

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА “ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЦИНТИЛЛЯТОРА BaF_2 ”

Выполнил : Кандыбин Даниил Дмитриевич
Научный руководитель : Гробов Алексей Викторович
Консультант: Долганов Григорий Дмитриевич

Основные цели:

- Монте-Карло моделирование с помощью Geant4 взаимодействия аннигиляционных гамма-квантов с BaF_2
- Проведение экспериментальных измерений параметров кристаллов BaF_2 и кремниевых фотоумножителей (SiPM) Hamamatsu S13370-3050CS.

Сцинтилляторы в ПЭТ



Ортосиликат лютенция (LSO)

Первый используемый сцинтиллятор - NaI(Tl) , в настоящее время неиспользуемый.

Сейчас в ПЭТ применяются, в основном, BGO (ортогерманат висмута) и LSO (ортосиликат лютенция).

Также используется GAGG(Se) (Гадолиний-алюминий-галлиевый гранат активированный ионами церия) и LYSO (ортосиликат лютенция-иттрия)

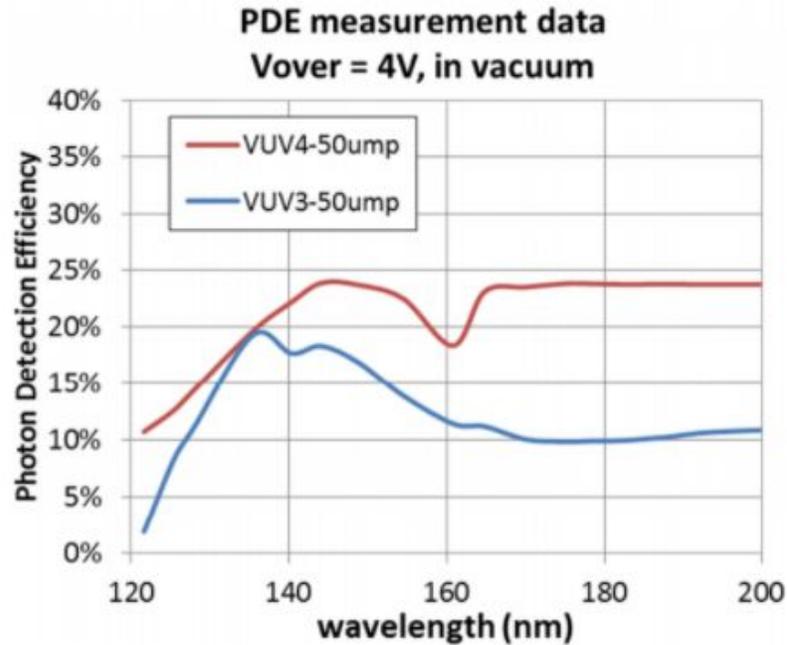
Фторид бария



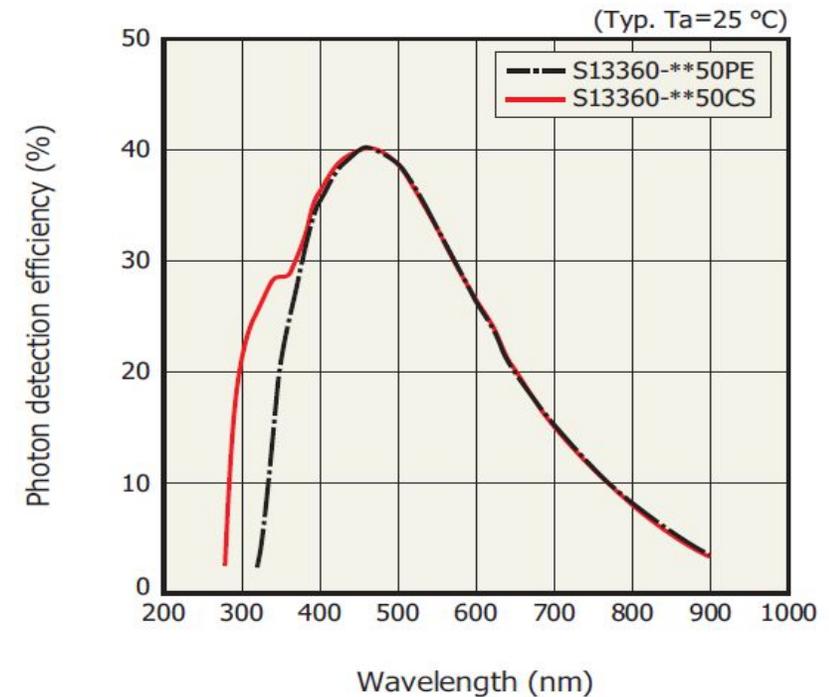
Фторид бария (BaF_2)

Рекордное время высвечивания (78 пс и 747 пс для быстрых компонент), однако сцинтиллирует на очень малой длине волны (195 нм и 220 нм соответственно). На быструю компоненту приходится 5% от всех оптических фотонов.

Световыход кристалла для быстрой компоненты мал, критически важным становится соотношение сигнал-шум, а значит высокая чувствительность фотоумножителей на рабочей длине волны.

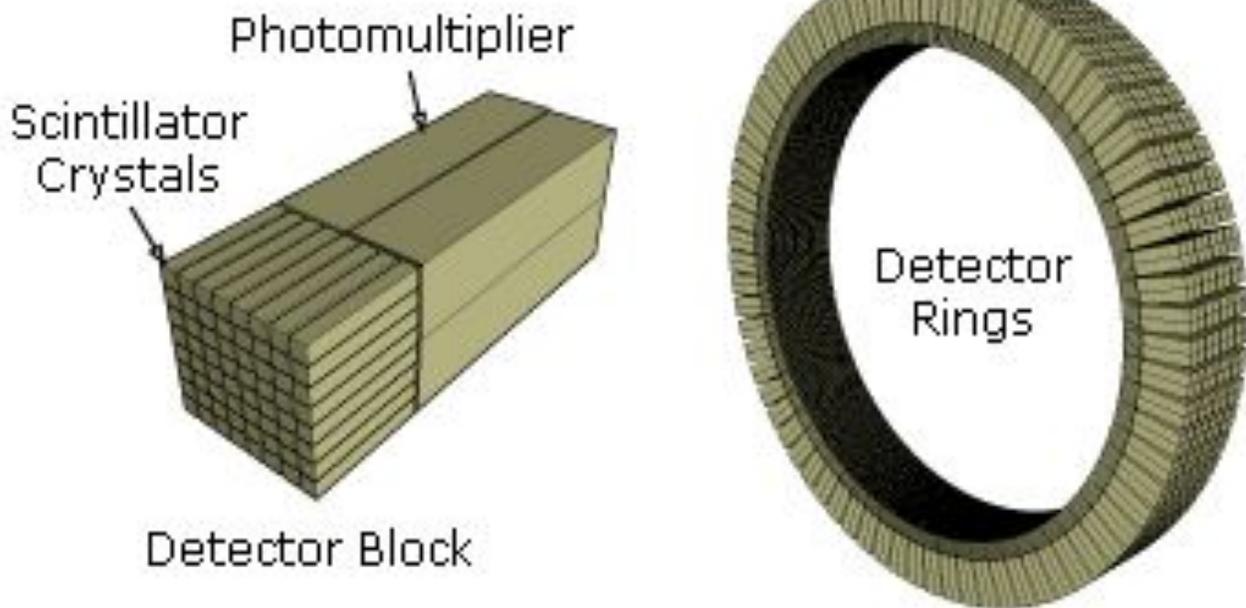


Эффективность регистрации чувствительных к ультрафиолету SiPMов



Эффективность регистрации нечувствительных к ультрафиолету SiPMов

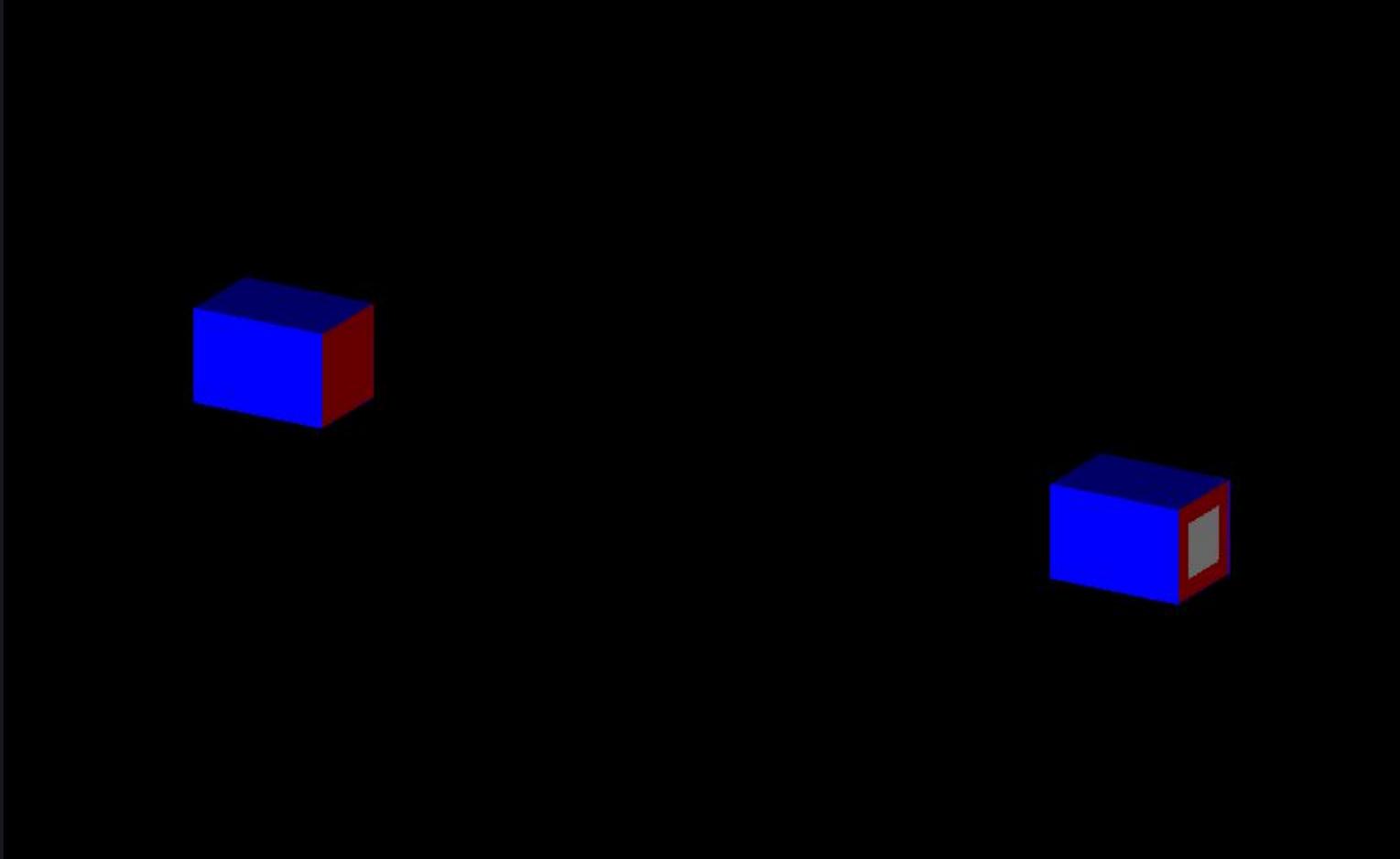
В данной работе используются SiPMы, для которых значение эффективности регистрации фотонов с длиной волны в области ниже 200 нм порядка 25%..



