

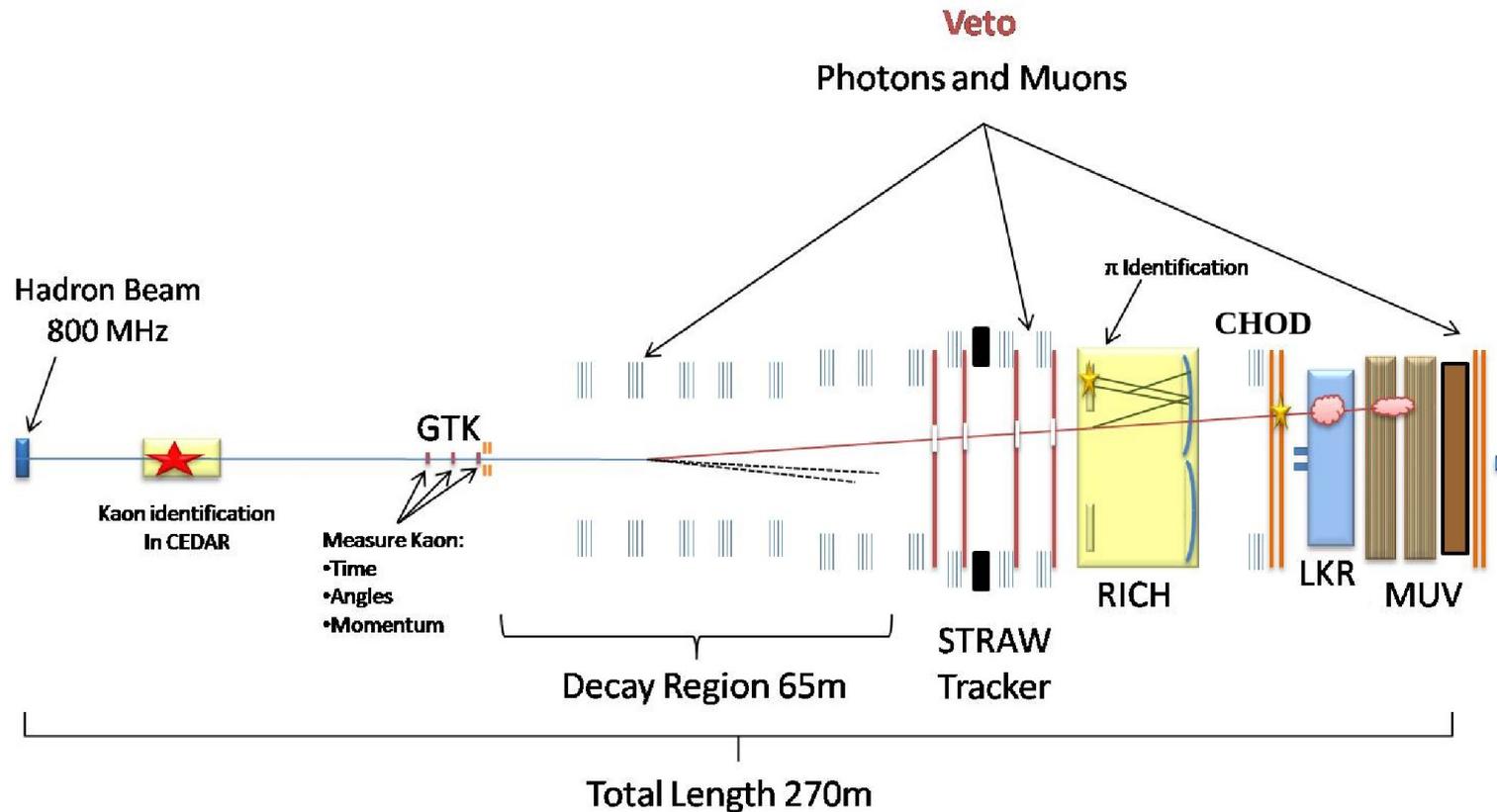
А.И.Макаров¹, А.П.Останков, В.Д.Самойленко, В.К.Семенов,
С.А.Холоденко, А.А.Худяков¹

**Исследование временных характеристик счетчиков
триггерного годоскопа заряженных частиц
для эксперимента NA62**

¹ Институт Ядерных Исследований РАН

Эксперимент NA62

Основная задача: изучение распада $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$



L0-trigger: аппаратный. Сигналы с MUV3, LAV, LKR, RICH, CHOD

L1-trigger: программный. Корреляции straw, LAV, RICH, CEDAR

L2-trigger: программный. Частично реконструированные события

Годоскоп заряженных частиц CHOD

Основные задачи:

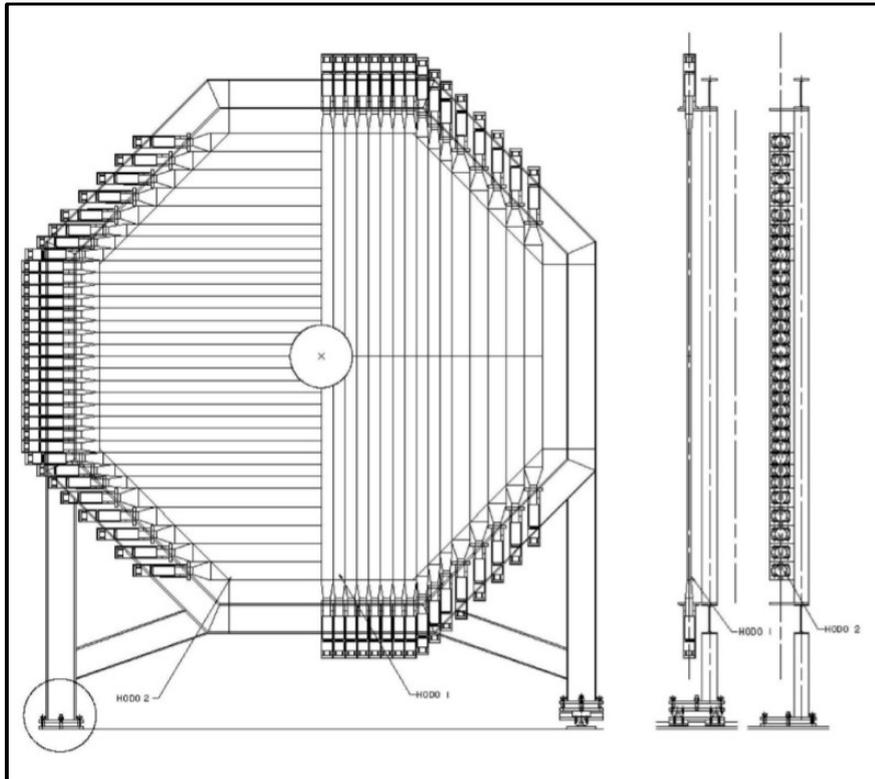
- Вреязадающий сигнал (совместно с RICH) на одотрековые события
- Вето на большую множественность, в том числе события с возможной конверсией гамма-квантов на зеркалах RICH

