

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
БАКАЛАВРА

«ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИСТИРОЛА»

Научный руководитель:

к.ф.-м.н., доцент

А.В. Гробов

Консультант:

Г. Д. Долганов

Выполнил:

М.А. Шадрин

2021 г.

- Измерение временных характеристик полистирола
- Обработка полученных данных
- Выработка методики проведения временных измерений
- Сравнение результатов измерений для плат xTDC4 и Petiroc2A
- Моделирование эксперимента в пакете Geant4
- Определение положение радиоактивного источника по временным и амплитудным измерениям

Экспериментальная установка

3

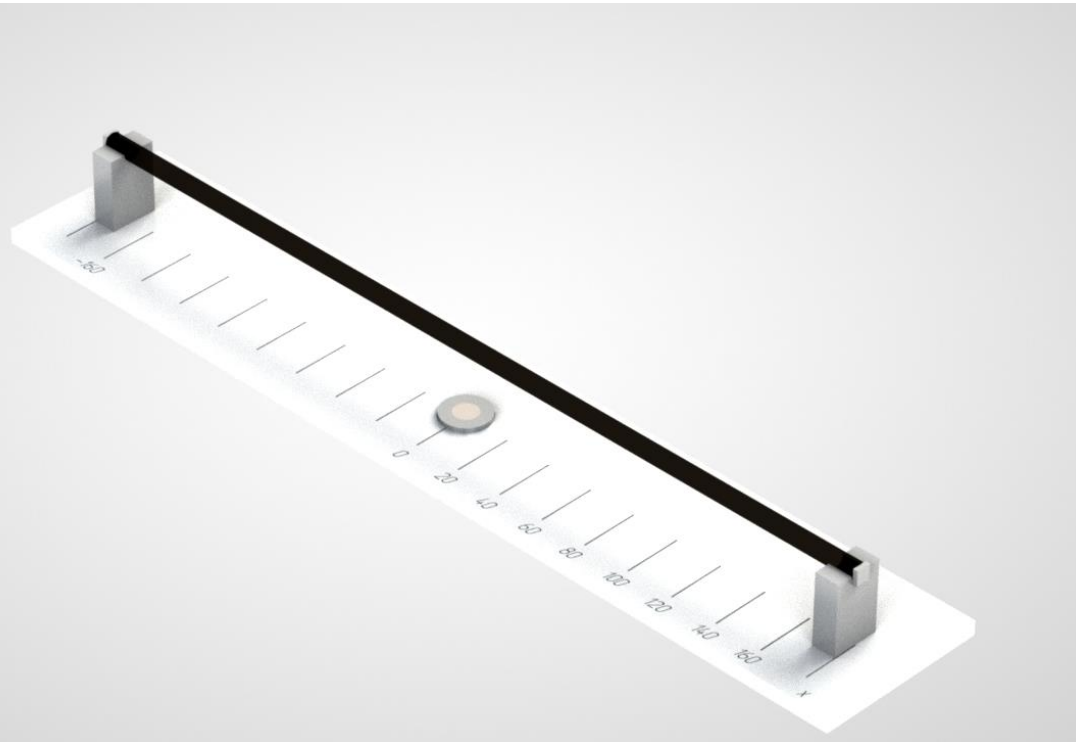


Рис. 1 Фотореалистичный вид установки

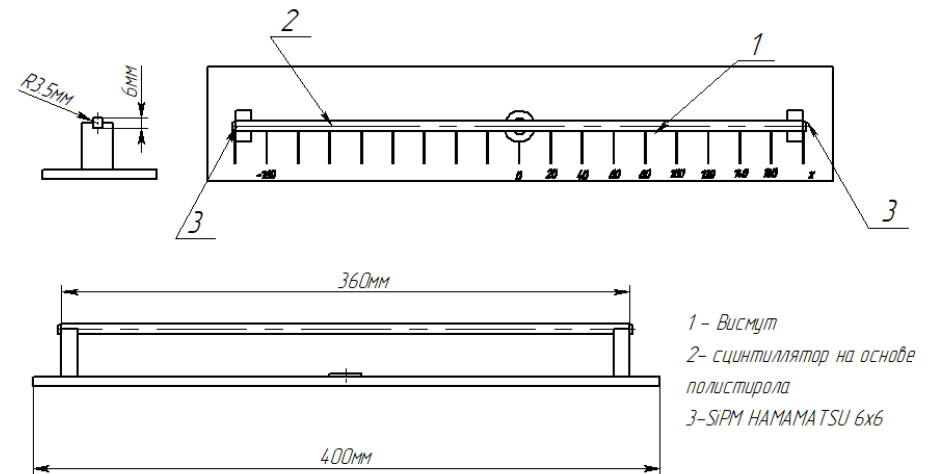


Рис. 2 Схема установки

Установка состоит из пластикового сцинтиллятора на основе полистирола, 2 SiPM Hamamatsu, 2 усилителей CAEN A1423B (не представлены на рисунке), платы Petiros2A и платы xTDC4, а так же радиоактивного источника Bi-207.

Спектр Bi-207 в полистироле

4

Decay Mode: EC, β^+		Half-Life: (11523 $\pm$ 1) d			
Radiation Type		Energy (keV)		Intensity (%)	
Auger-L		5.2	- 15.7	53.8	14
Auger-K		56.0	- 88.0	2.8	3
ec-K-1		481.7		1.52	2
ec-L-1		553.8	- 557.7	0.440	6
ec-M-1		565.8	- 567.2	0.15	2
ec-K-2		809.8		0.003	1
ec-K-3		975.7		7.03	13
ec-L-3		1047	- 1051	1.84	5
ec-M-3		1059	- 1061	0.54	7
ec-K-4		1682		0.02	1
β +max		806.5		0.012	2
β +av		383.4			
X-ray L	Σ	9.18	- 15.8	33.2	14
X-ray K α	Σ	74.2		58.19	24
X-ray K β	Σ	84.4	- 87.6	16.22	25
γ		328.11		0.00076	8
γ	Annih	511.0		0.0024	4
γ		569.70		97.76	3
γ		897.8		0.131	6
γ		1063.7		74.58	49
γ		1442.2		0.131	2
γ		1770.2		6.87	3