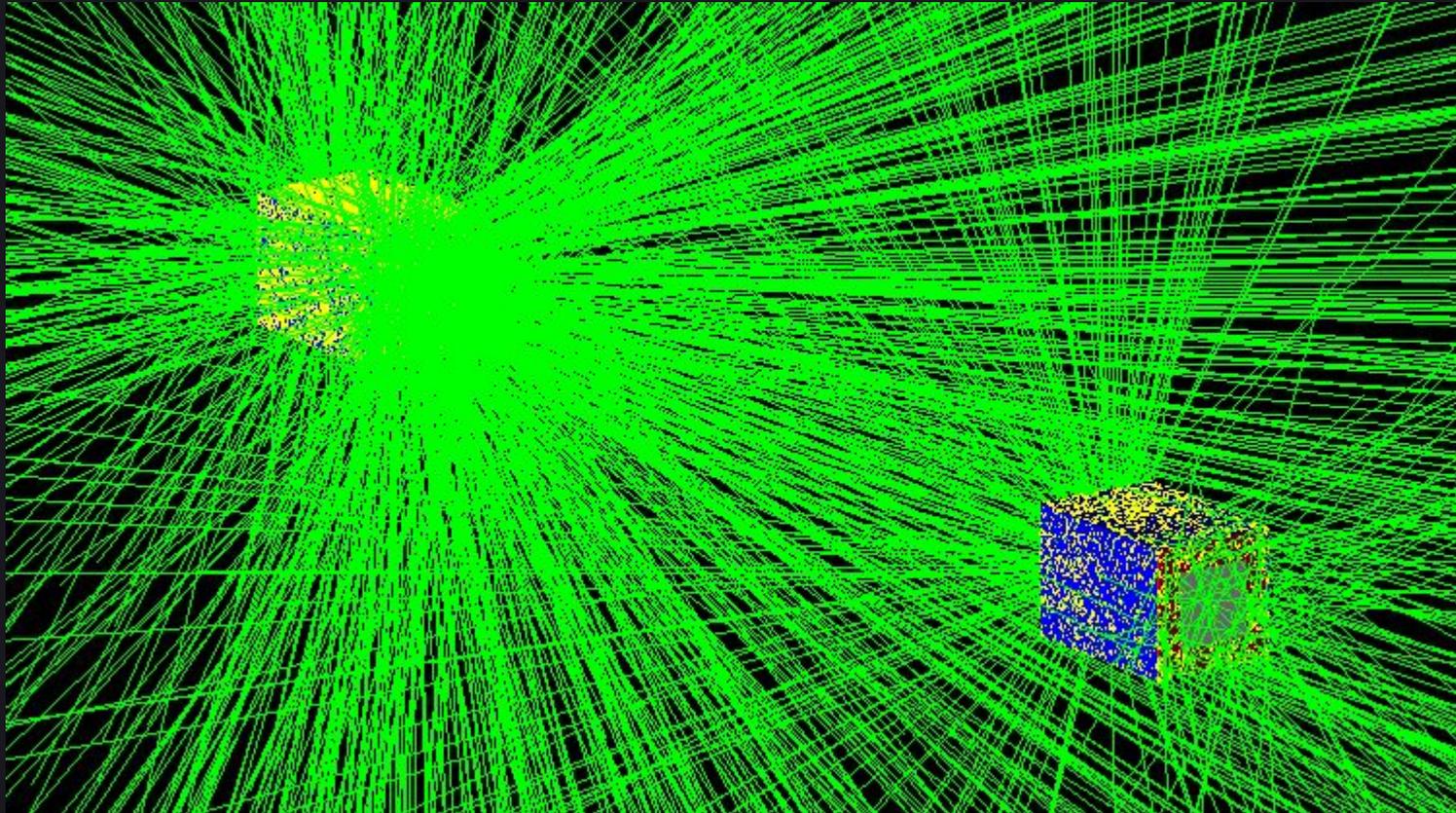
ПЭТ-сканер представляет из себя кольцо сцинтилляционных детекторов, которые представляют собой комбинацию сцинтиллятора и фотоумножителя.

Регистрируются два гамма-кванта, которые участвовали в акте аннигиляции.

Во время пролётом варианте ПЭТ – TOF PET, измеряется различие во времени между прибытием совпадающих фотонов в пару детекторов.

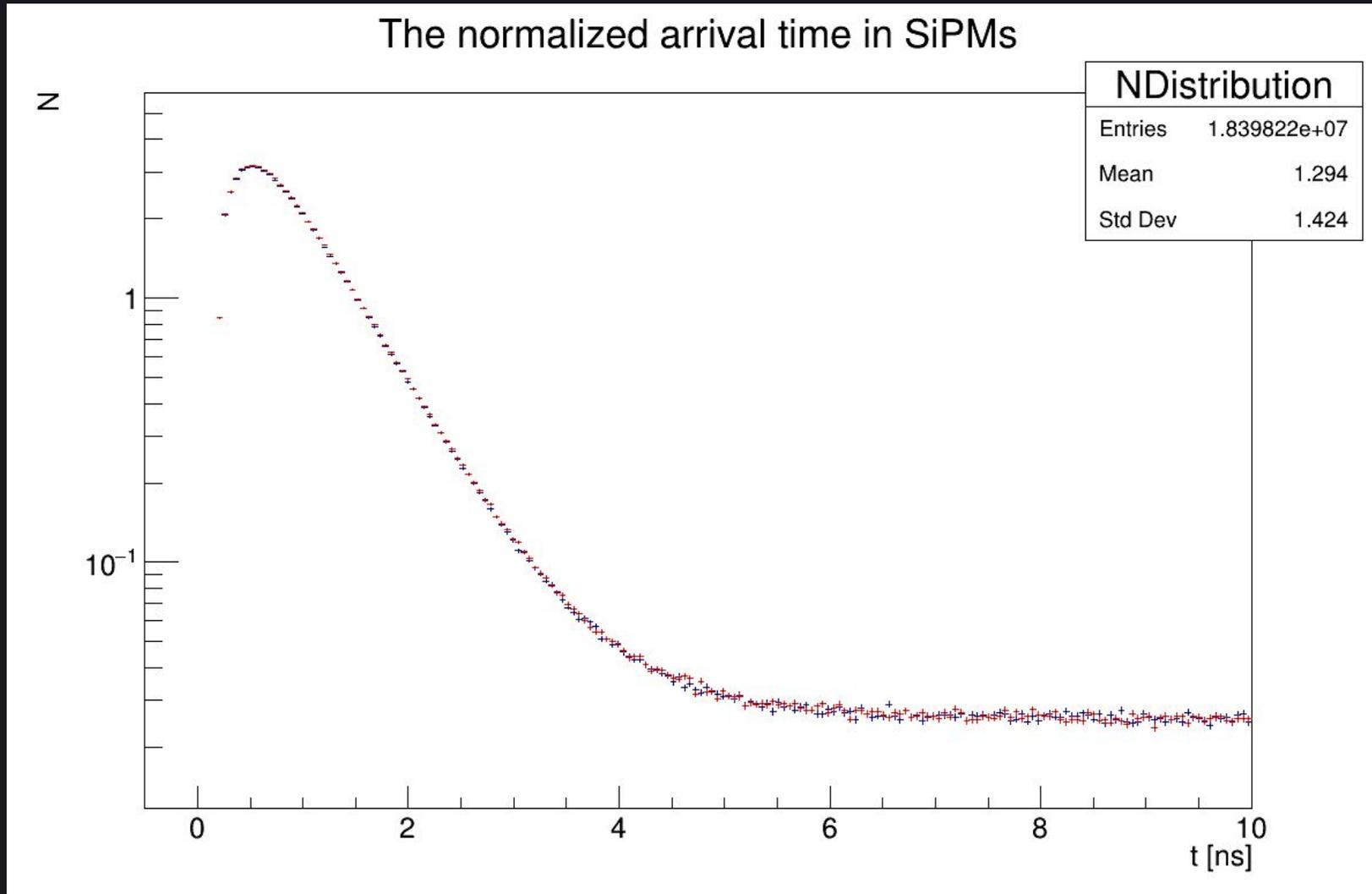


Два кристалла BaF_2 размерами $5\text{мм} \times 5\text{мм} \times 15\text{мм}$. К концам кристаллов вплотную прилегают кремниевые фотоумножители (SiPMы).



Источник частиц изначально располагался в центре между кристаллами. Далее изменялось его положение относительно кристаллов.