Требования:

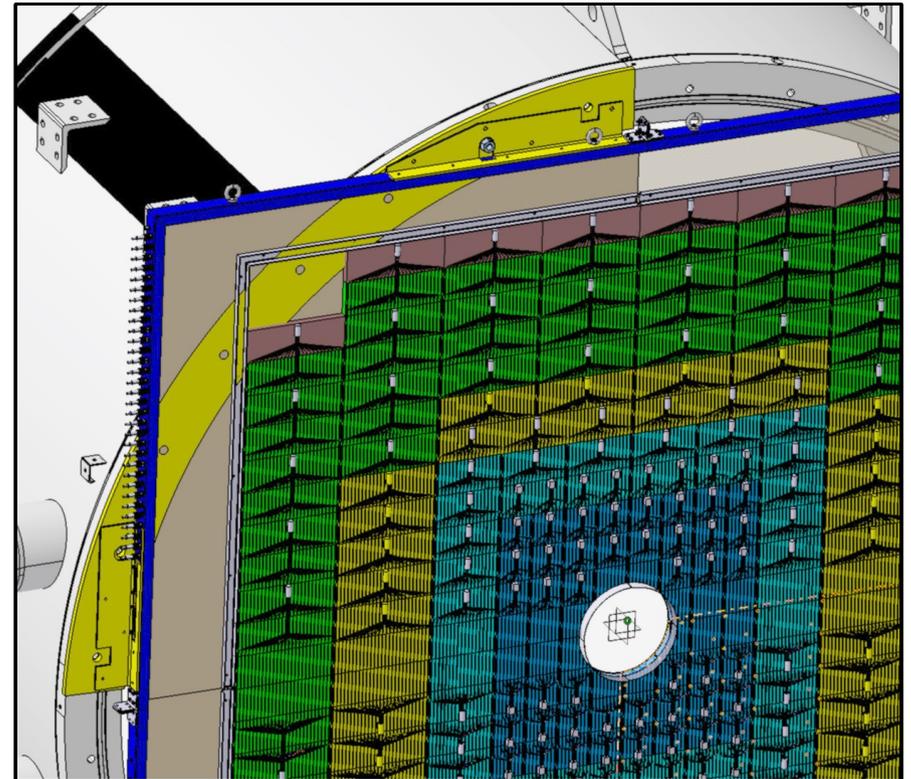
- Временное разрешение ~ 600 ps (эффективность 98% при загрузке $30 \cdot 10^6$ частиц/с)
- Небольшая загрузка/канал ($400 \cdot 10^3$ / с)
- Малое количество вещества

Годоскоп заряженных частиц CHOD

CHOD эксперимента NA48



CHOD: новая версия



Требования:

- ✘ Временное разрешение ~ 600 ps
- ✘ Небольшая загрузка/канал ($400 \cdot 10^3 / \text{с}$)
- Малое количество вещества

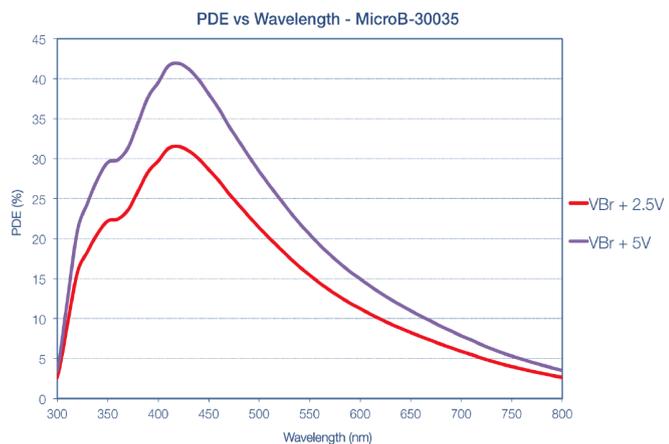
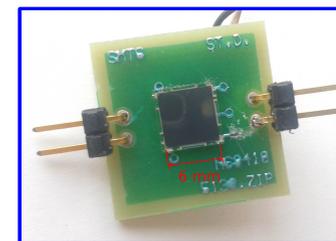
- Падовая структура
- Ячейки от 90x90 до 265x107 мм²
- 188 – 480 каналов

Исследуемые прототипы: фотоприемники

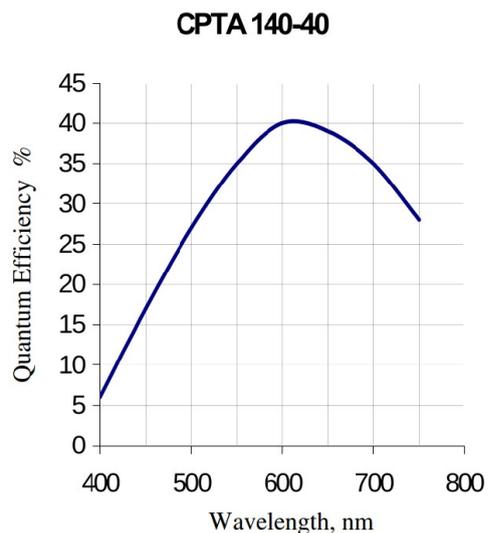
Фотоприемники:

- mini-PMT R7400U
- Green-extended PMT R7899-20 (reference point)
- 3 x 3 мм² SiPM CPTA 140-40
- 3 x 3 мм² SiPM (SensL)
- 6 x 6 мм² SiPM (SensL)

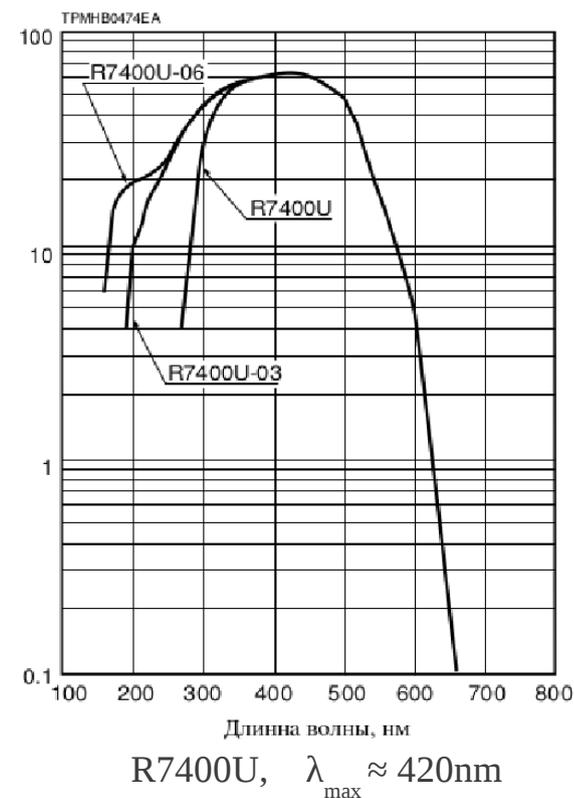
+ Усилитель (ЦПТА)