Рис. 4 Каналы распада Bi-207

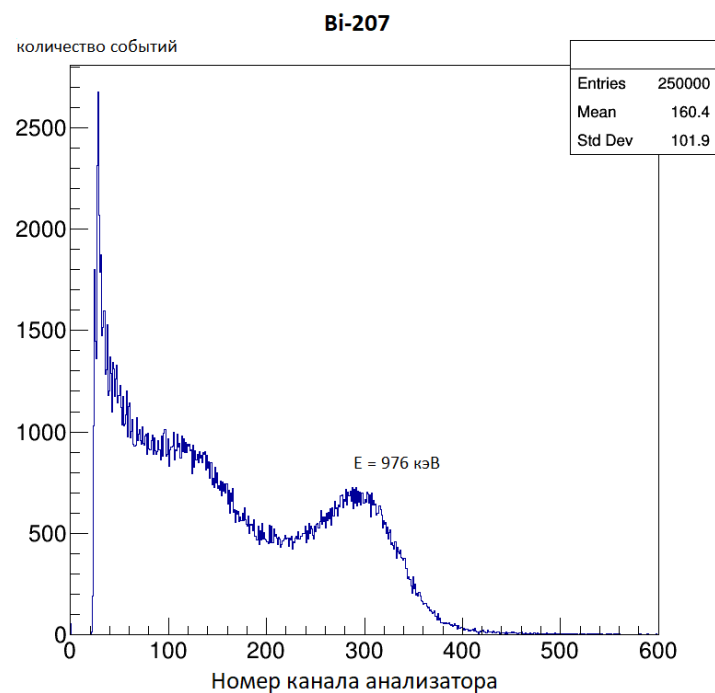


Рис. 5 Спектр Bi-207 в полистироле

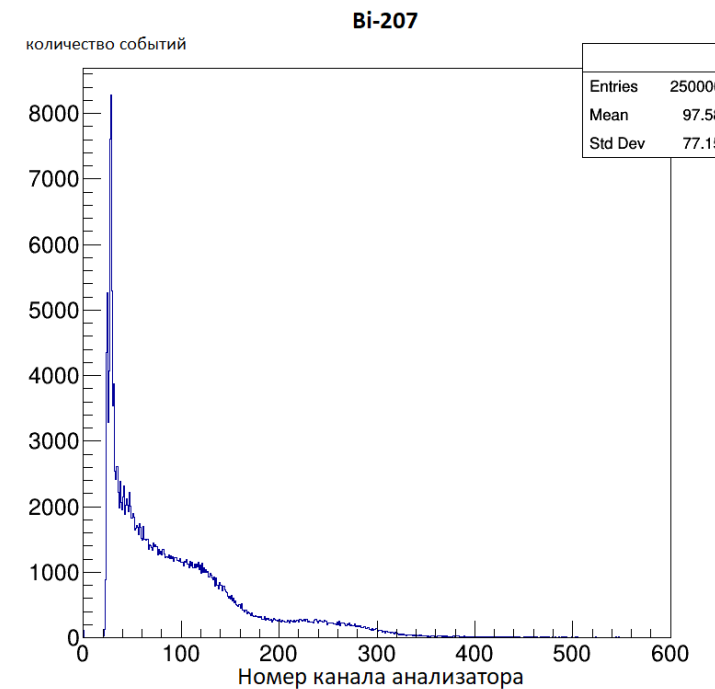


Рис. 6 Спектр гамма-квантов Bi-207 в полистироле

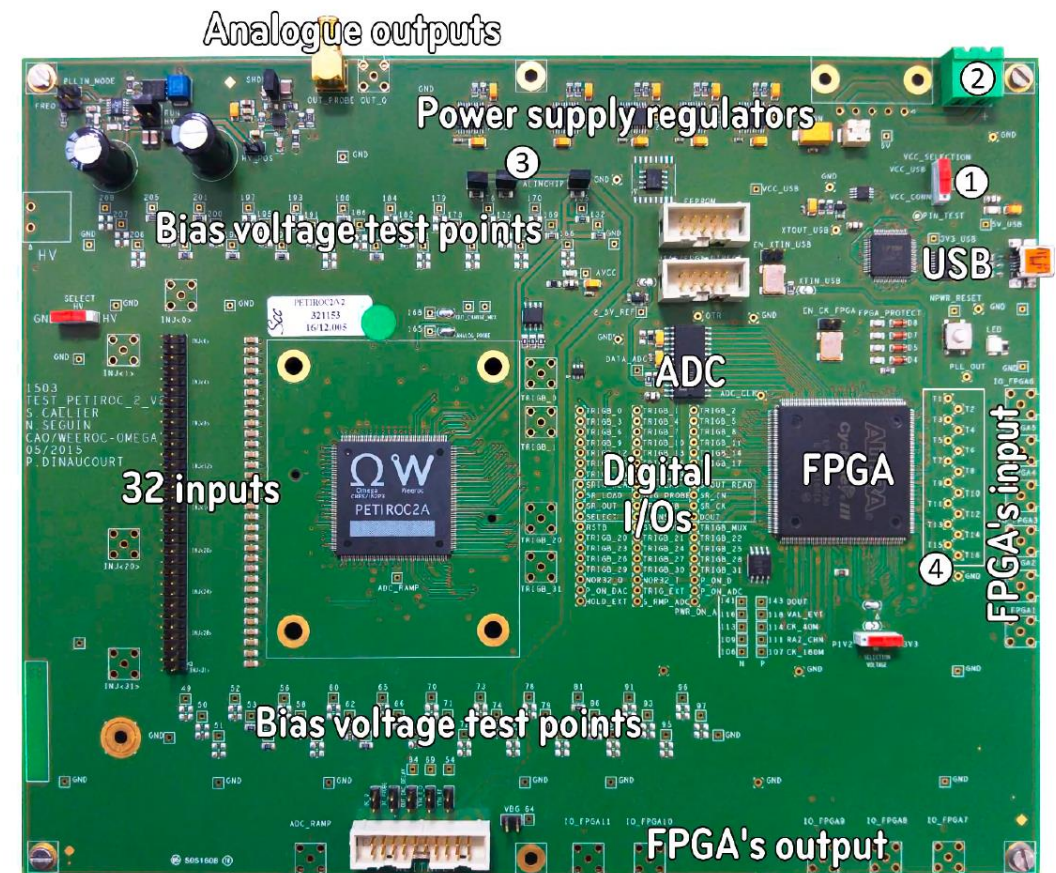
Запуск платы Petiroc2A для проведения временных измерений

5

Плата Petiroc2A представляет из себя многоканальное измерительное устройство для проведения временных и амплитудных измерений. Применяется для позитронной томографии. Производитель Weeroc.