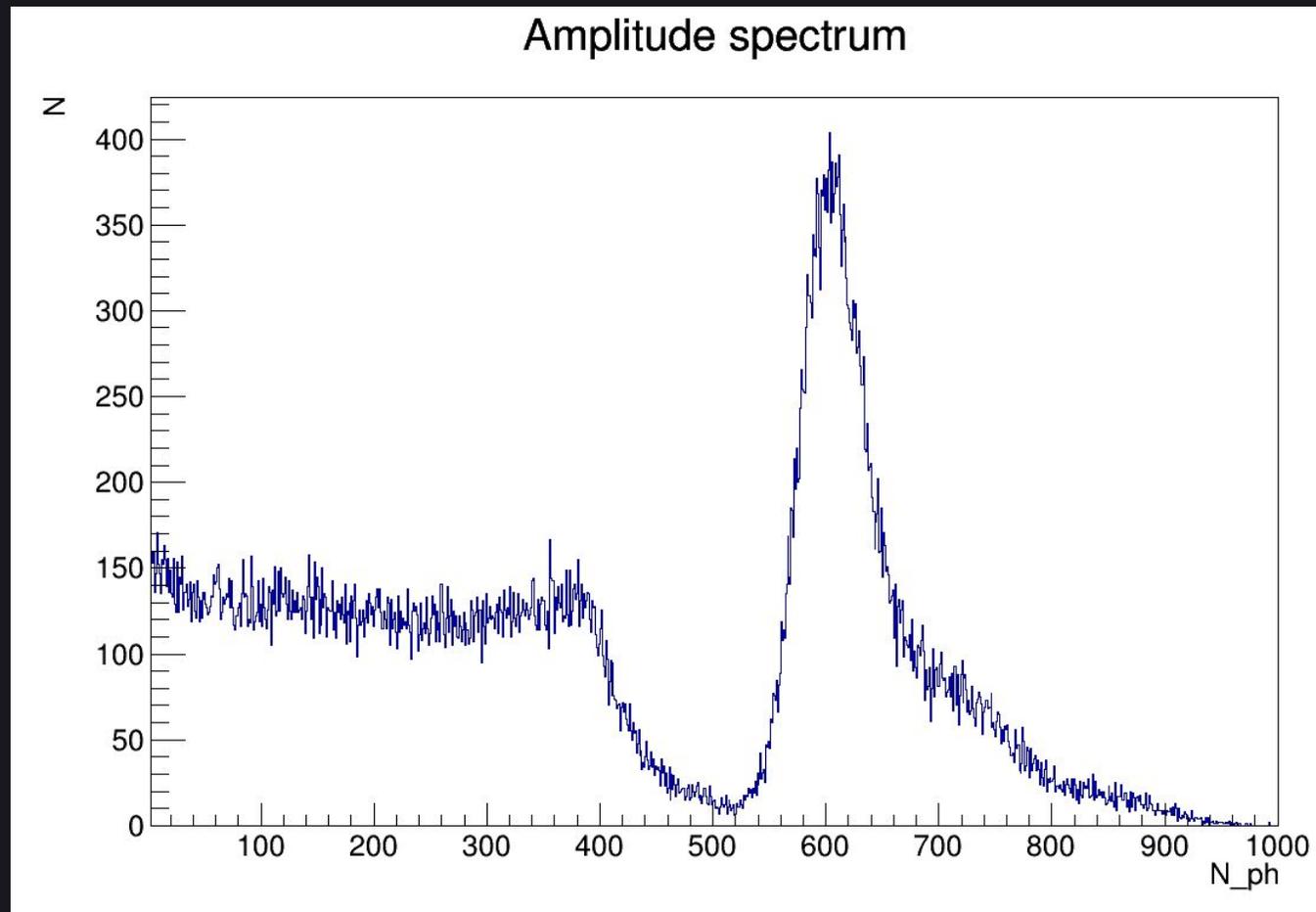
Результаты моделирования



Распределение времен прилета оптических фотонов в два SiPMa

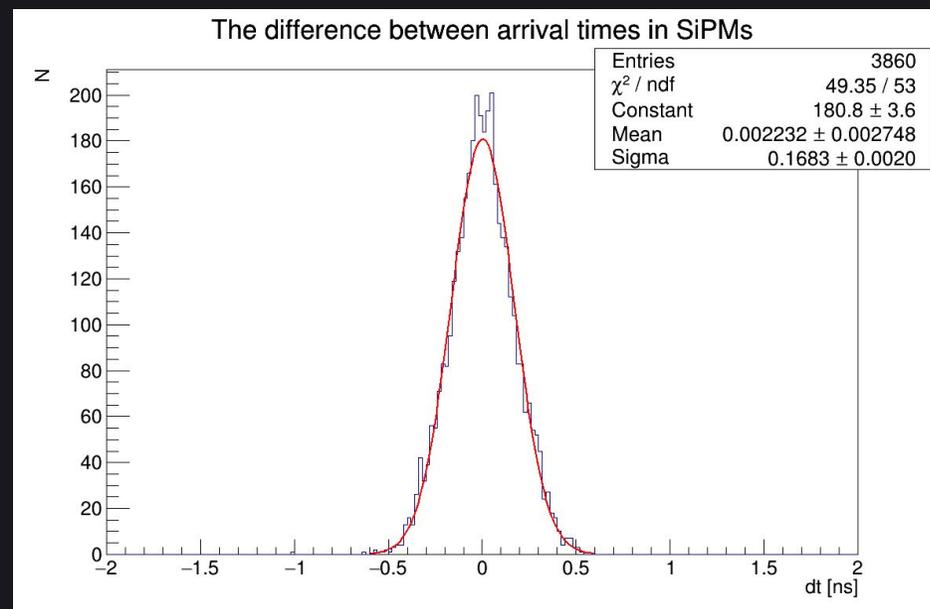
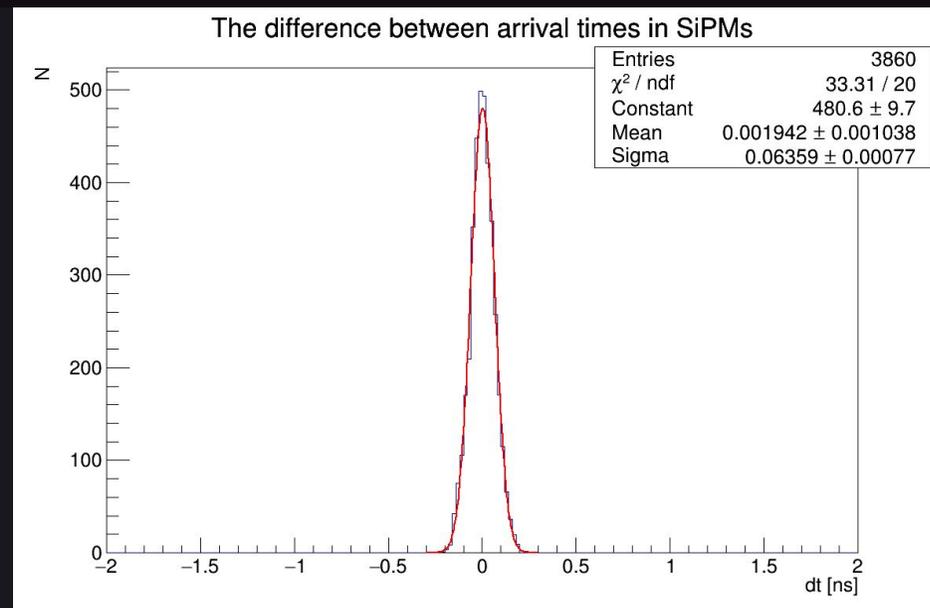
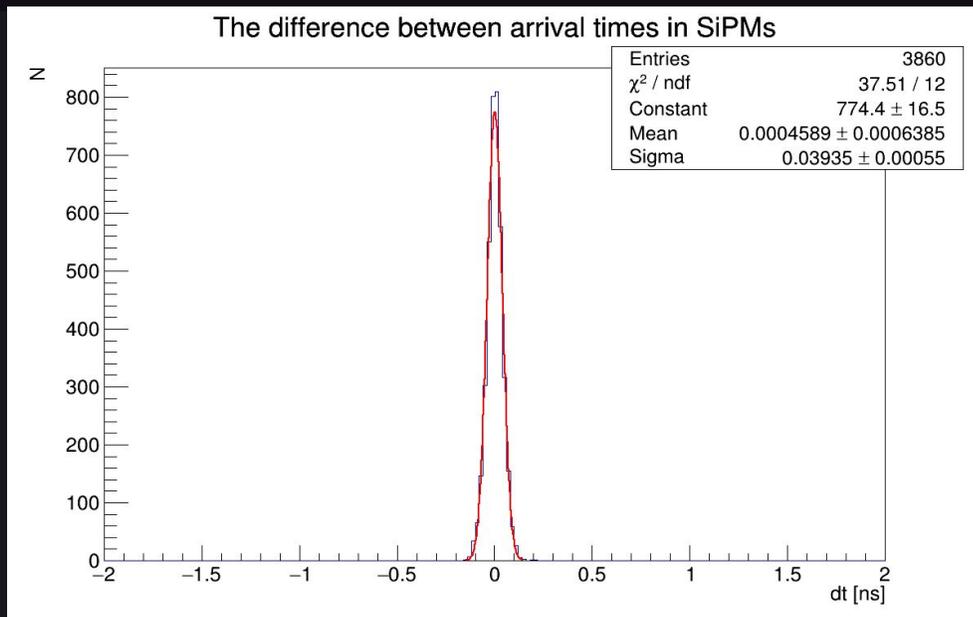
Результаты моделирования

Необходимо сделать отбор событий по энергии. В противном случае появляется вероятность того, что порог срабатывания для одного из SiPMов будет приходиться на фотоны, соответствующие медленной компоненте высвечивания.