SensL, $\lambda_{\max} \approx 430\text{nm}$



CPTA, $\lambda_{\max} \approx 600\text{nm}$

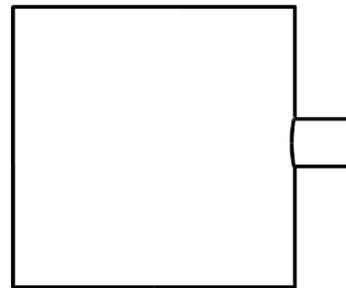
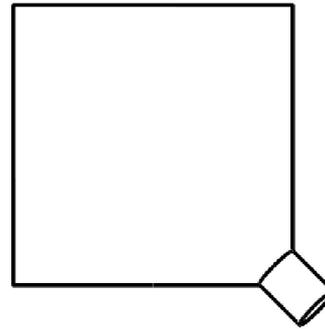


R7400U, $\lambda_{\max} \approx 420\text{nm}$

Исследуемые прототипы: сцинтиллятор

Размеры:

- 90 x 90 x 20 мм³
- 100 x 100 x 20 мм³
- 150 x 150 x 20 мм³
- 180 x 100 x 20 мм³
- 270 x 100 x 20 мм³

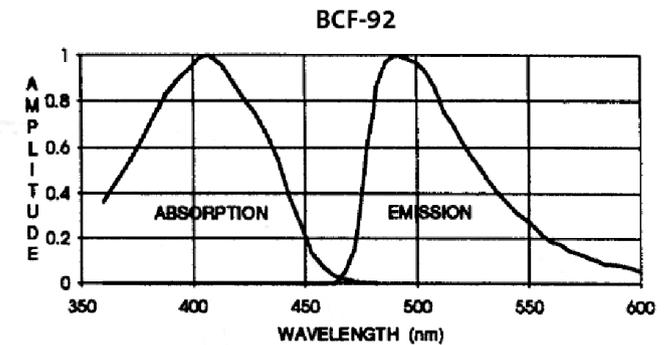
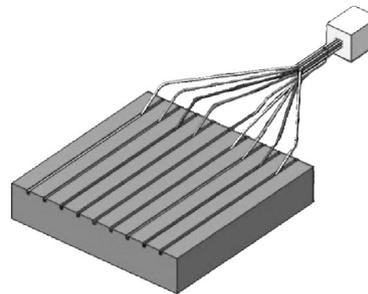


Светосбор:

- WLS-Волокна
BCF-92 Ø 1мм
- Прямой
 - С грани
 - С угла

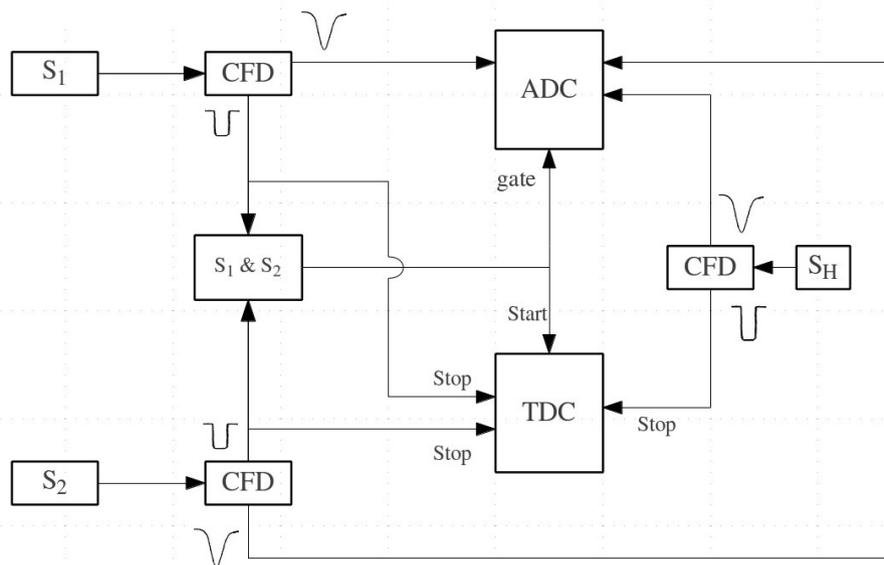
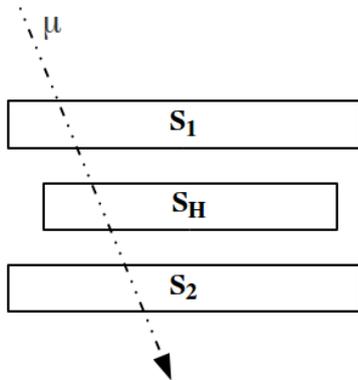
Сцинтилляторы:

- BC-408
- EJ-200
- INER

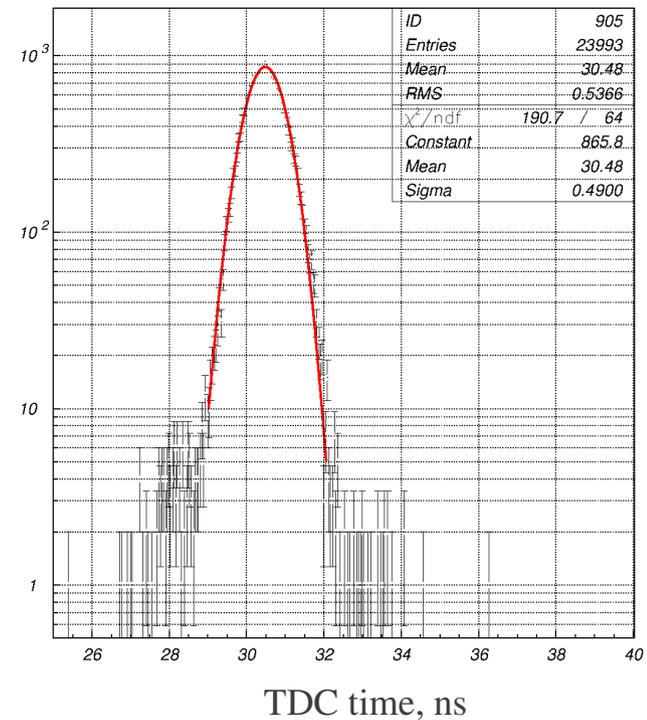


Измерительный стенд на космических мюонах

Запускающие сцинтилляционные счетчики площадью $115 \times 115 \text{ мм}^2$

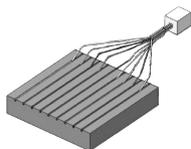


Временное спектр S_2 относительно S_1



Собственное разрешение:

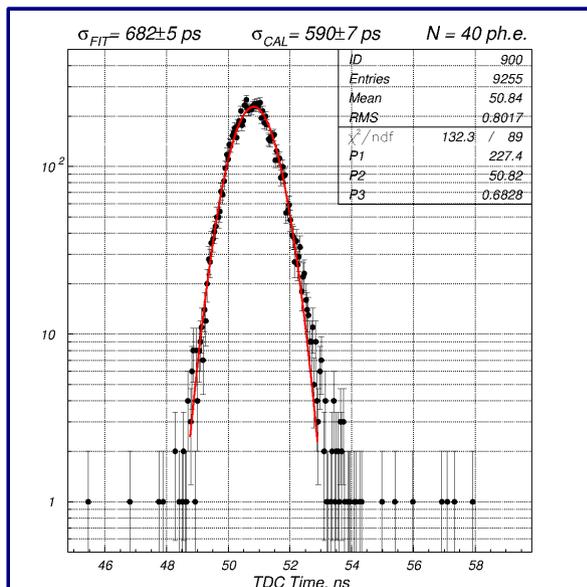
$$\sigma_{S_i} = 490 / \sqrt{2} \approx 350 \text{ ns}$$



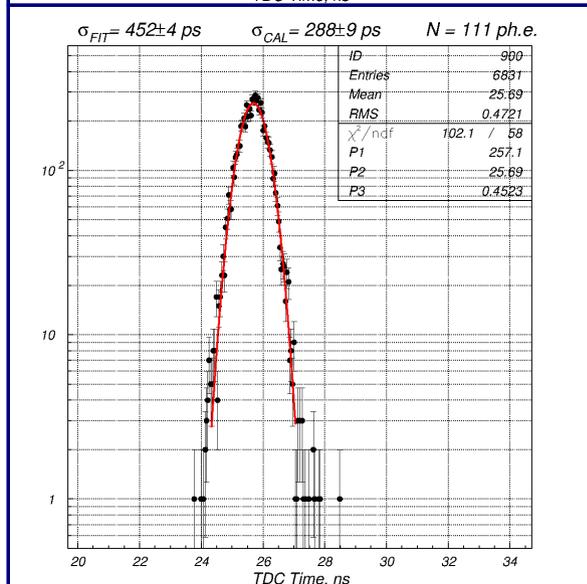
Результаты измерений : светосбор через WLS-волокна (1)

100 x 100 мм²

WLS-ВОЛОКНО



Прямой светосбор

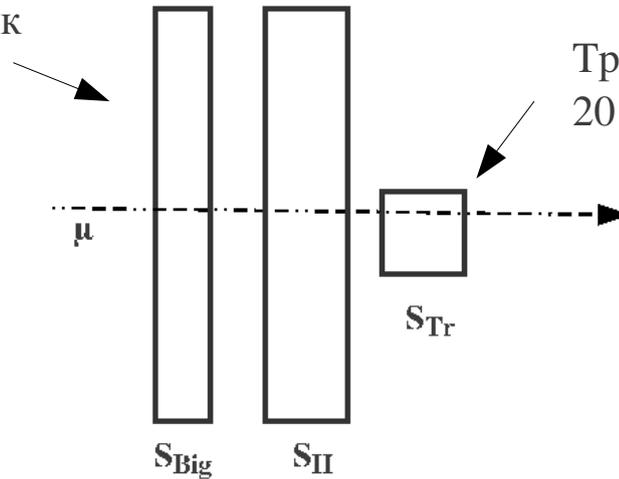


Геометрия	Без клея	Вклеенные волокна		
	SiPM CPTA	SiPM CPTA	SiPM SensL	R7899-20
100 x 100 мм ²	890 ± 5 пс (21 ф.э.)	745 ± 15 пс (33 ф.э.)	625 ± 15 пс (28 ф.э.)	590 ± 10 пс (40 ф.э.)
150 x 150 мм ²	1075 ± 20 пс (19 ф.э.)	—	—	—
180 x 100 мм ²	—	* 1045 ± 10 пс * (18 ф.э.)	—	—
270 x 100 мм ²	1560 ± 20 пс (12 ф.э.)	1120 ± 20 пс (22 ф.э.)	865 ± 10 пс (24 ф.э.)	810 ± 5 пс (37 ф.э.)

Геометрия	С грани		С угла	
	R7400U	SiPM SensL	R7400U	SiPM SensL
90 x 90 мм ²	260 ± 25 пс ~81 ф.э.	370 ± 15 пс ~79 ф.э.	—	—
100 x 100 мм ²	290 ± 10 пс ~110 ф.э.	320 ± 15 пс ~149 ф.э.	400 ± 20 пс ~96 ф.э.	420 ± 15 пс ~83 ф.э.

Измерительный стенд на пучковом гало 21 канала

Сцинтилляционный счетчик
85 x 85 мм²



Триггерный черенковский счетчик
20 x 20 x 20 мм³

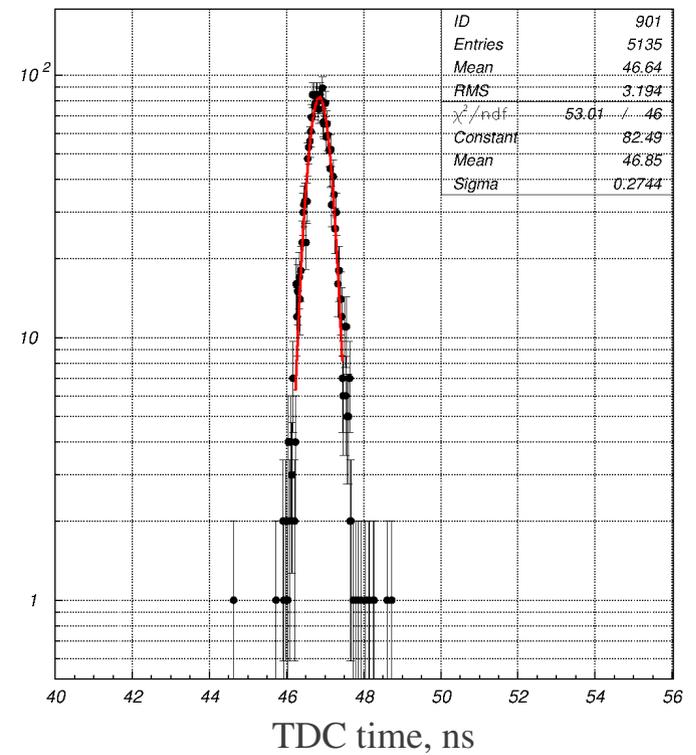
$$\sigma_{S_{BIG} S_{Tr}} = 275 \pm 5 \text{ ns}$$