Для запуска платы:

- была изучена документация
- освоено ПО поставляемое с платой
- проведена распайка разъемов и проверка проводов
- написана программа восстанавливающий временное разрешение из записанных данных



Запуск платы xTDC4 для проведения временных измерений

6

XTDC4-PCIe - это высокоточный цифровой преобразователь времени пуска (TDC). Временные метки передних или задних фронтов цифровых импульсов записываются с разрешением по времени 13 пс.

Для работы с платой xTDC4:

- изучена документация поставляемая с платой
- определена логика работы платы
- Определены необходимые параметры входных сигналов
- было разработано программное обеспечение для опроса платы и записи интересующих нас событий в файл, с учетом особенностей работы платы.



Измерение собственного временного разрешения плат

7

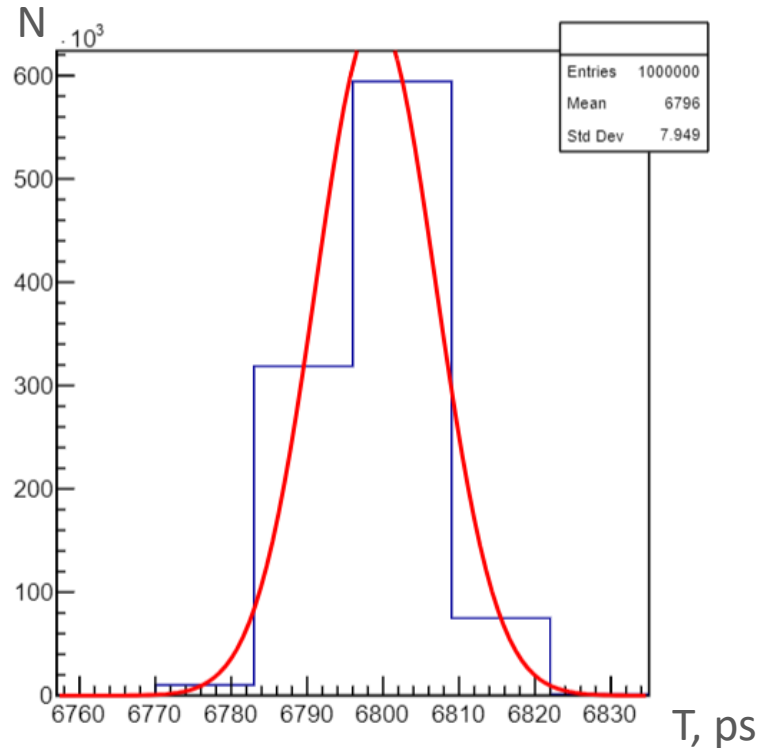


Рис. 7 Распределение числа событий в зависимости от разницы времен между сигналами от генератора импульсов для платы xTDC4

$$FWHM_{xTDC} = (19 \pm 4) \text{ пс.}$$

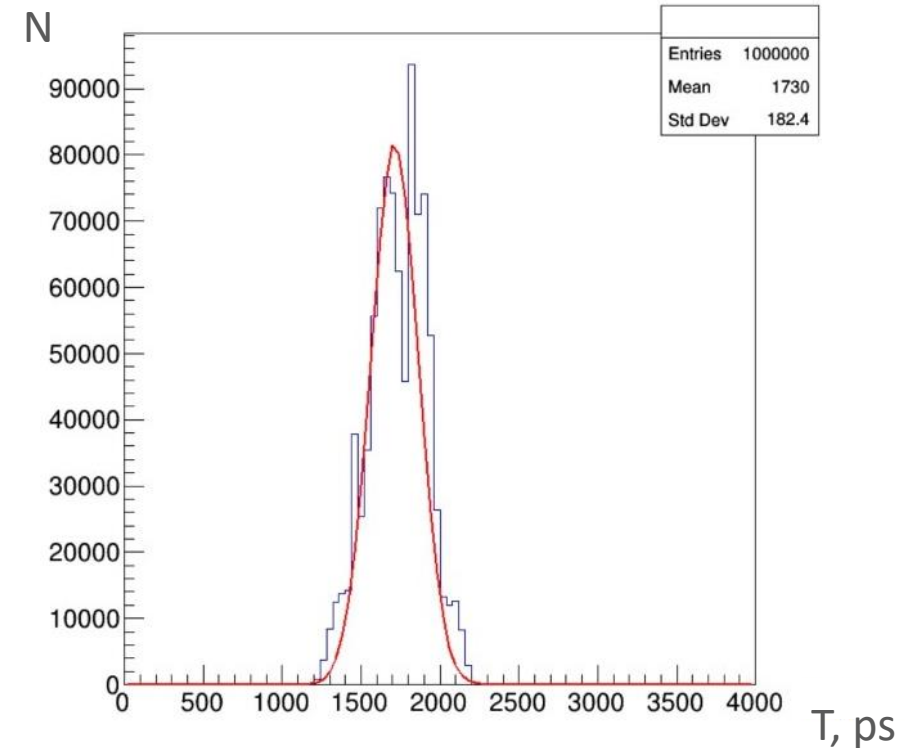


Рис. 8 Распределение числа событий в зависимости от разницы времен между сигналами от генератора импульсов для платы Petiroc2A