Амплитудный спектр аннигиляционных фотонов

Результаты моделирования



Разница времен прилета для
третьего, десятого и пятидесятого
оптического фотона

Оценено значение временного разрешения, которое равно ширине распределения на полувысоте:

$$3 \text{ фотона: } \Delta t = 92.1 \pm 1.3 \text{ пс}$$

$$10 \text{ фотонов: } \Delta t = 150 \pm 2 \text{ пс}$$

$$50 \text{ фотонов: } \Delta t = 396 \pm 5 \text{ пс}$$

Результаты моделирования

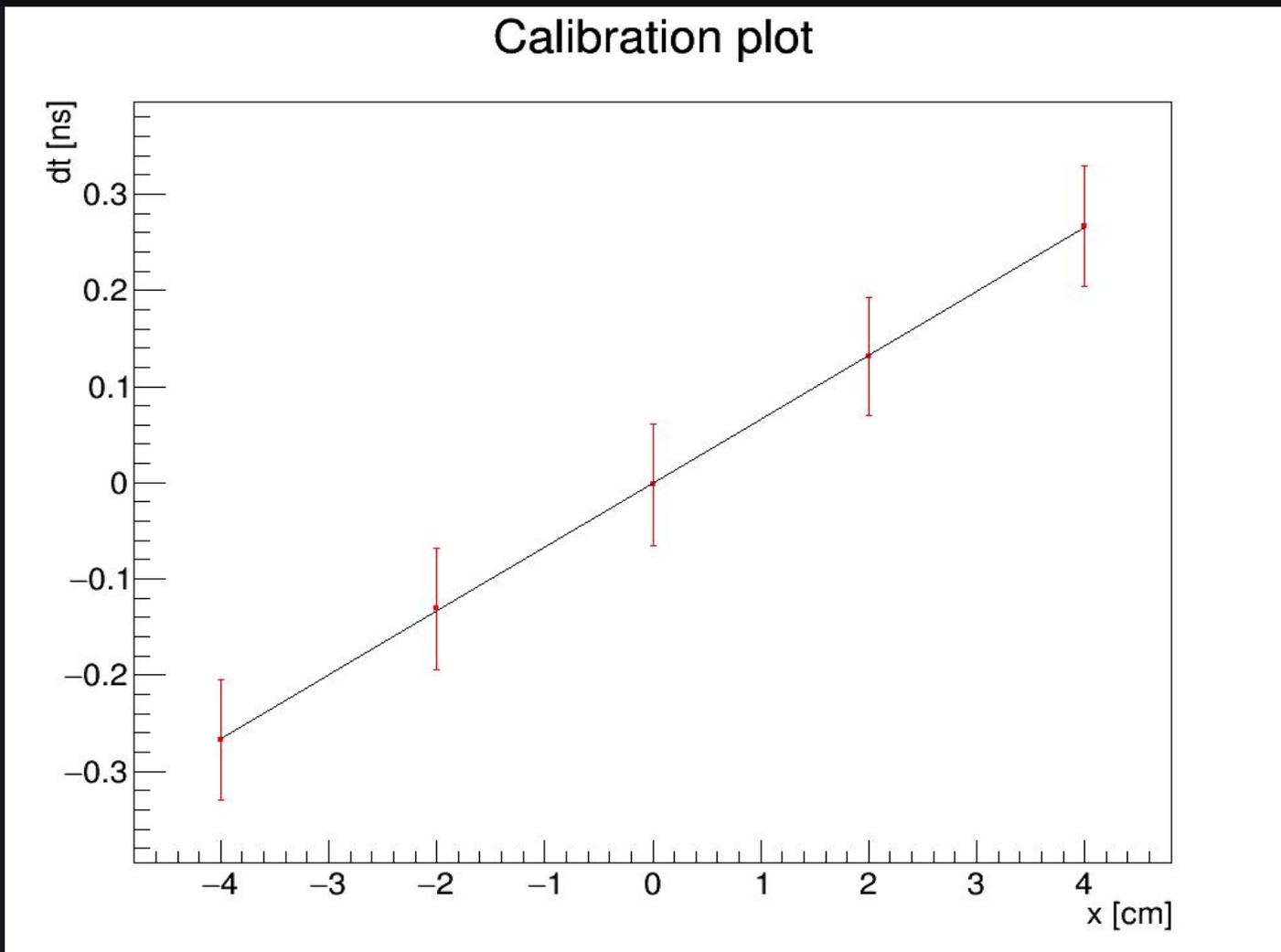
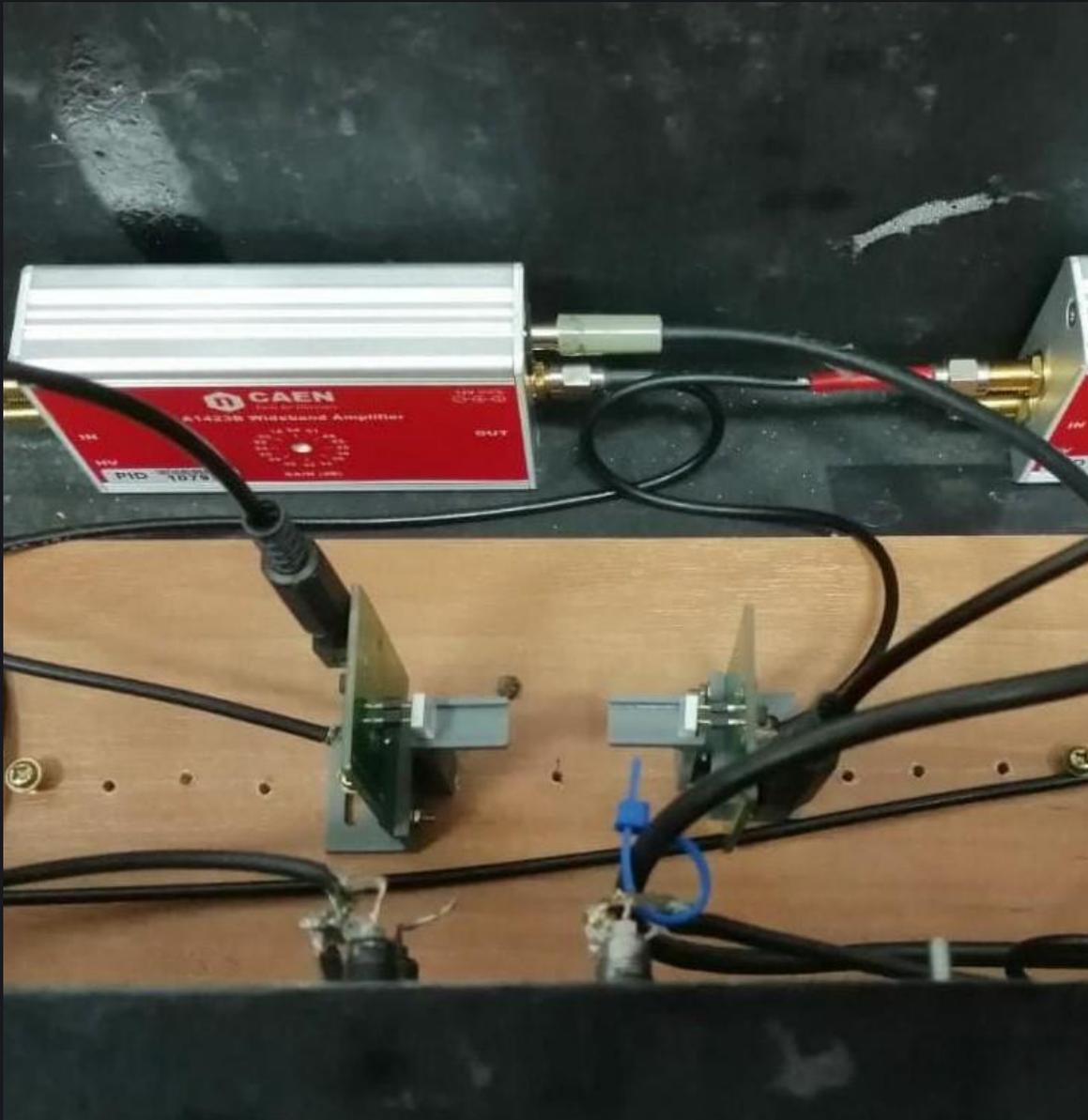


График зависимости разницы времен прилета фотонов в SiPMы от положения источника

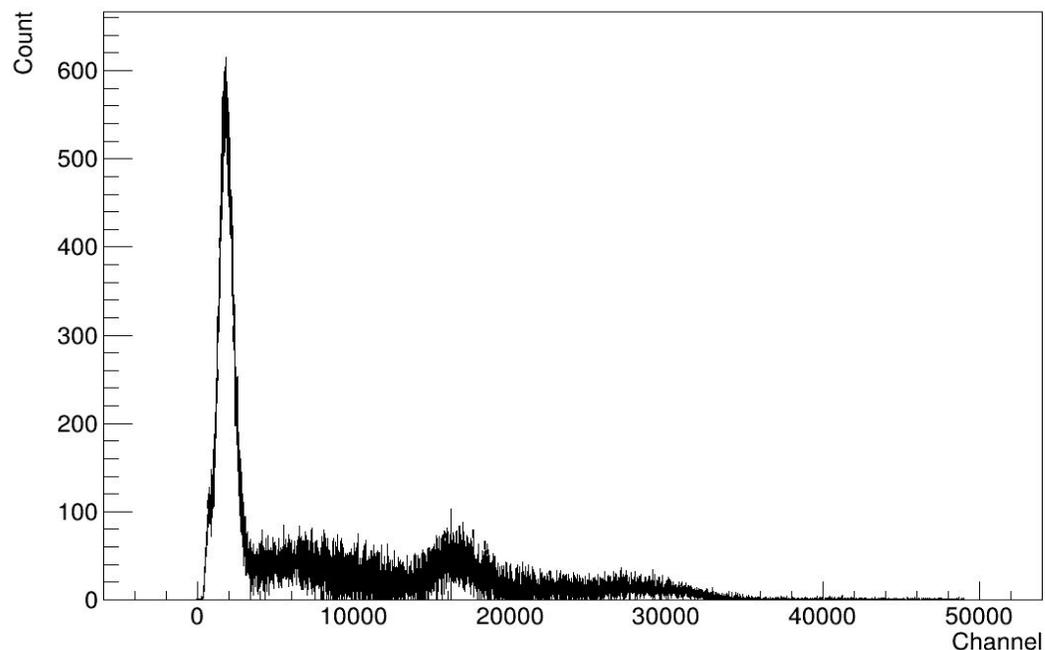


Два смоделированных и распечатанных на 3D принтере “уголка”, к которым крепятся платы с SiPM, прикручиваются к доске.