Собственное разрешение:

$$\sigma_{S_{BIG}} \approx 250 \text{ ns} \quad \leftarrow \text{Измерялось отдельно}$$

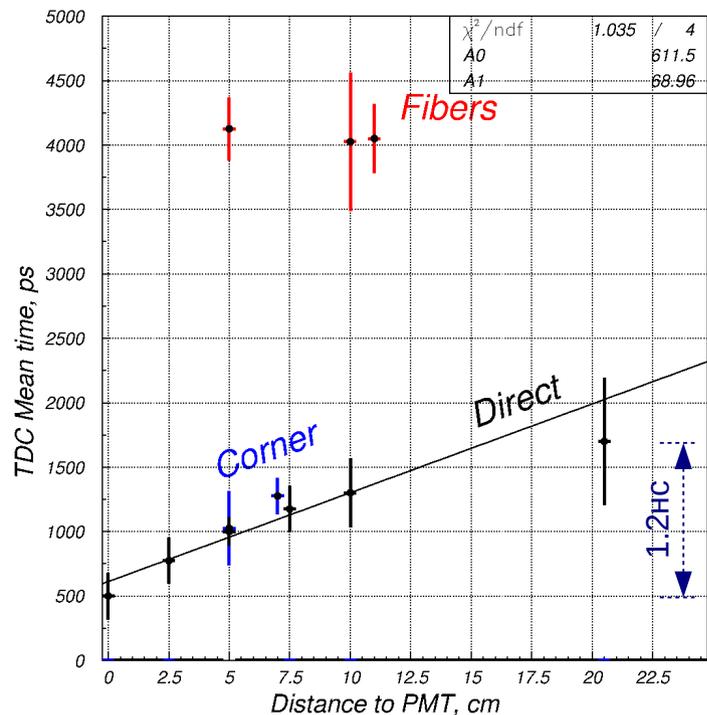
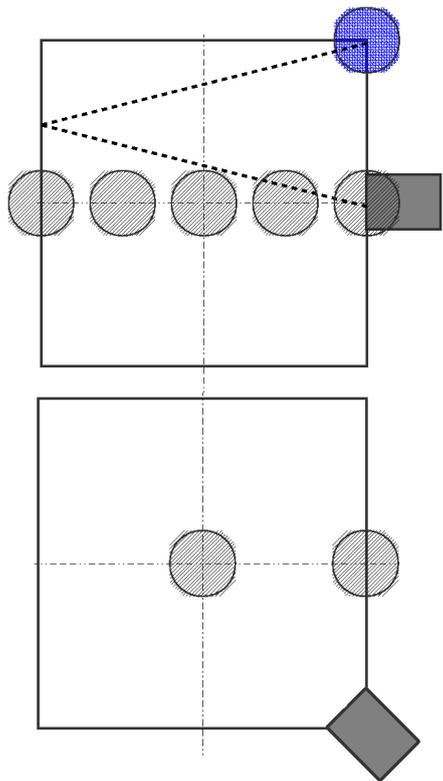
$$\sigma_{S_{Tr}} \approx 120 \text{ ns}$$

Временное спектр S_{BIG} относительно S_{Tr}



Результаты измерений на пучковом гало 21 канала

Зависимость положения среднего времени в TDC
от расстояния до фотоприемника



Положение среднего от
расстояния до ФЭУ:
 69 ± 22 пс/см

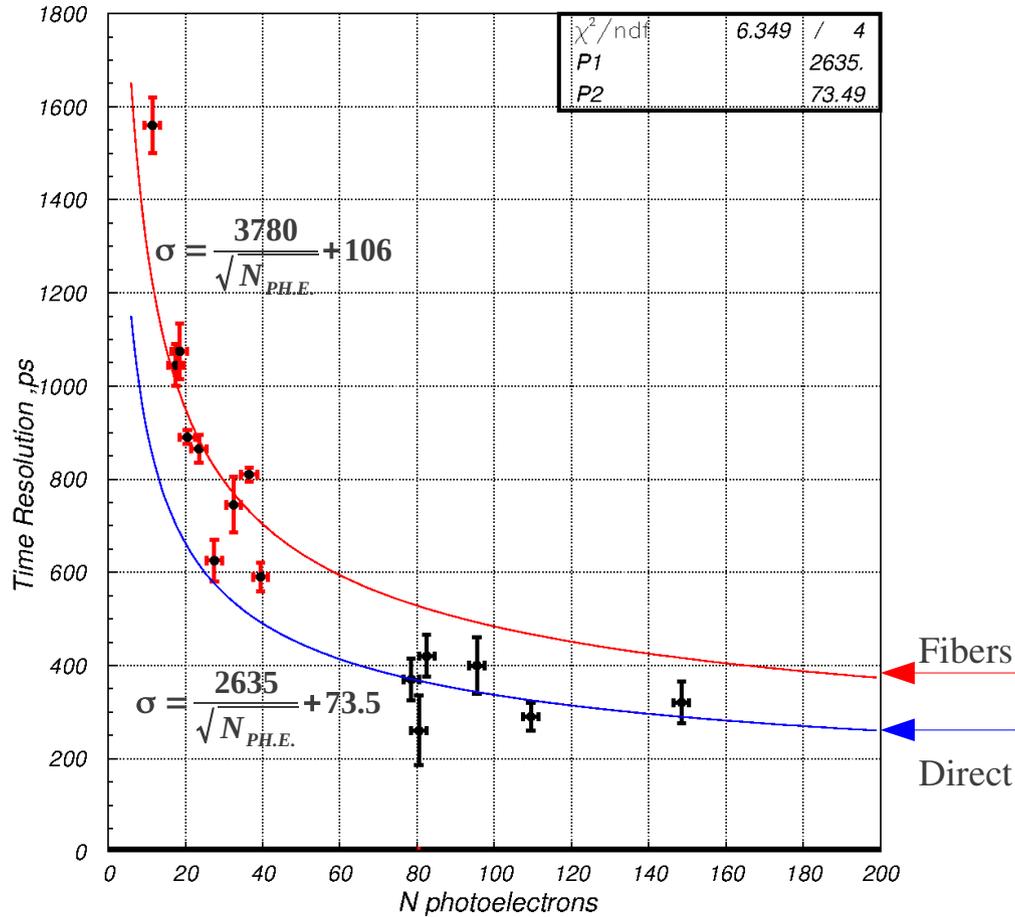
Скорость света в пластике
($n=1.59$): 47.7 пс/см

Для сравнения: скорость света в пластике ВС-408 толщиной 4см
14.4см/нс или 69.4 пс/см