$$FWHM_{petiroc} = (428 \pm 30) \text{ пс}$$

Результаты измерений временного разрешения на плате Petiroc2A

8

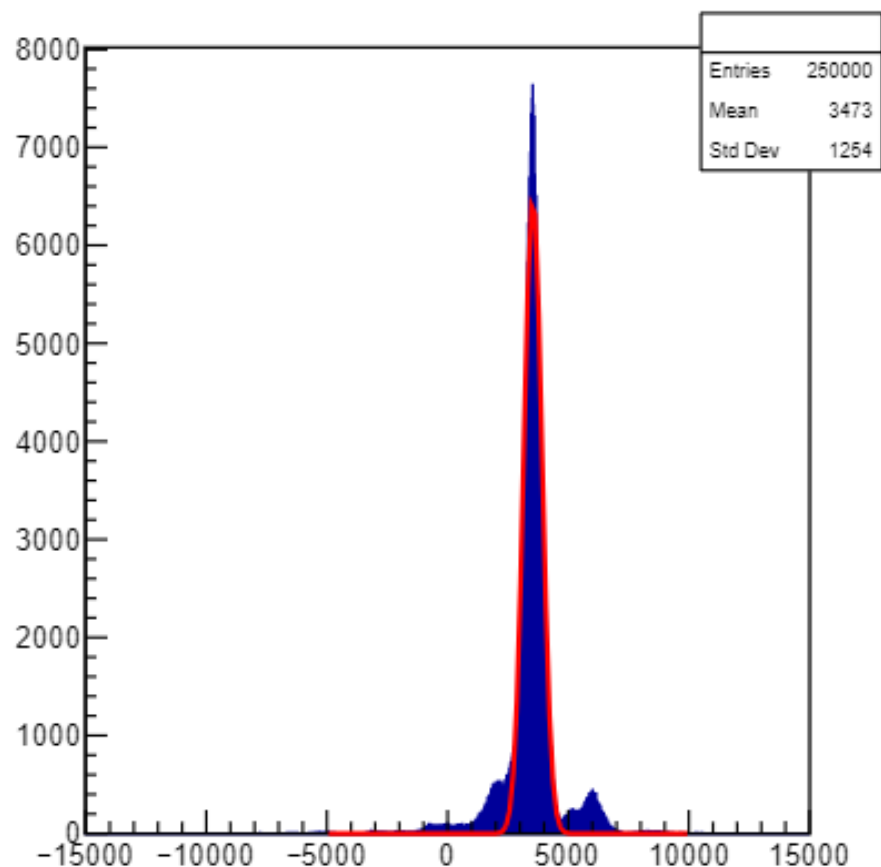


Рис. 9 Распределение числа событий в зависимости от разницы времен между сигналами с SiPM для положения источника $x = 0$ до отбора по энергии

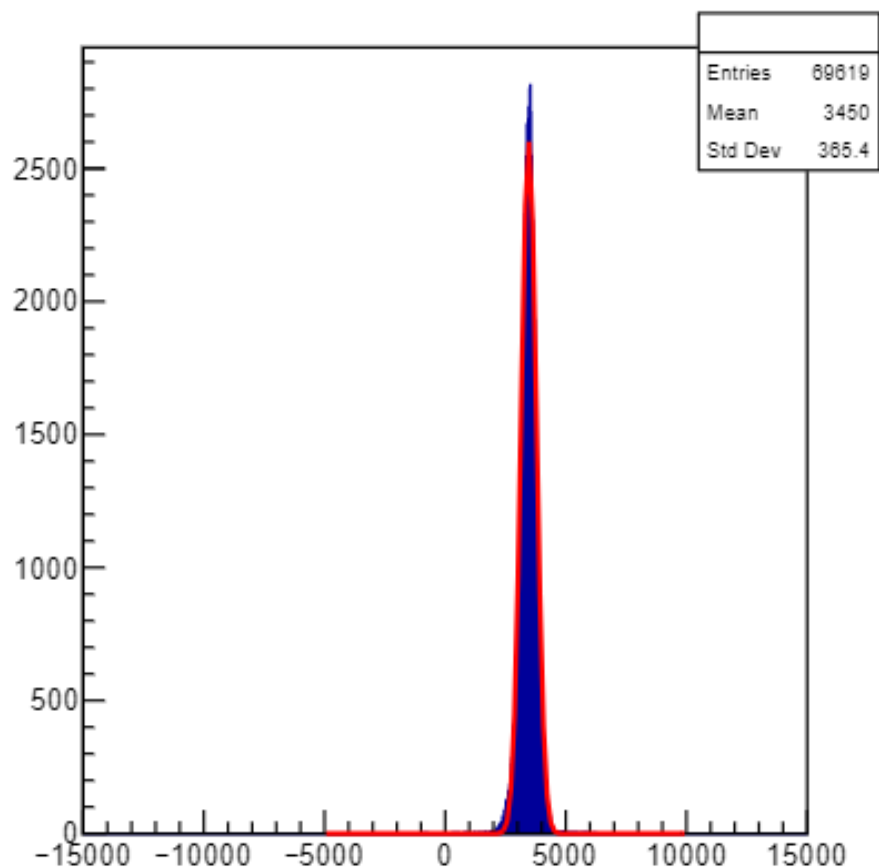


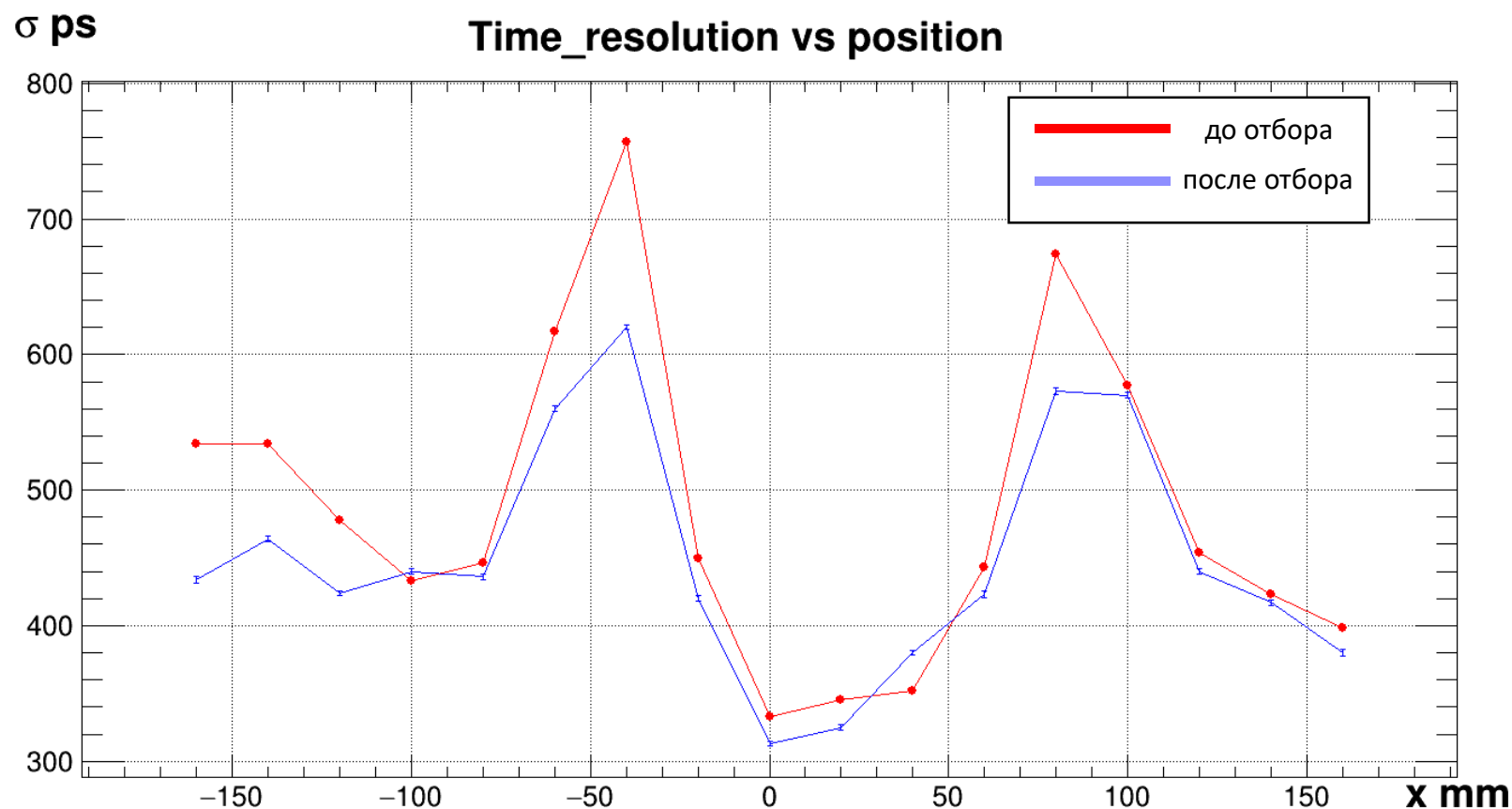
Рис. 10 Распределение числа событий в зависимости от разницы времен между сигналами с SiPM для положения источника $x = 0$ после отбора по энергии