На доске имеются отверстия с шагом в 1.5 см, для дальнейшего изменения расстояния между кристаллами.

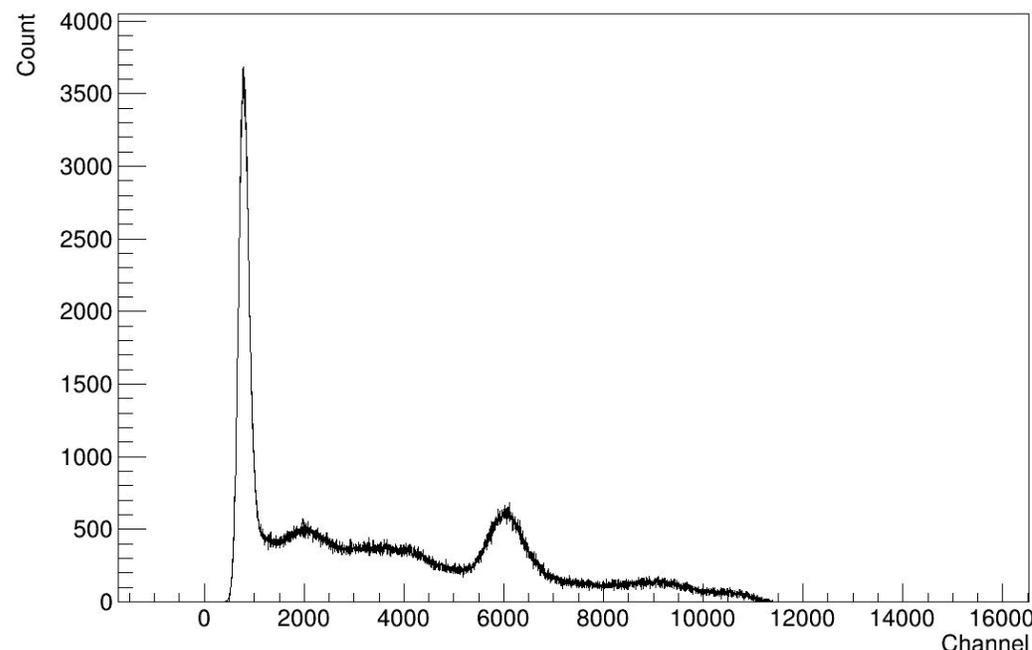
Амплитудные спектры LYSO

LYSO with S13370



LYSO с чувствительным SiPM

LYSO with S13360

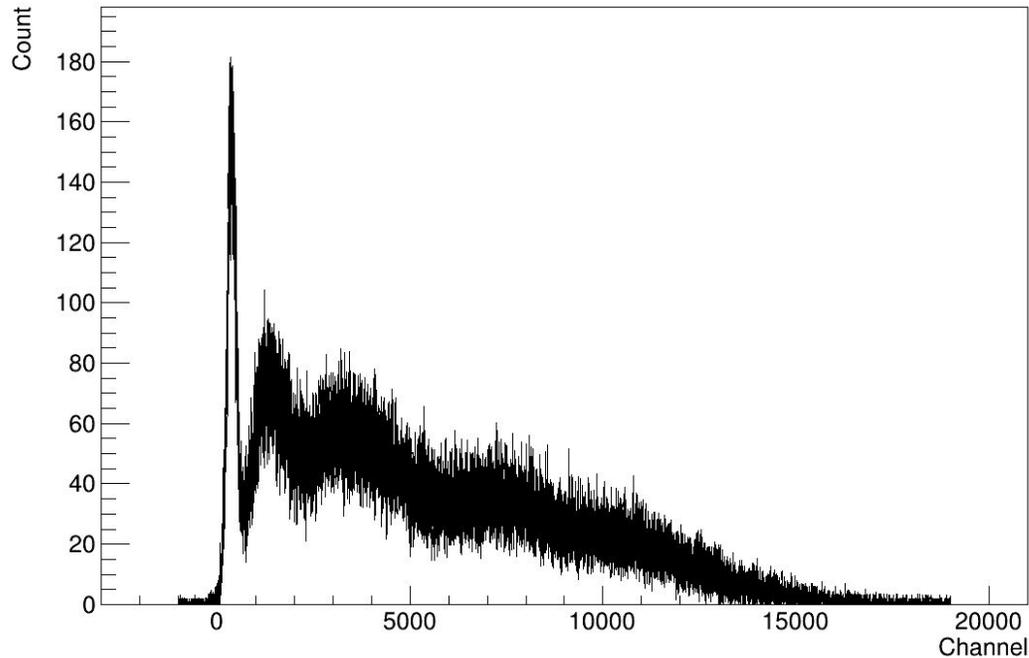


LYSO с нечувствительным SiPM

Результаты измерений амплитудных спектров кристаллов LYSO на двух типах SiPM: чувствительных к ультрафиолетовому диапазону излучений и нечувствительных.