The Belle detector, NIM A479 (2002) 117–232

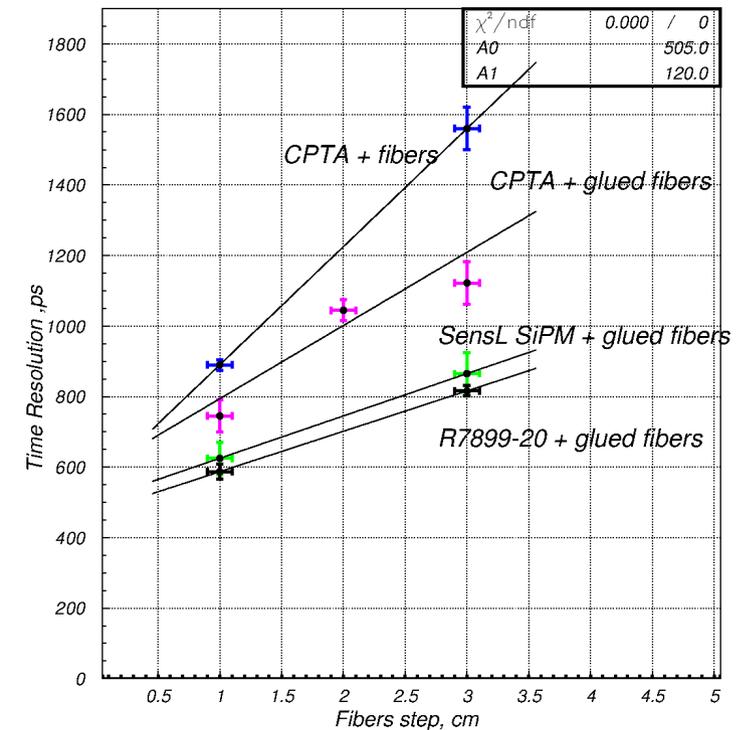
Результаты измерений

Временное разрешение от числа фотоэлектронов



Фит функцией:
$$\sigma = P_1 \cdot \frac{1}{\sqrt{N_{ph.e.}}} + P_2$$

Временное разрешение от шага между волокнами

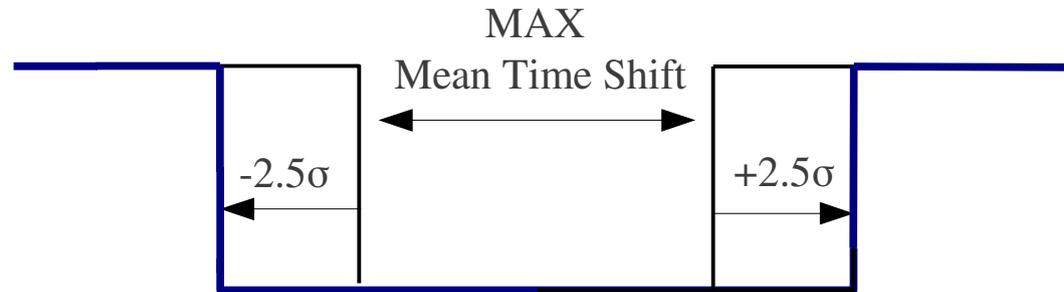
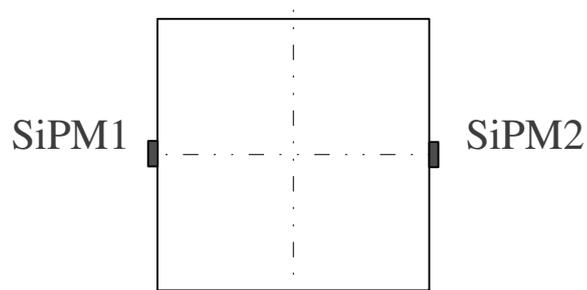


Временное разрешение ухудшается с увеличением шага между волокнами.
~ 120 пс / см

CHOD как независимый триггер

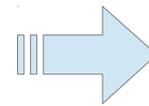
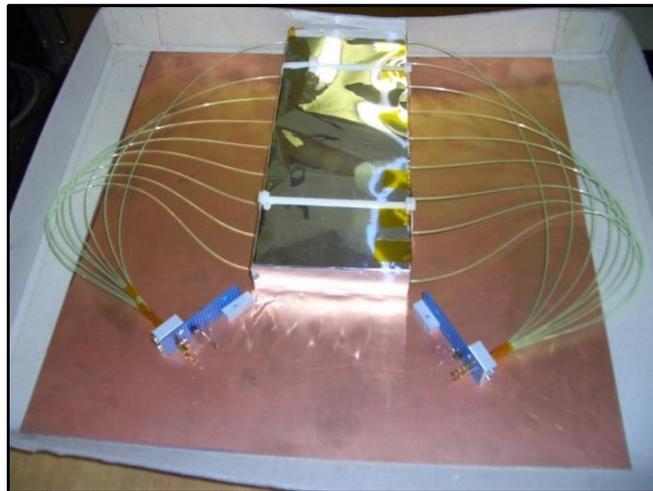
2 фотоприемника (SiPM) вырабатывают триггерный сигнал в два этапа

- Совпадение сигнала в больших воротах
- Выбираем самый быстрый сигнал в маленьких воротах



$$\sigma \leq 400 \text{ ps}$$

MAX Mean time shift = 1 ns (meantimer)
2.5 ns (single SiPM signal)



$$\begin{aligned} \text{Long GATE} &= 2.5\text{ns} + 5\sigma \approx 4.5 \text{ ns} \\ \text{GATE} &= 1 \text{ ns} + 5\sigma \approx 3 \text{ ns} \end{aligned}$$

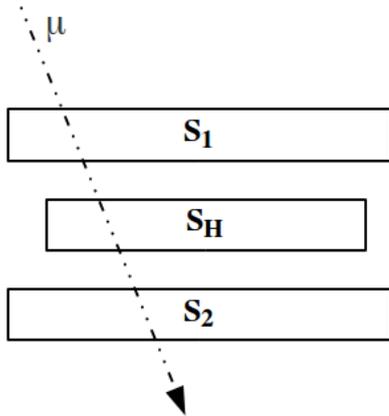
Заключение

- Проведено измерение временного разрешения прототипов счетчиков годоскопа заряженных частиц для установки NA62. Съём информации осуществлялся как с помощью WLS волокон, так и при прямом светосборе.
- Получена зависимость временного разрешения от расстояния между волокнами и от числа фотоэлектронов. Наилучшее временное разрешение при использовании волокон составляет 590 ± 10 пс при шаге между волокнами - 1 см. При прямом светосборе усредненное по площади запускающих счетчиков временное разрешение может быть лучше 400 пс.
- Для использования в триггере рассмотрен вариант съема сигнала с двух фотоприемников. При этом требуется совпадение двух сигналов в больших воротах (5нс), а затем среднее время – в малых воротах (3нс).
- Полученное временное разрешение дает возможность использования нового годоскопа заряженных частиц (New CHOD) в триггере нулевого уровня эксперимента NA62.

