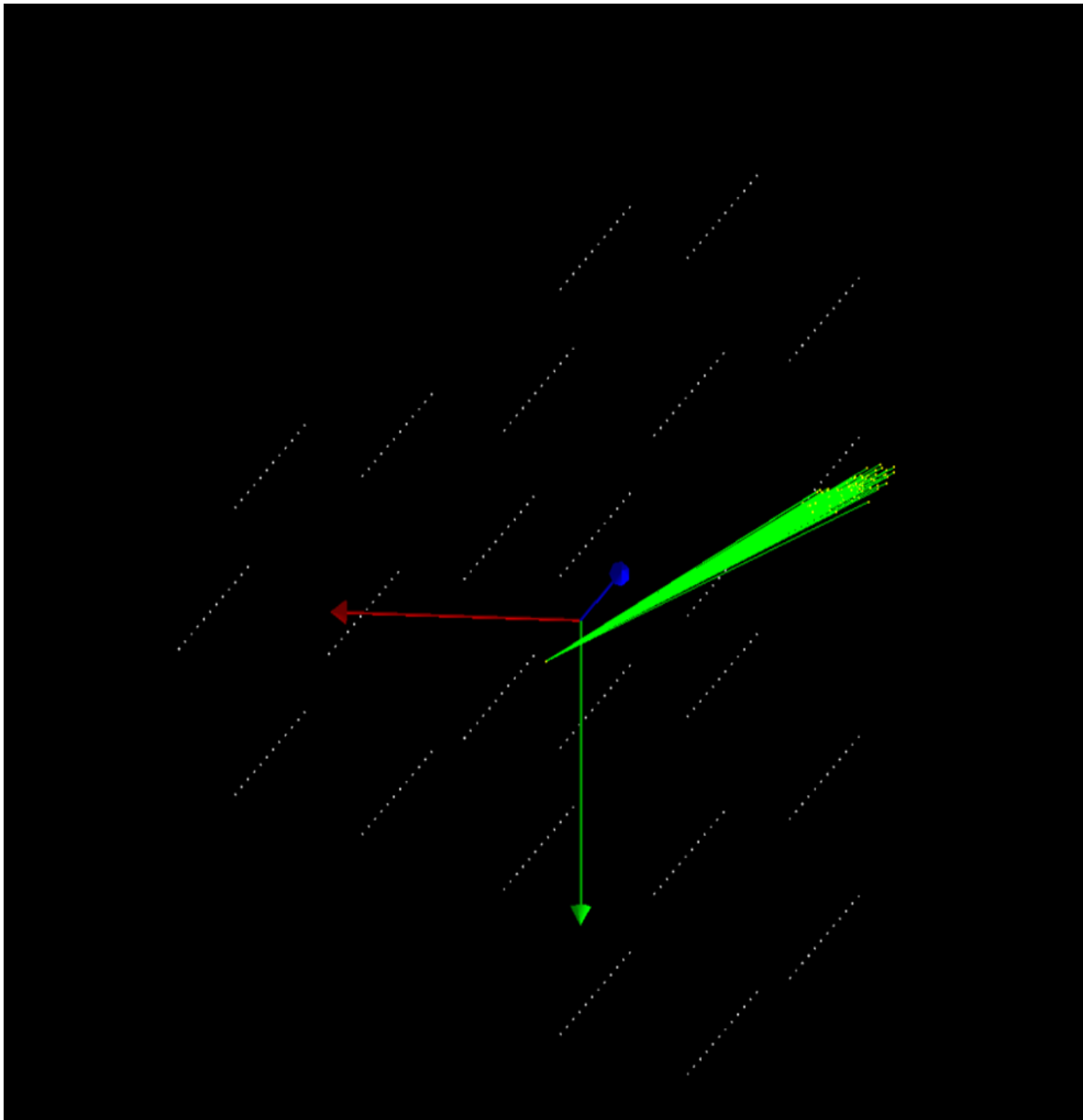
Получены базовые навыки работы в этой ОС;

Установлена среда Geant4;