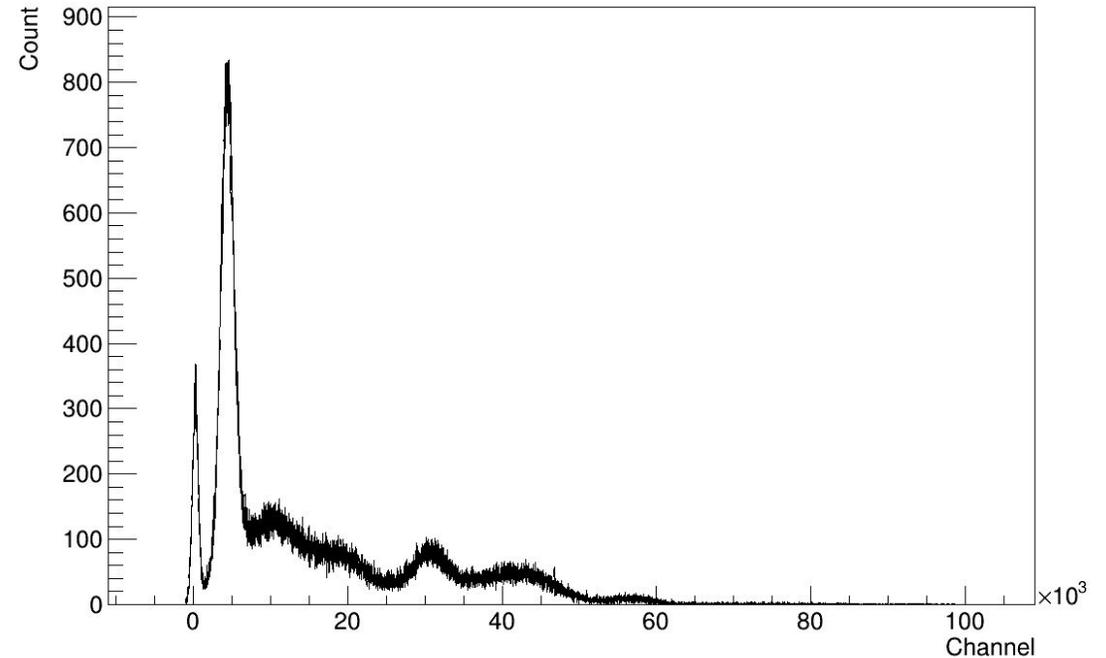
Амплитудные спектры BaF_2

BaF2 with S13370



BaF2 с чувствительным SiPM

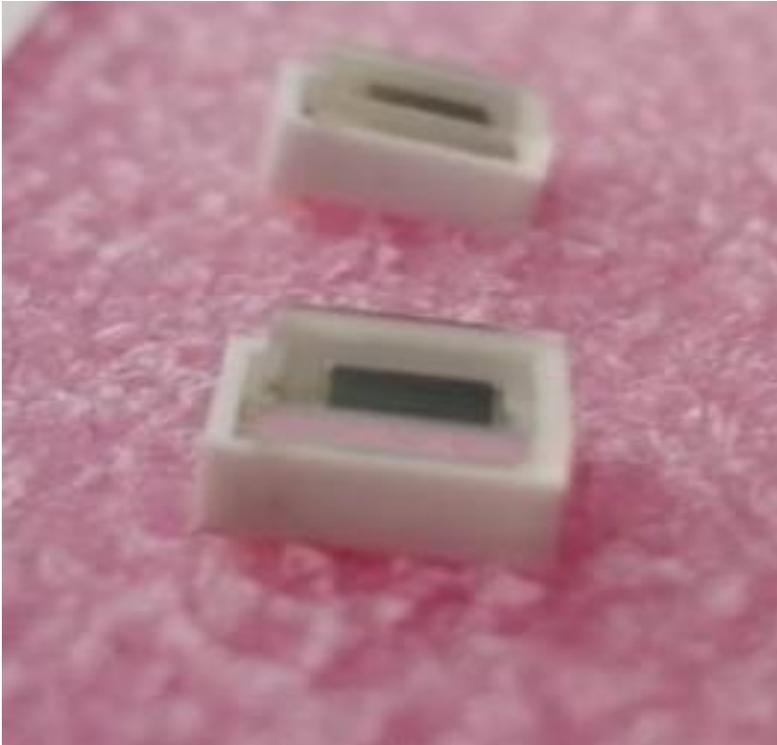
BaF2 with S13360



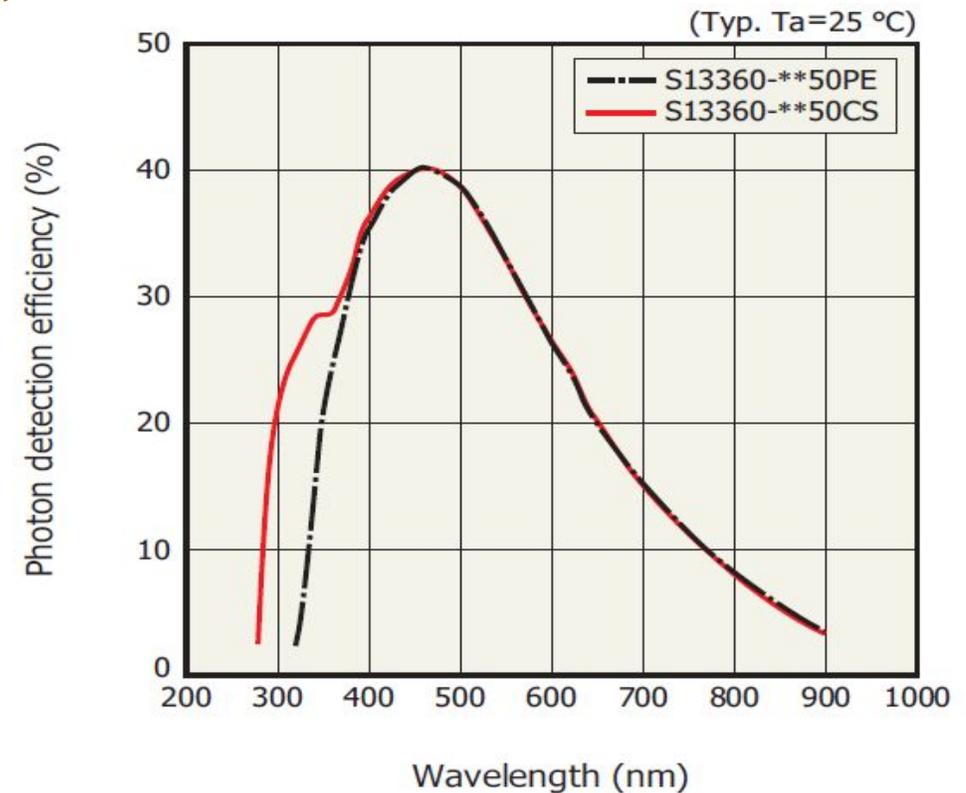
BaF2 с нечувствительным SiPM

Результаты измерений амплитудных спектров кристаллов BaF_2 на двух типах SiPM: чувствительных к ультрафиолетовому диапазону излучений и нечувствительных.

Результаты измерений



Чувствительный SiPM с защитным стеклом



Эффективность регистрации SiPMов

SiPMы S13370, чувствительные к ультрафиолетовому диапазону излучения имеют, вероятно, непрозрачное в ультрафиолетовом диапазоне стекло. Поэтому наблюдалось отсутствие разумных данных при измерении амплитудного спектра BaF_2 с помощью S13370.

Заключение

В рамках работы проведено моделирование с помощью Geant4. Главной составляющей модели являлись кристаллы BaF_2 , временные характеристики которых необходимо было исследовать. В результате моделирования получены распределения разницы времен прилета оптических фотонов, рожденных в кристаллах при их взаимодействии с аннигиляционными гамма-квантами. Основываясь на этих распределениях оценено временное разрешение кристаллов:

$$\Delta t = 150 \pm 2 \text{ пс}$$

Также в работе проводились экспериментальные исследования этих кристаллов. Однако, при исследовании SiPMов Hamamatsu S13370-3050CS была выявлена их низкая чувствительность к спектру высвечивания кристаллов BaF_2 . Было выдвинуто предположение, что их низкая чувствительность к ультрафиолетовому спектру может быть обусловлена установленным на них защитным стеклом, непрозрачным в этом спектре.