В результате проведения энергетических отборов среднеквадратичное отклонение полистирола составило:

$$\sigma = (545 \pm 212) \text{ пс}$$

Результаты измерений временного разрешения на плате Petiroc2A

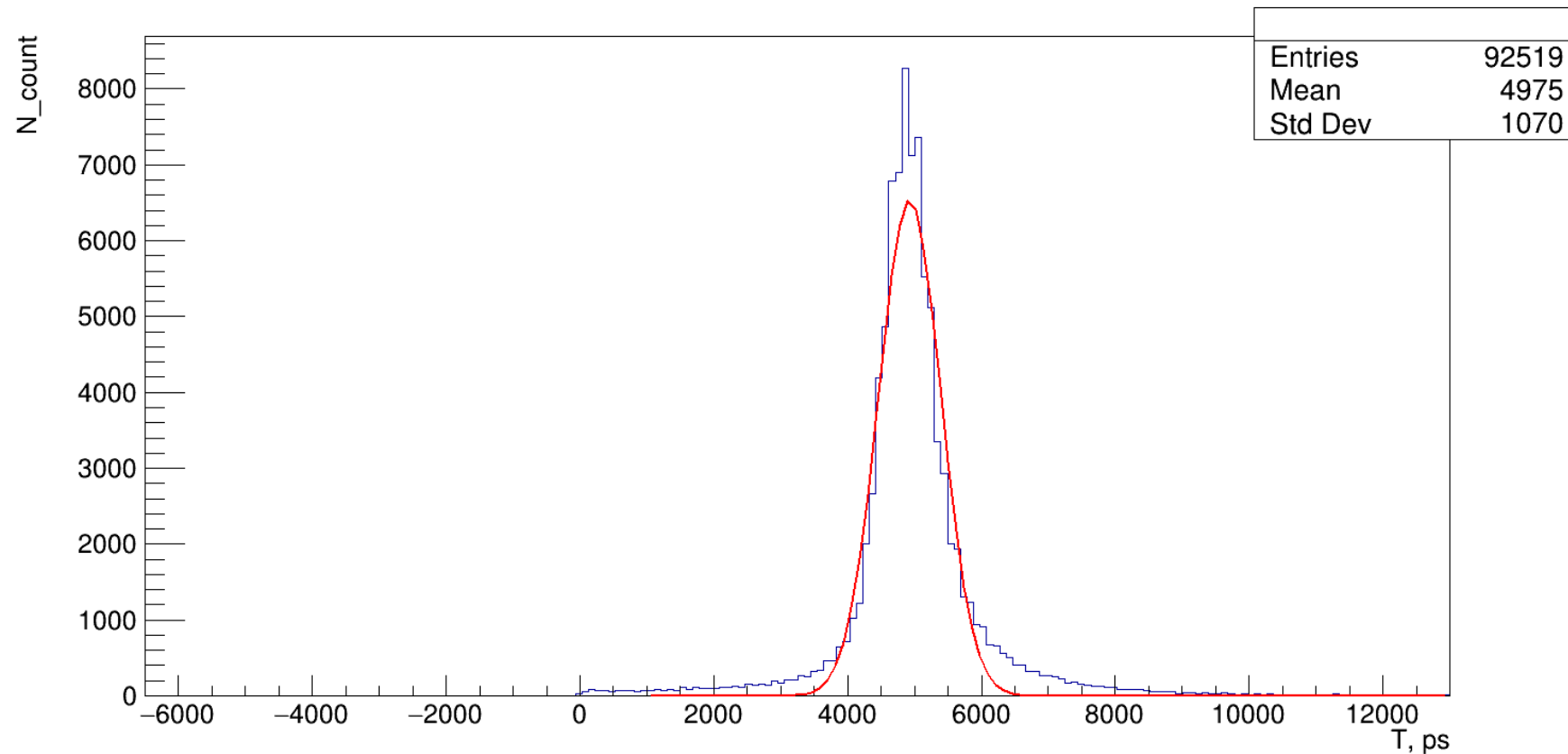
9



Можно заметить что значение временного разрешения различно для различных положений полистирола.

Отбор по энергиям улучшил получаемое значение временного разрешения. Так же после отбора уменьшились флуктуации.

Рис. 11 Сравнение временного разрешения полученного по результатам измерения на плате Petiroc2A до и после энергетических отборов



Полученное среднеквадратичное отклонение разницы времен между сигналами составило:

$$\sigma = (460 \pm 30) \text{ пс}$$

Как можно заметить данное распределение описывается гауссом не точно. Возможная причина этого заключается в том, что не проводились энергетические отборы.

Рис.12 Распределение числа событий в зависимости от разницы времен между сигналами с SiPM для положения источника $x=0$.