Спасибо за внимание

Запасные слайды

Вычисление собственного временного разрешения



Временное разрешение триггерных счетчиков описывается Гауссианом с

$$\sigma_{tr}^2 = \sigma_{S_1}^2 + \sigma_{S_2}^2$$

где σ_{S_1} , σ_{S_2} – собственное временное разрешение счетчиков S_1 и S_2

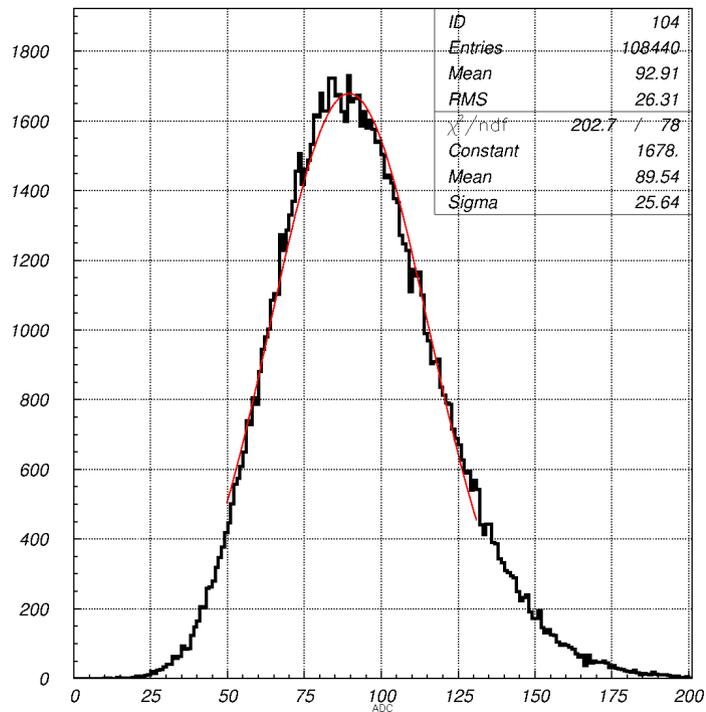
Записав аналогичным образом уравнения для пар (S_1, S_H) и (S_2, S_H)

и решив систему уравнений получим собственное разрешение исследуемого счетчика:

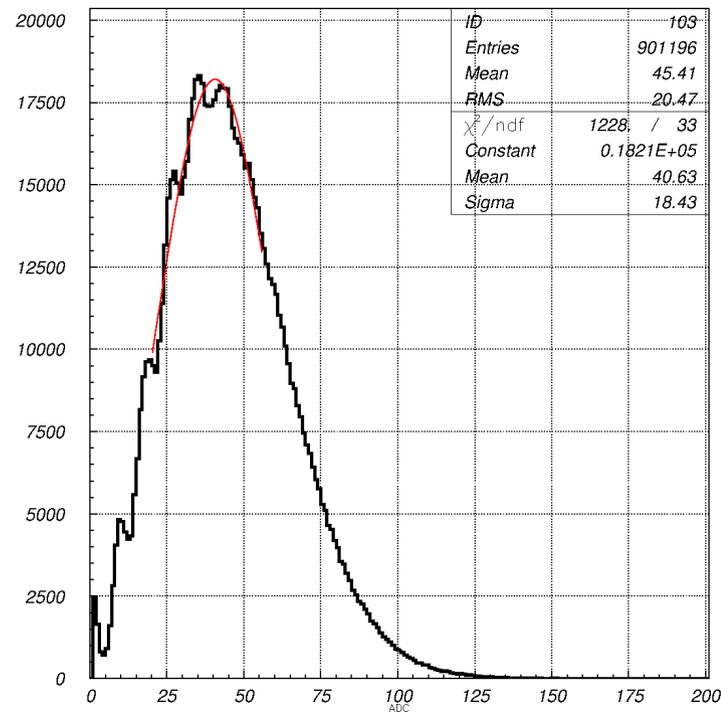
$$\sigma_{S_H} = \sqrt{\frac{(\sigma_{S_H S_1}^2 + \sigma_{S_H S_2}^2 - \sigma_{tr}^2)}{2}}$$

Вычисление числа фотоэлектронов

Калибровка : светодиод + нейтральные оптические фильтры



PMT R7400U



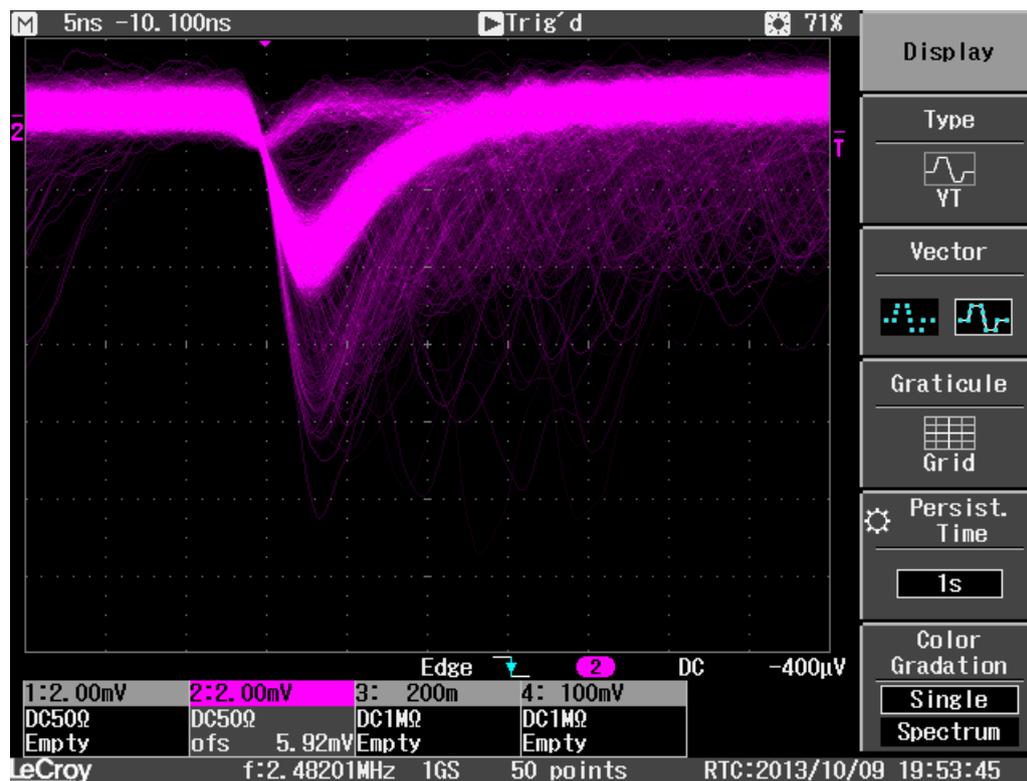
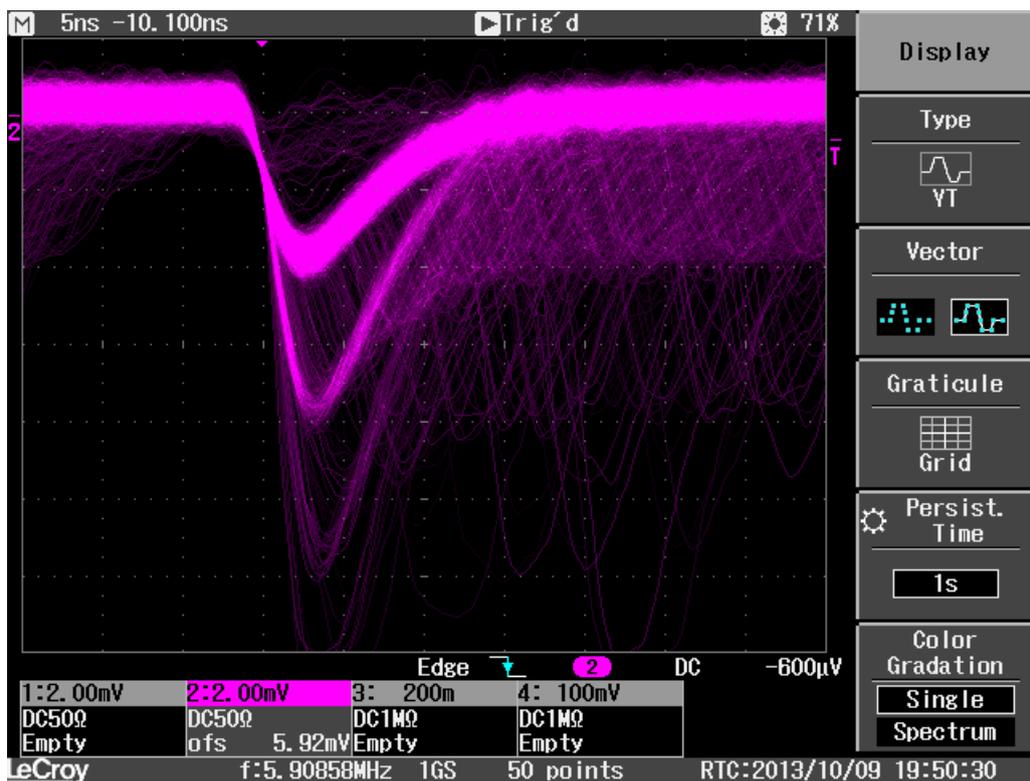
SiPM