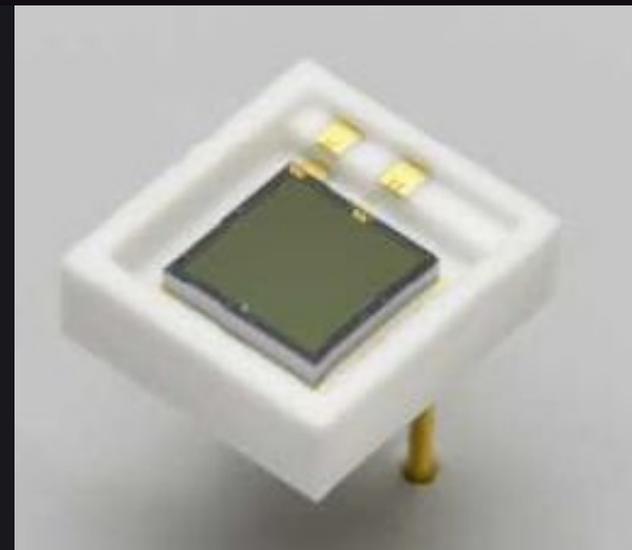
Спасибо за внимание

BACKUP

Оборудование



DT5720A



S13370-3050CS

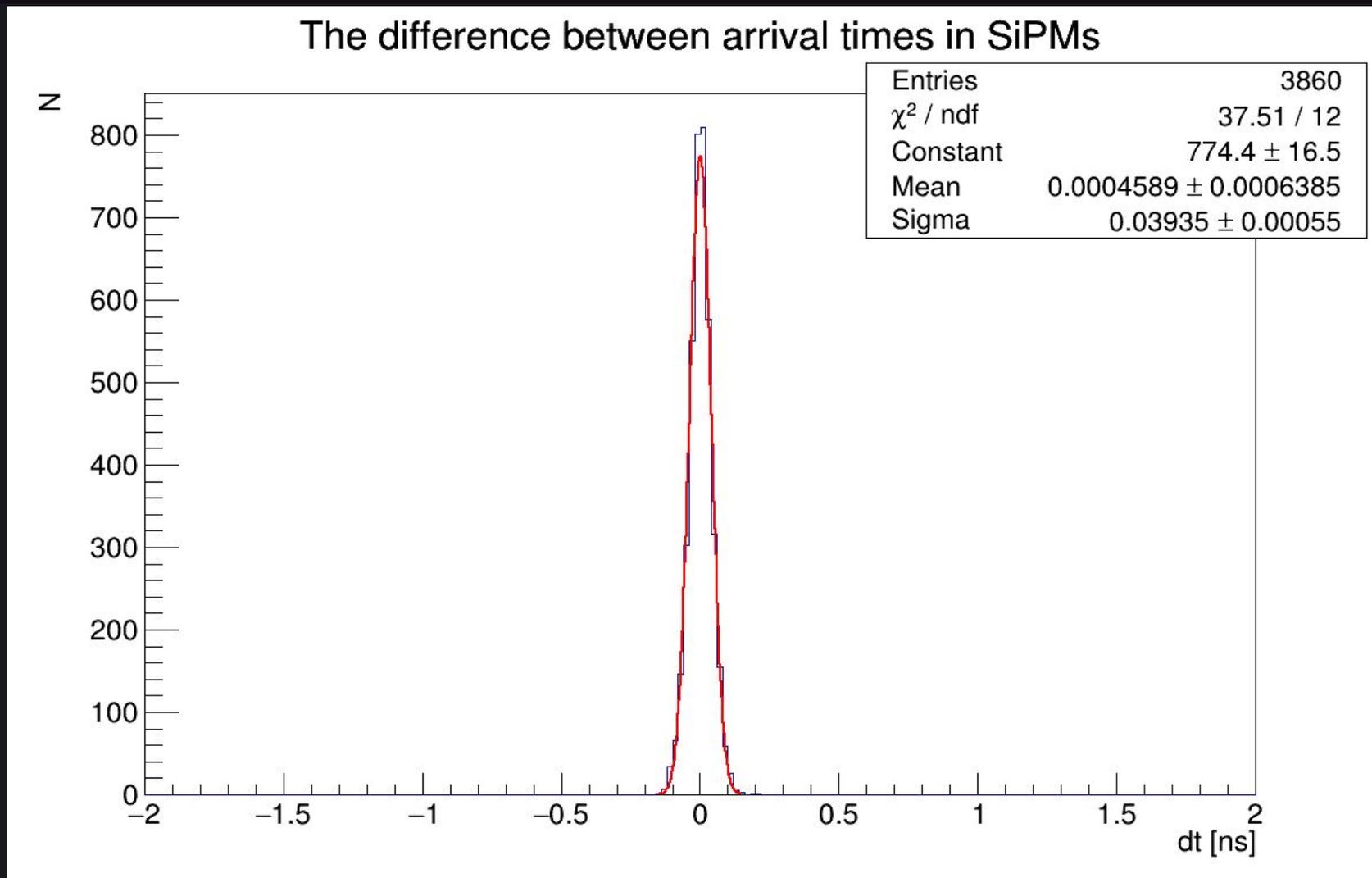


A1423B



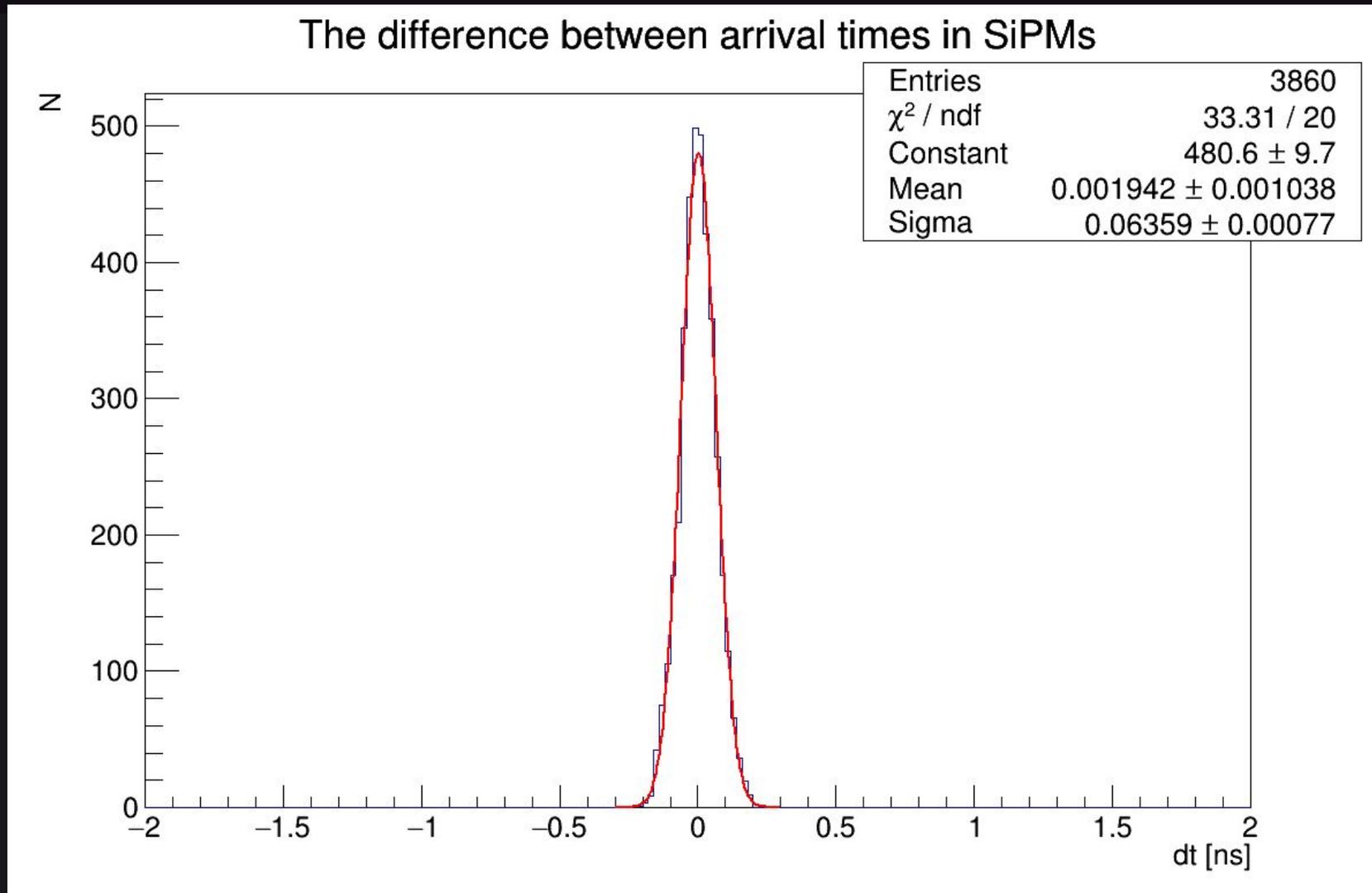
S13360-6050CS

Результаты моделирования



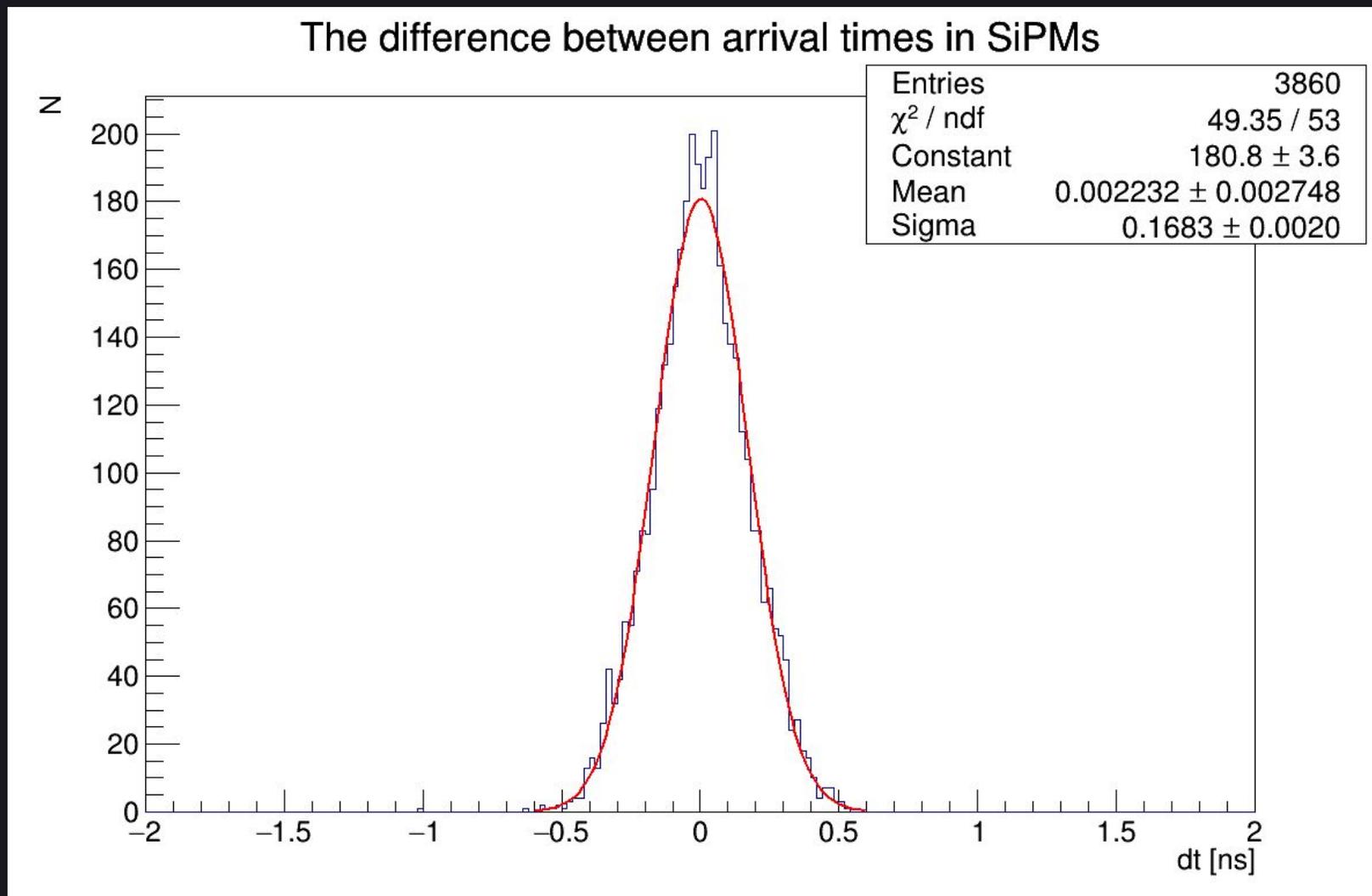
Разница времен прилета для третьего оптического фотона