Сравнение результатов временных измерений для платы Petiroc2A и xTDC4

11

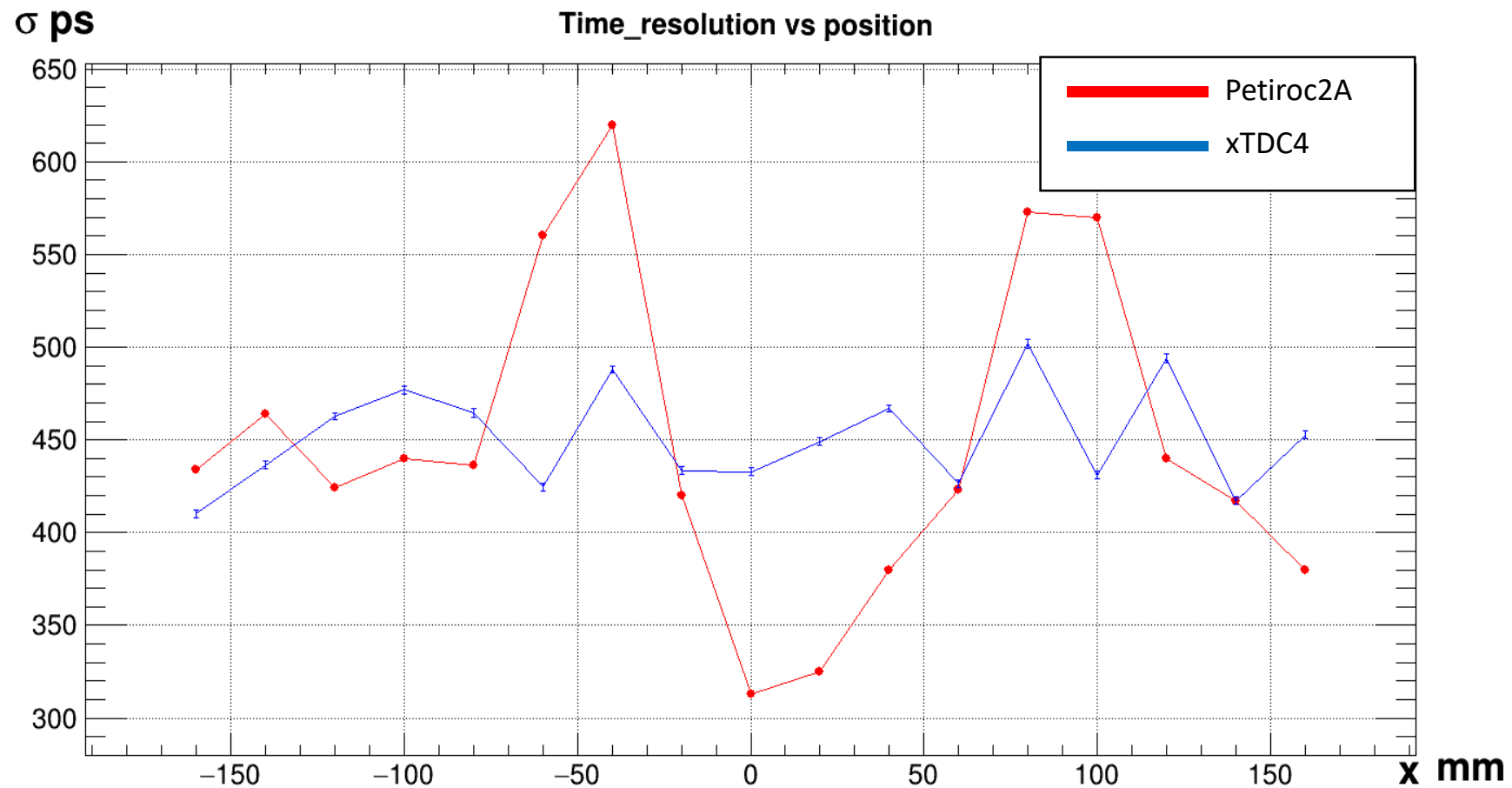
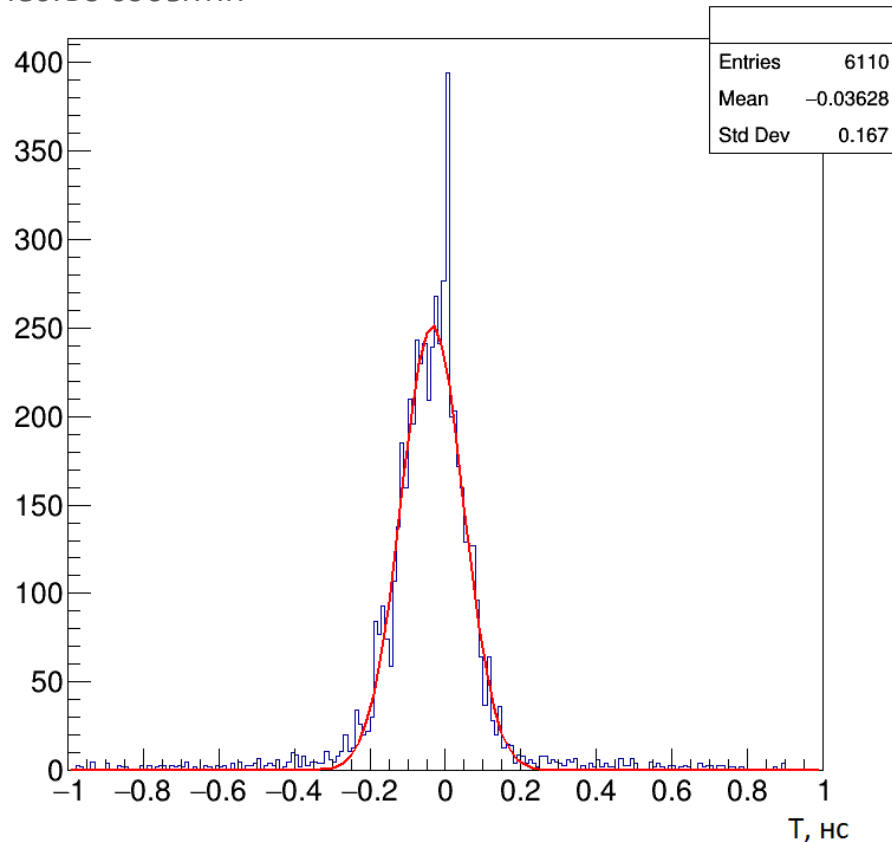


Рис. 13 Сравнение временного разрешения получаемого в измерениях на плате Petiroc2A и xTDC4

Моделирование эксперимента в пакете Geant4

12

Количество событий



Значение временного разрешения, полученное в результате моделирования в пакете Geant4 составляет: FWHM = 195 пс.