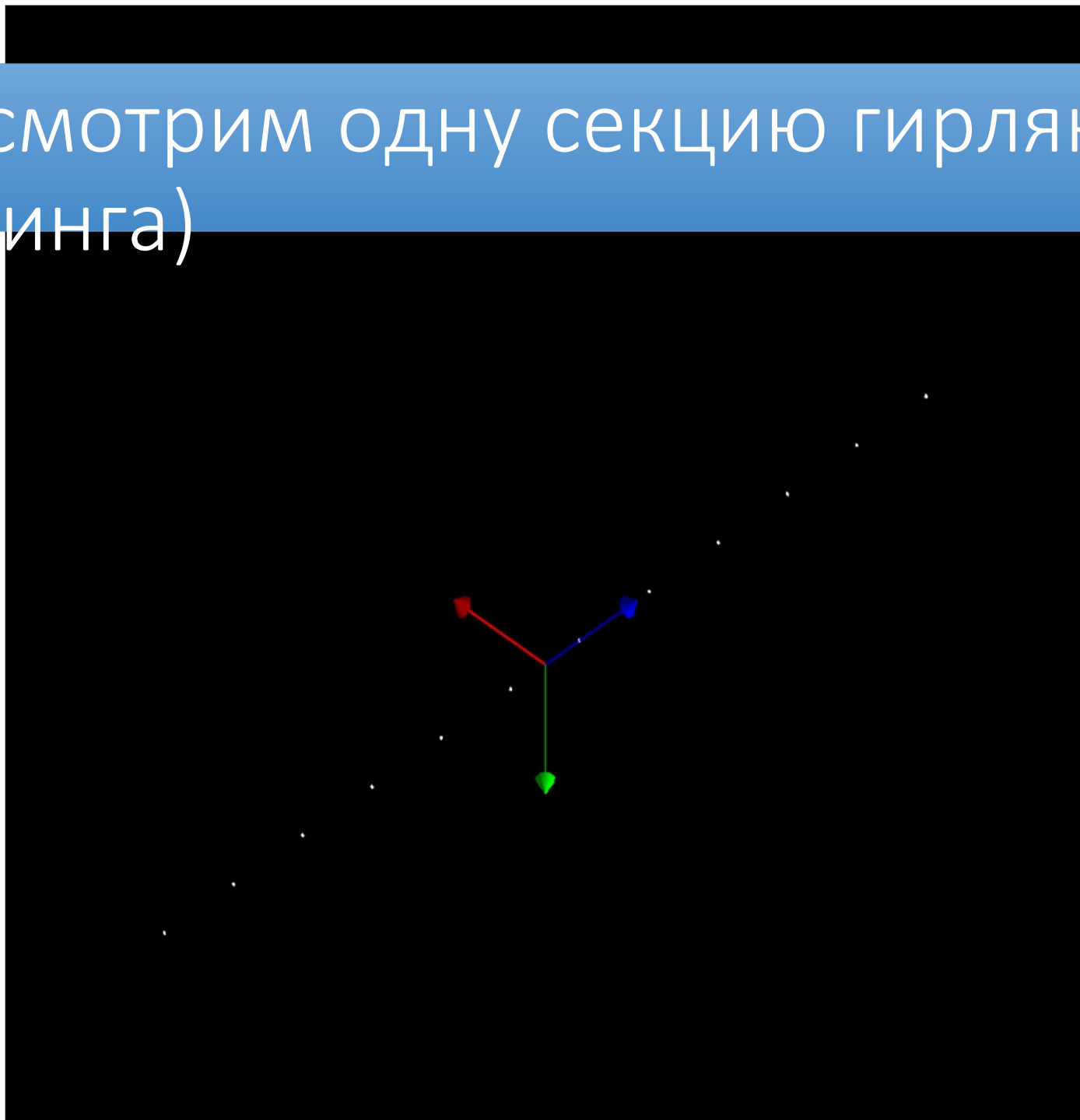
Описаны:

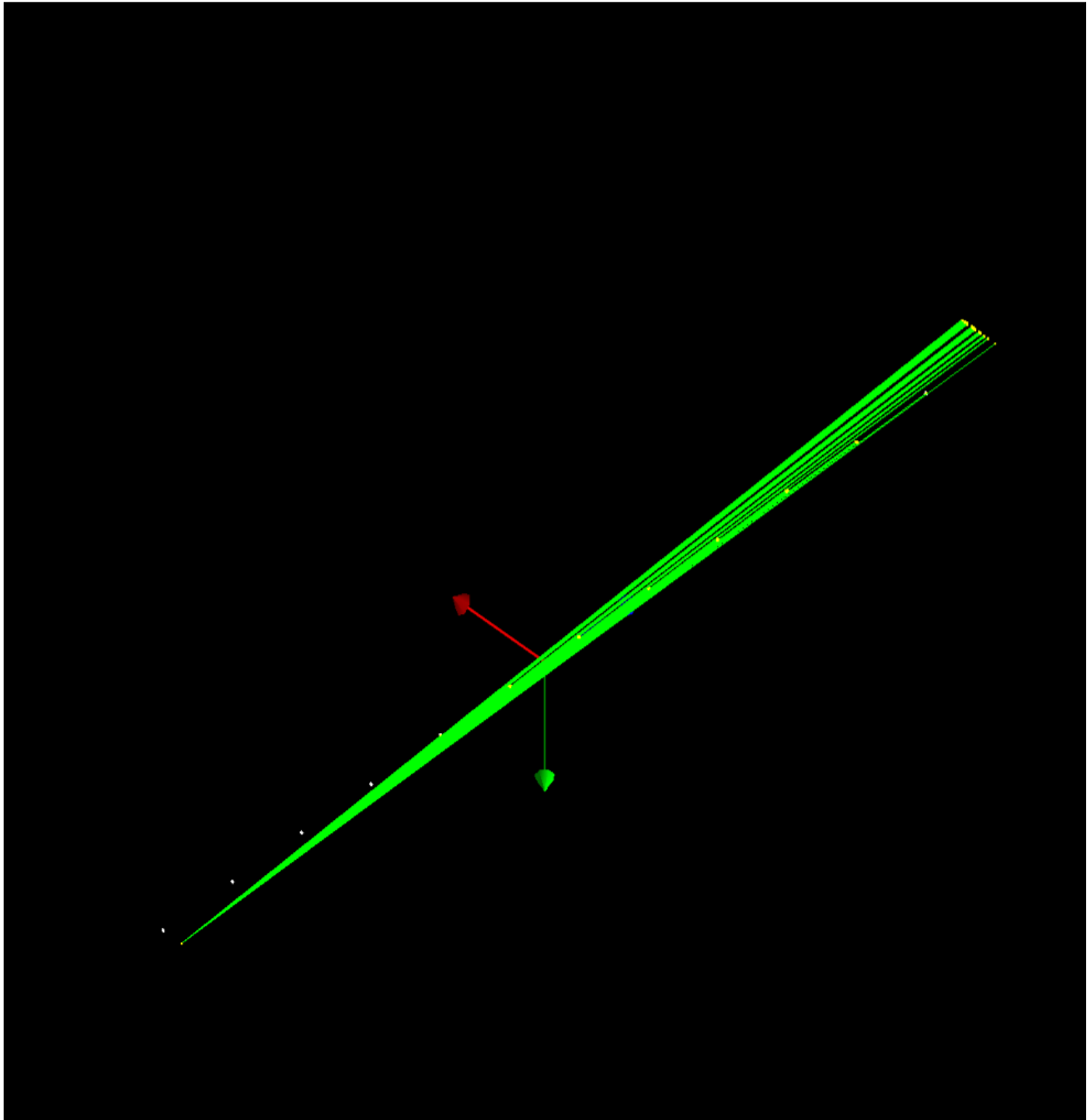
Геометрия детектора

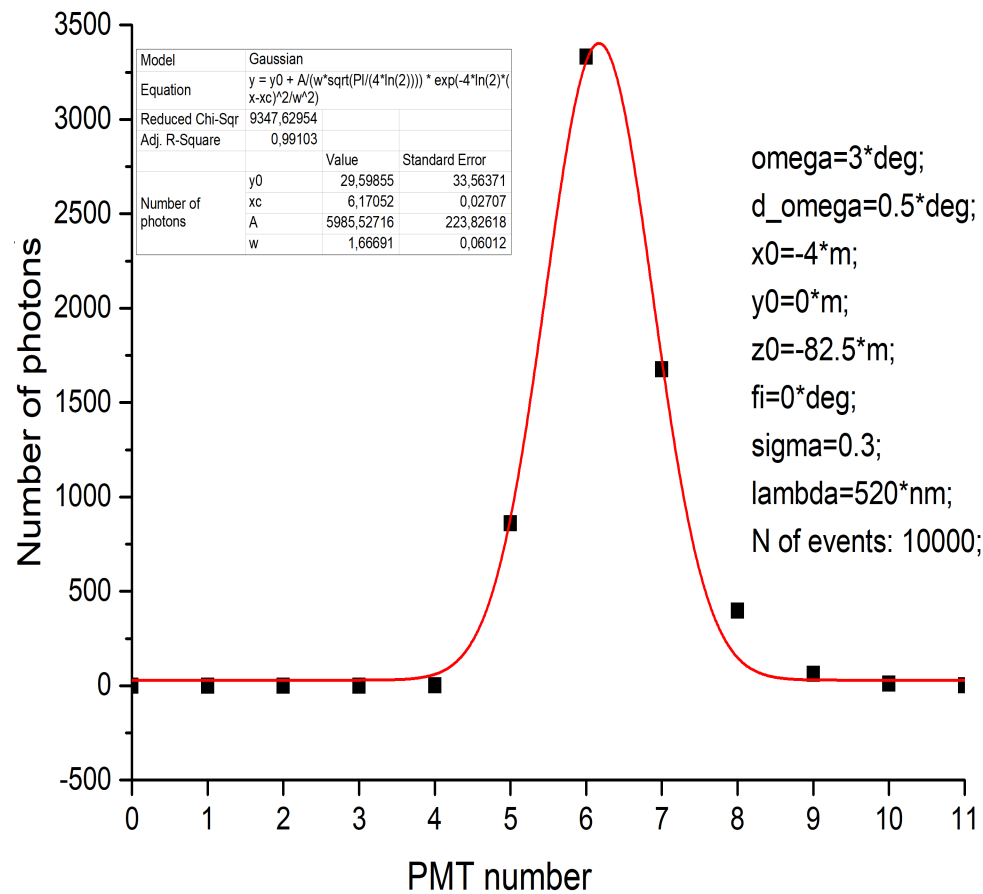
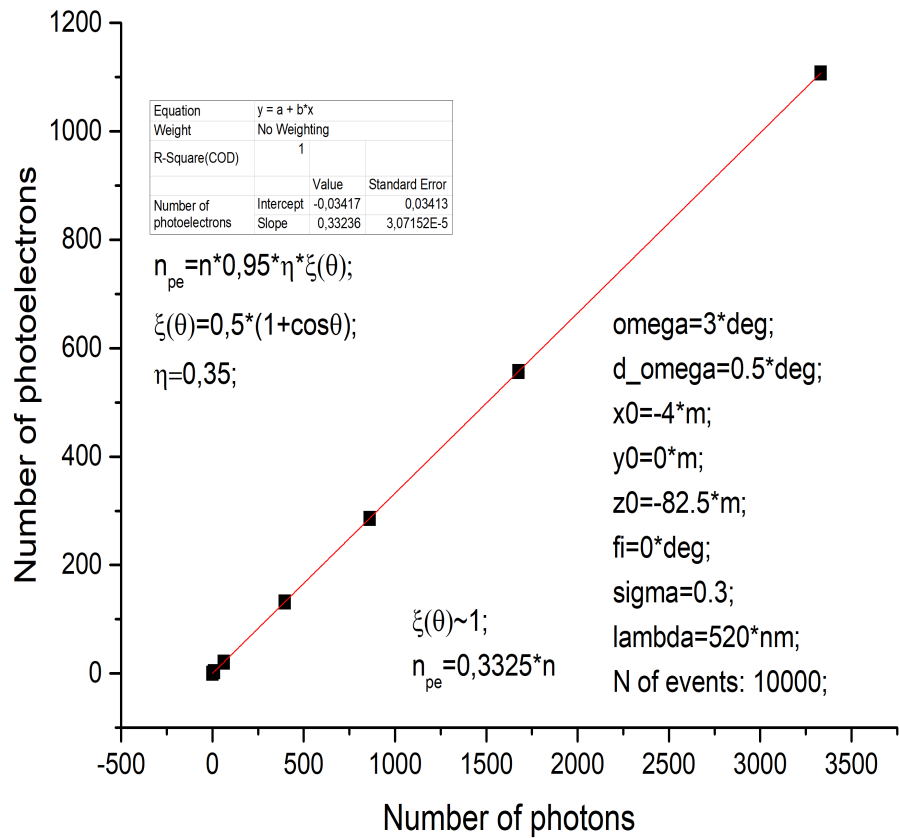
Геометрия пучка



Рассмотрим одну секцию гирлянды  
(строинга)







# В ближайшем будущем планируется

- Описать свойства среды (ввести рассеяние и поглощение)
- Получить временную зависимость отклика оптических модулей от импульса лазера

# Список литературы

- В. В. Леонтьев, И. А. Орлов. Задачи раздела «Информационные методы в физике высоких энергий», часть 2. Москва 2013.
- Book For Application Developers, Release 10.4, Geant4 Collaboration, Rev1.0: Dec 8th, 2017
- <http://www.apc.univ-paris7.fr/~franco/g4doxy/html/index.html>
- BAIKAL-GVD Gigaton Volume Detector in Lake Baikal (Scientific-Technical Report). MOSCOW - 2012
- <http://geant4.cern.ch>
- <http://nuclphys.sinp.msu.ru>