Результаты моделирования



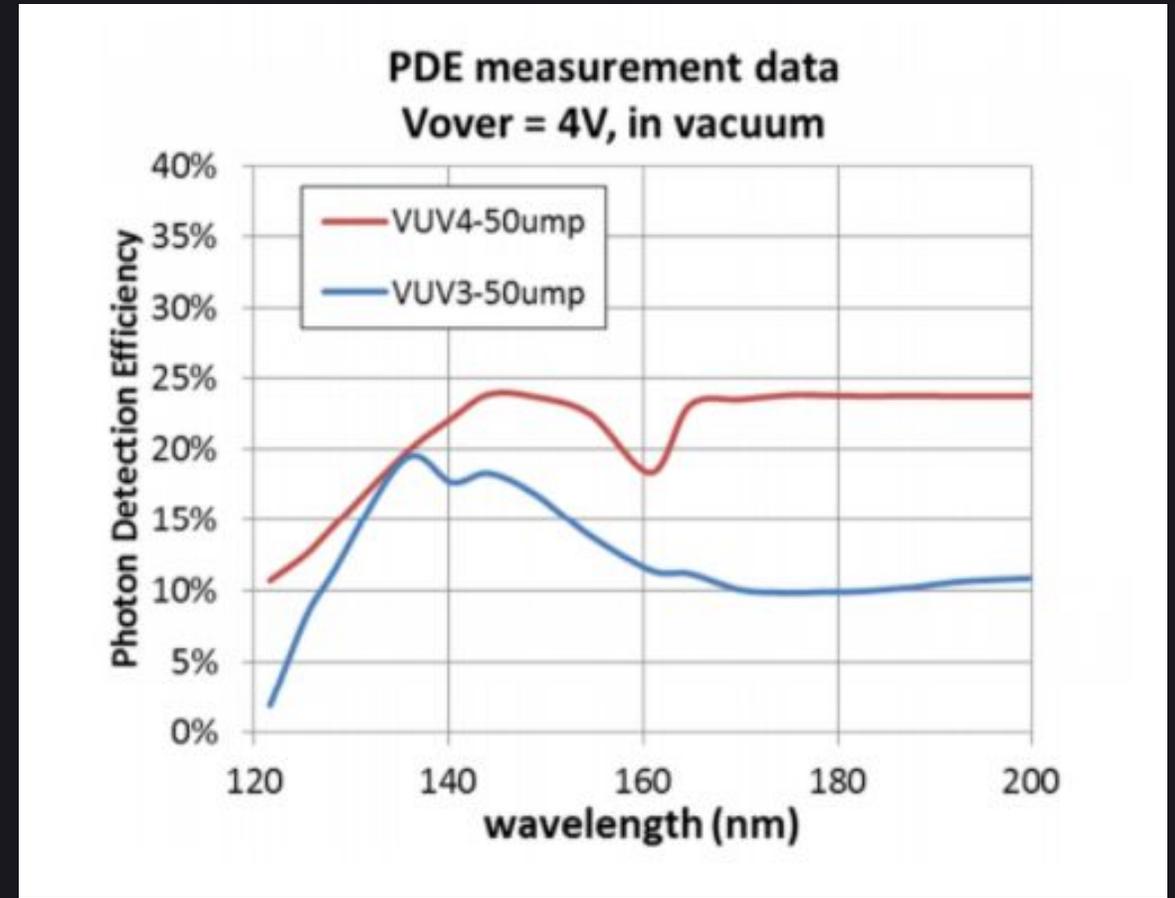
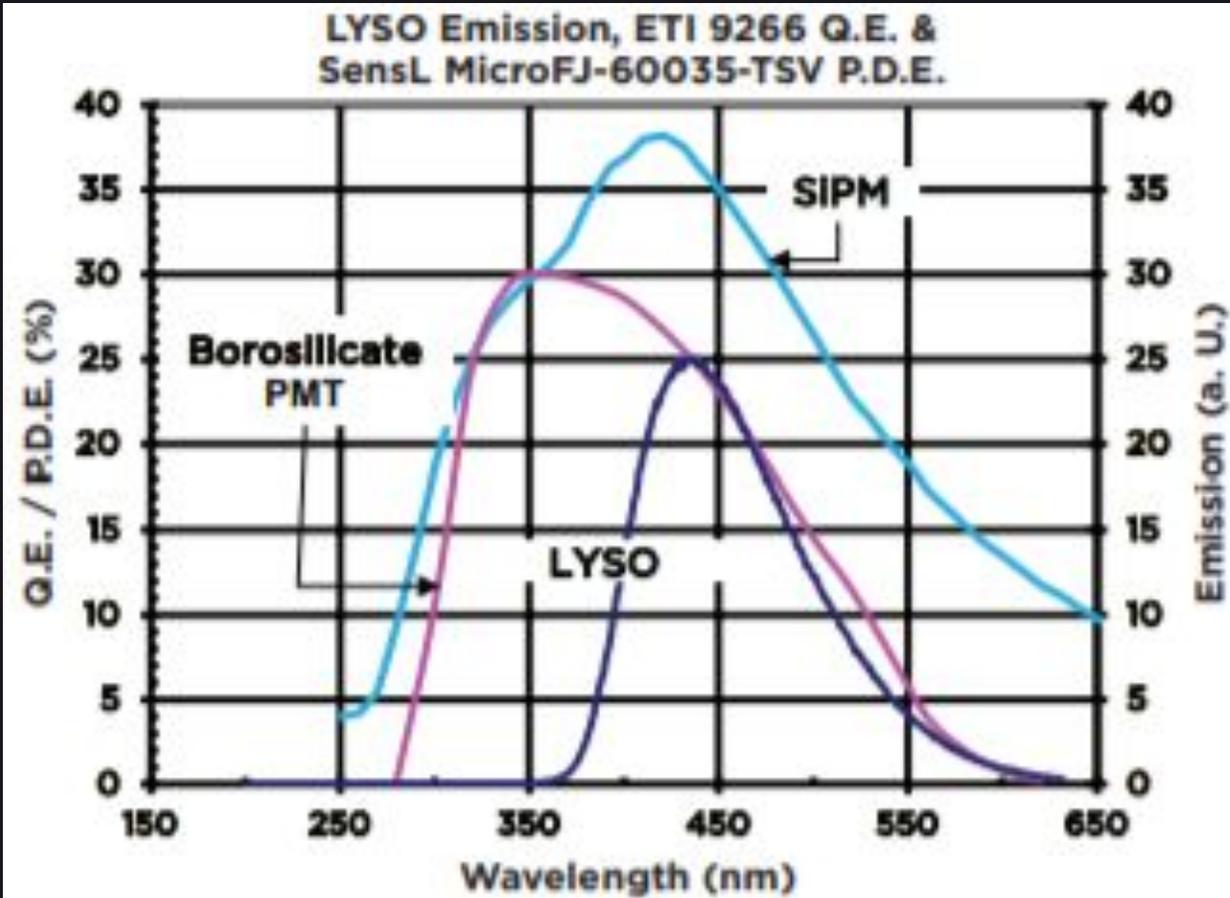
Разница времен прилета для десятого оптического фотона

Результаты моделирования

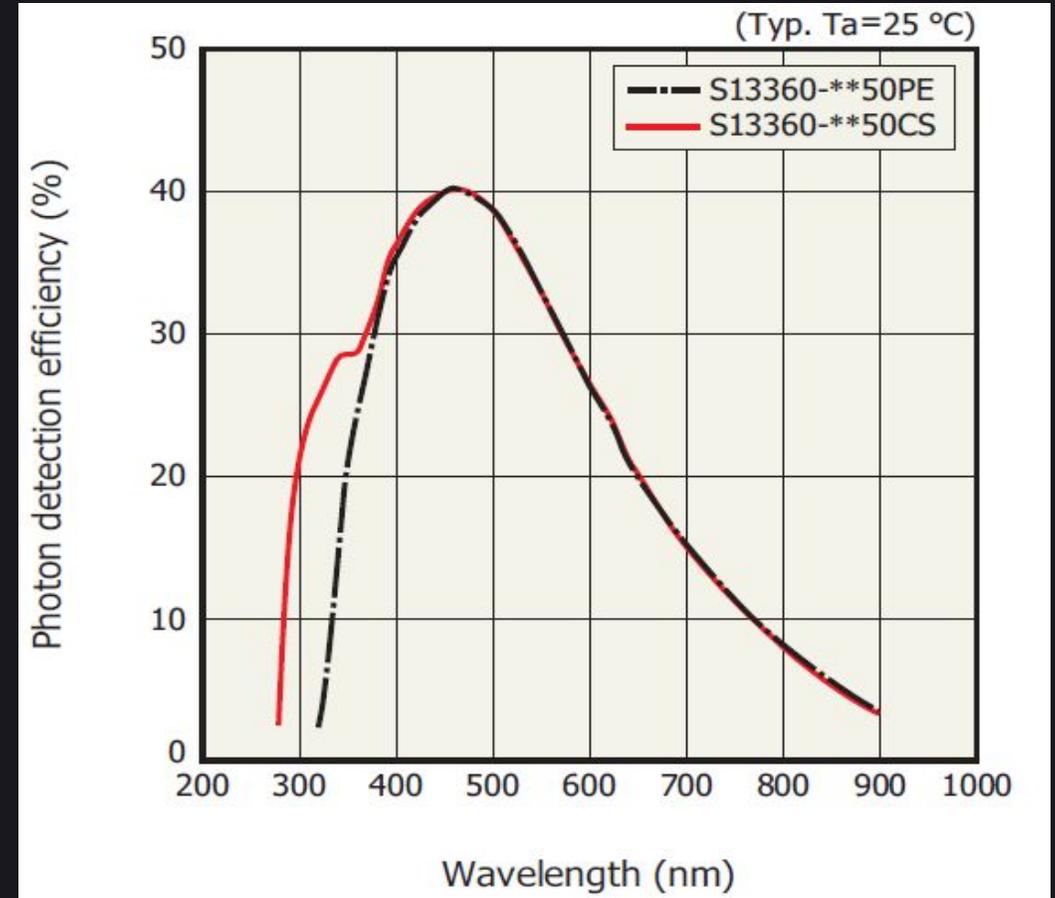
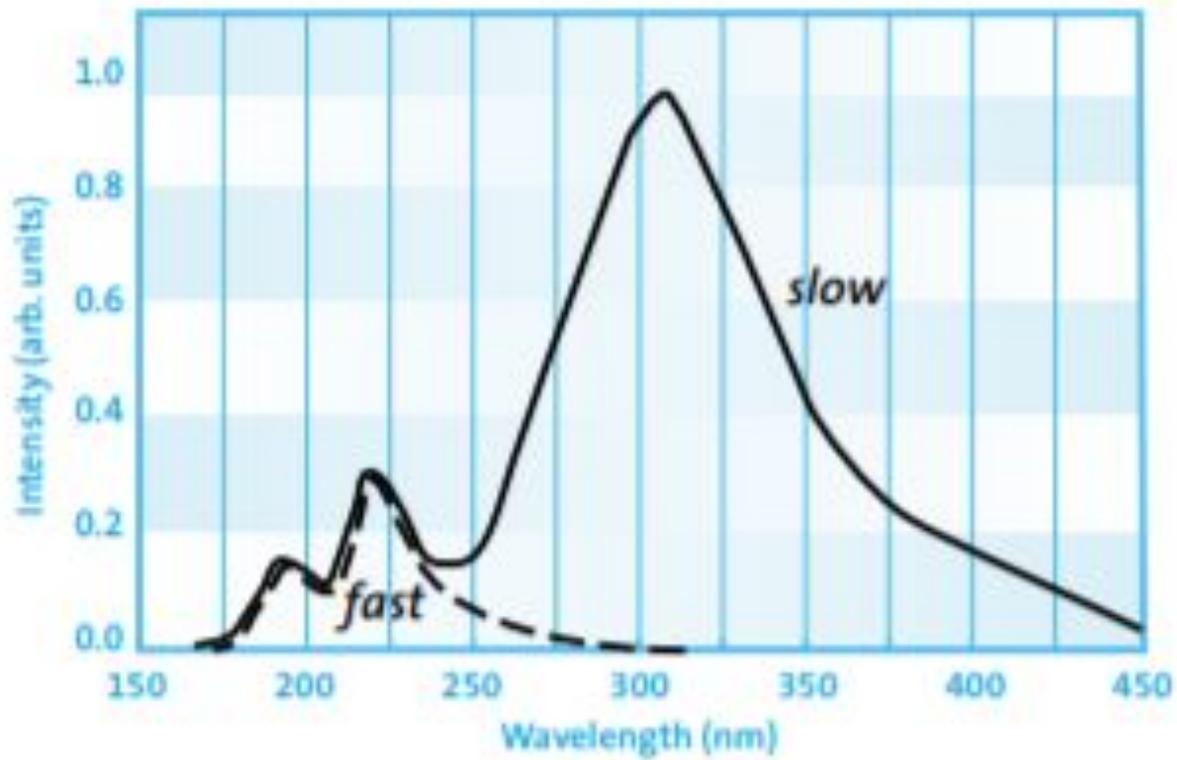


Разница времен прилета для пятидесятого оптического фотона

LYSO



BaF2



УСТАНОВКА