Проблемы моделирования:

- неопределенность сцинтилирующей добавки, используемой в данном образце полистирола
- наличие поверхностного слоя, обеспечивающего полное внутреннее отражение при движении фотонов в нём

Рис. 14 Распределение числа событий в зависимости от разницы времен между событиями для результатов моделирования

Определение положения источника по временным измерениям

13

Погрешность во временных измерениях
лежит в промежутке от 430 до 490 пс

$$\tau = \tau_0 + k * x$$

$$k = (21.81 \pm 0.06) \frac{\text{пс}}{\text{мм}} .$$

$$\tau_0 = (4921 \pm 9) \text{ пс.}$$

$$\chi = 85.6$$

$$\text{NDf} = 15$$

$$X_t = \frac{\tau - \tau_0}{k}$$

Ошибка определения положения не
более 18 мм

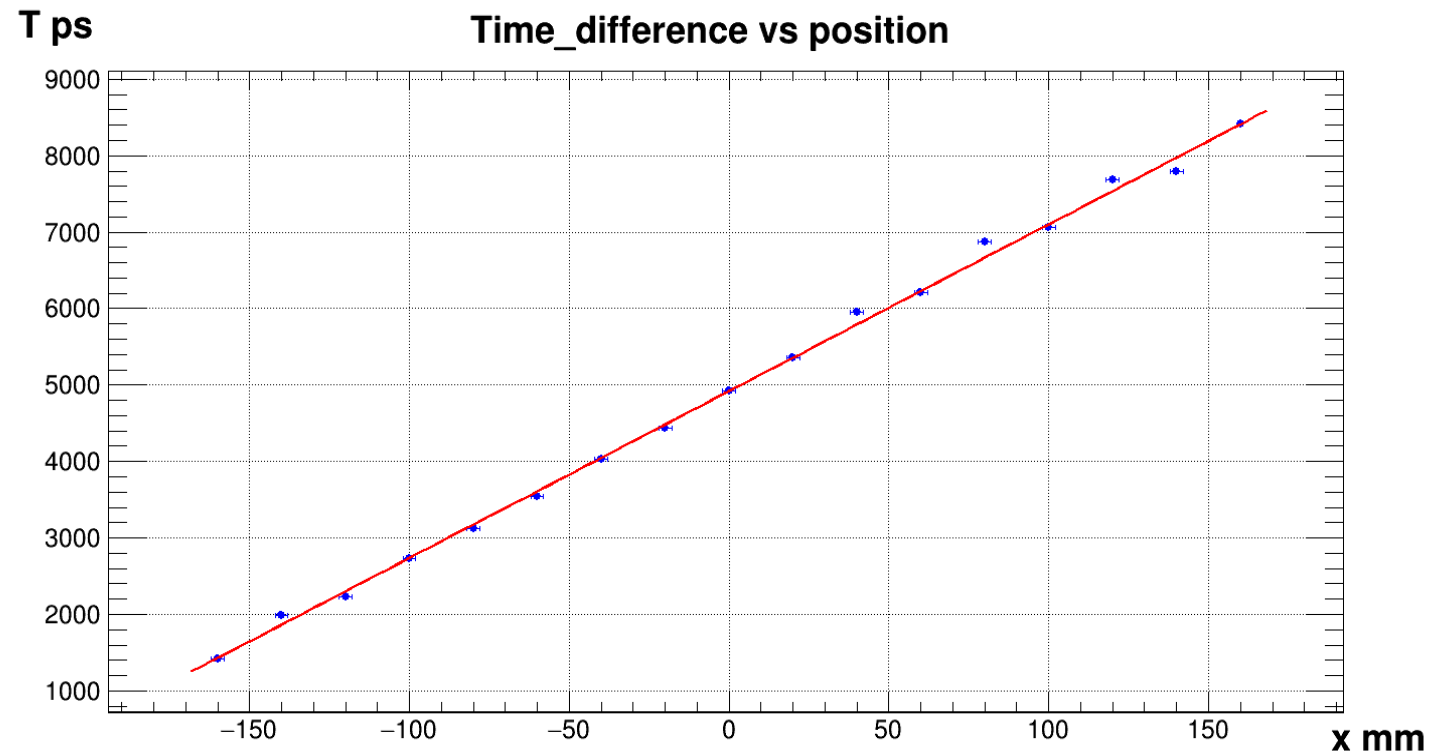


Рис. 15 Зависимость разницы времен между 2 событиями от
положения источника.

Определение положения источника по амплитудным измерениям

14

Amplitude versus position graph

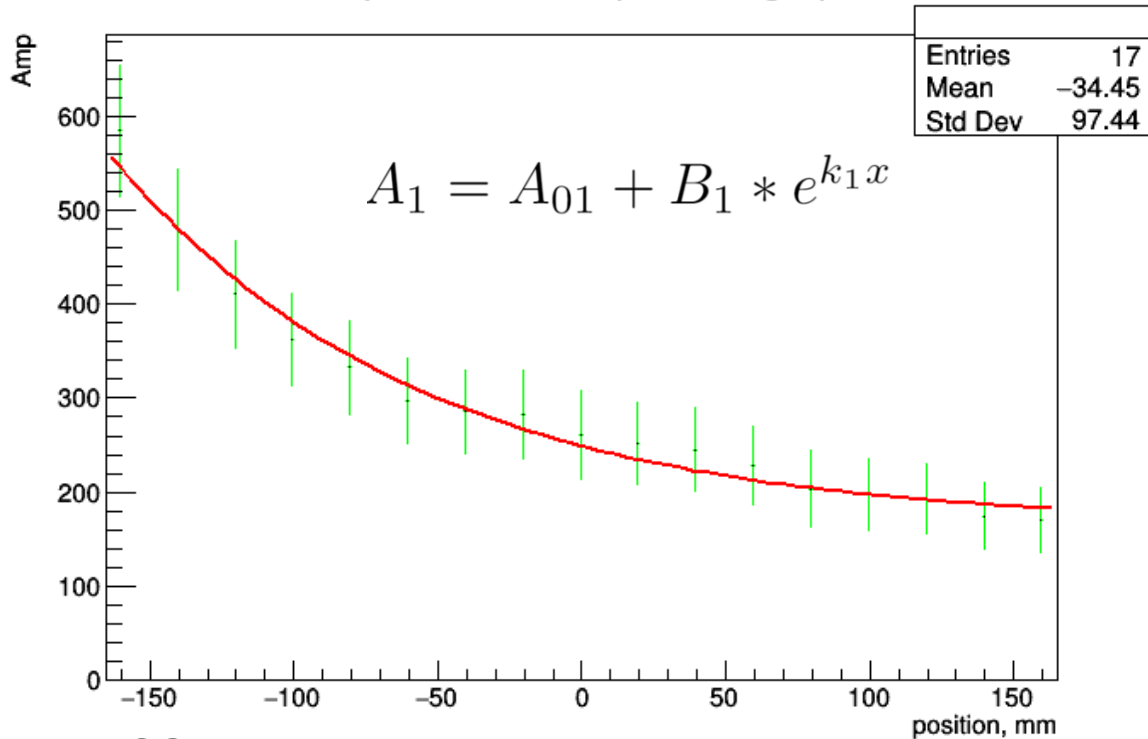


Рис. 16 Зависимость амплитуды сигнала от положения источника для первого SiPM

Параметры полученные в результате фитирования:

$$A_{01} = 164 \pm 12$$

$$B_1 = 86 \pm 15$$

$$k_1 = -0.009 \pm 0.002$$

Amplitude versus position graph

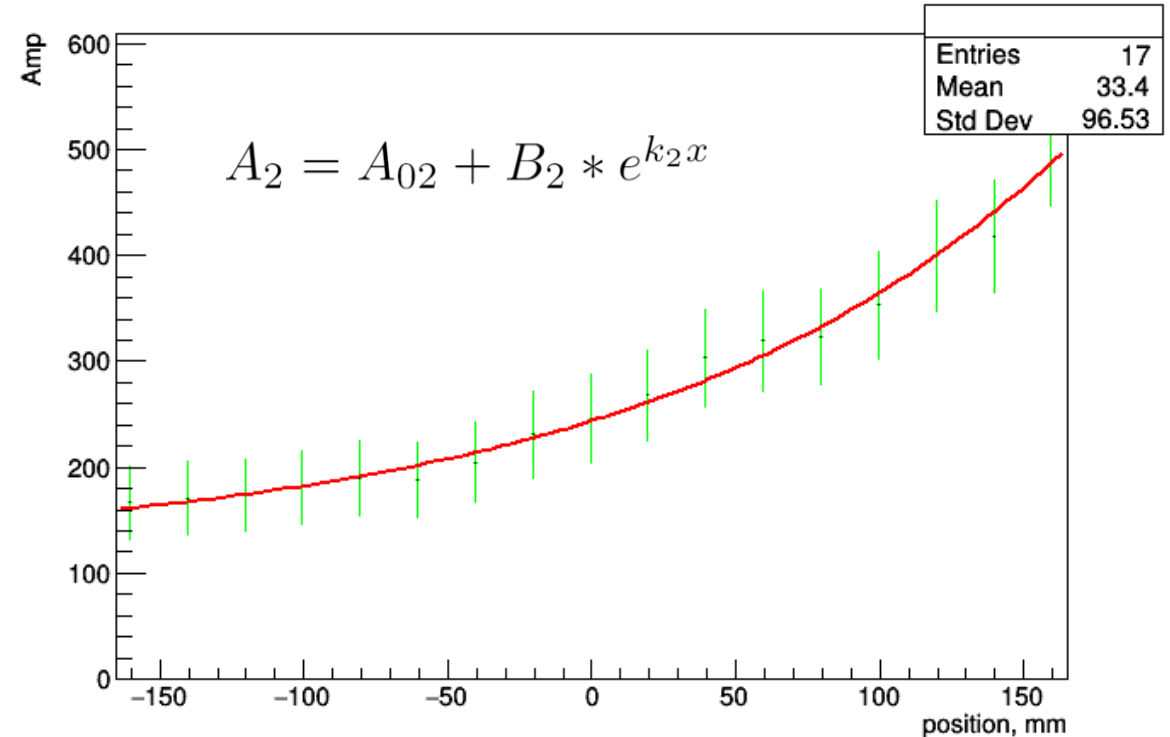


Рис. 17 Зависимость амплитуды сигнала от положения источника для 2 SiPM.

$$A_{02} = 119 \pm 14$$

Параметры полученные в результате фитирования:

$$B_2 = 123 \pm 18$$

$$k_2 = 0.0068 \pm 0.0008$$

Ошибка определения положения от 50 мм до 100 мм при определении положения по данным с одного SiPM

Определение положения источника

15

Формулы для расчета итогового
положения радиоактивного источника

$$X_t = \frac{\tau - \tau_0}{k}$$

$$X_i = \frac{\ln A_i - a_{0i} - \ln B_i}{k_i}; i = 1, 2$$

$$X_i = \frac{\ln(A_i - A_{0i}) - \ln B_i}{k_i}; i = 1, 2$$

$$X = \frac{X_1 P_1 + X_2 P_2 + X_t P_t}{P_1 + P_2 + P_t}$$

$$P_i = \frac{1}{\sigma_i^2}$$

$$\sigma_{res} = \sqrt{\frac{1}{P_1 + P_2 + P_t}}$$

В качестве входных данных необходимо подать:

t – разницу времен между событиями и ее погрешность

N – номер канала соответствующий энергетическому пику электронов с энергией 959 кэВ для 2 SiPM

Ошибка определения положения от 17 мм до 18 мм

При определении положения по данным с двух SiPM и по временным измерениям.

- В ходе проведения данной работы были проведены измерения временных характеристик полистирола
- Запущены платы Petiros2A и xTDC4, а так же написана программа по опросу платы для xTDC4
- Выработана методика проведения временных измерений
- Проведено моделирование эксперимента в пакете Geant4 и получено ограничение на временное разрешение равное 195 пс.
- На основе полученных данных была написана программа для восстановления положения радиоактивного источника, с использованием 3 источников информации. Результирующая погрешность составляет не более 18 мм.
- Среднеквадратичное отклонение разницы времен между сигналами для полистирола, измеренное на плате xTDC, находится в промежутке от 450 пс до 500 пс.