$$N_{ph.e.} = \frac{\langle A \rangle^2}{RMS^2}$$

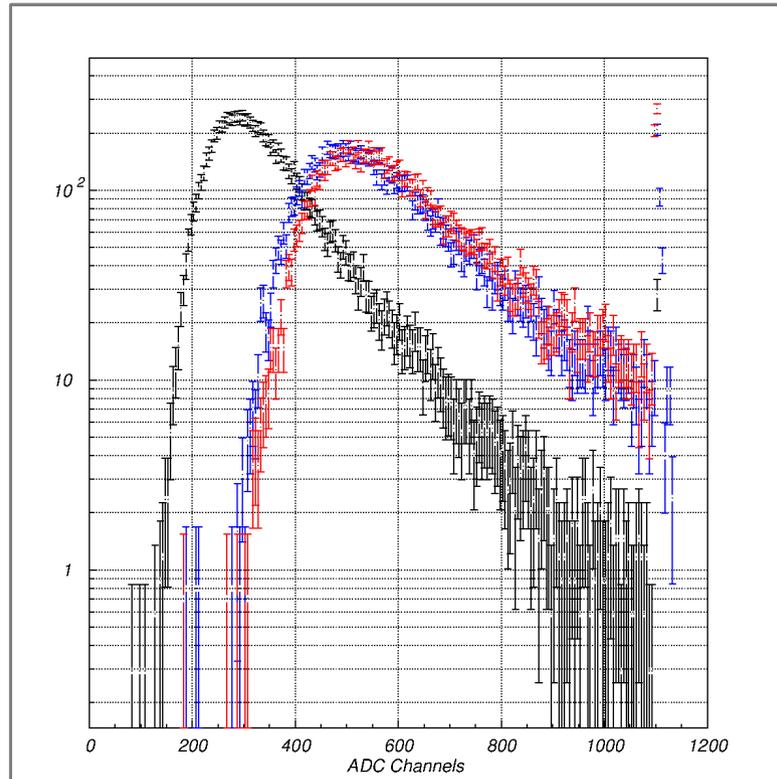
где $\langle A \rangle$ - средняя амплитуда за вычетом пьедестала

SensL 3x3 SiPM noise
(25.5 + 2.0 V)

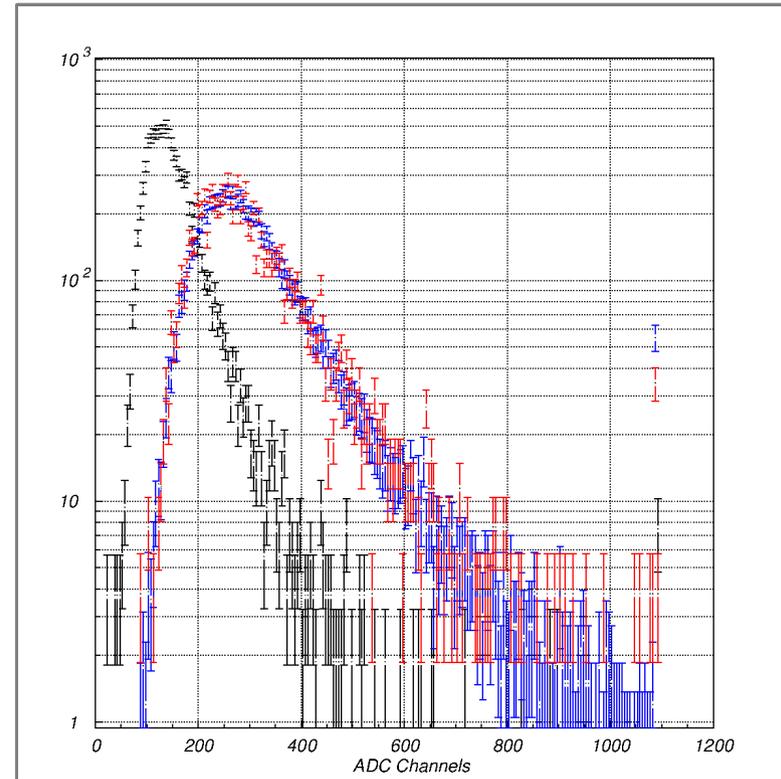
CPTA 3x3 SiPM noise
(45.0 + 2.5V)



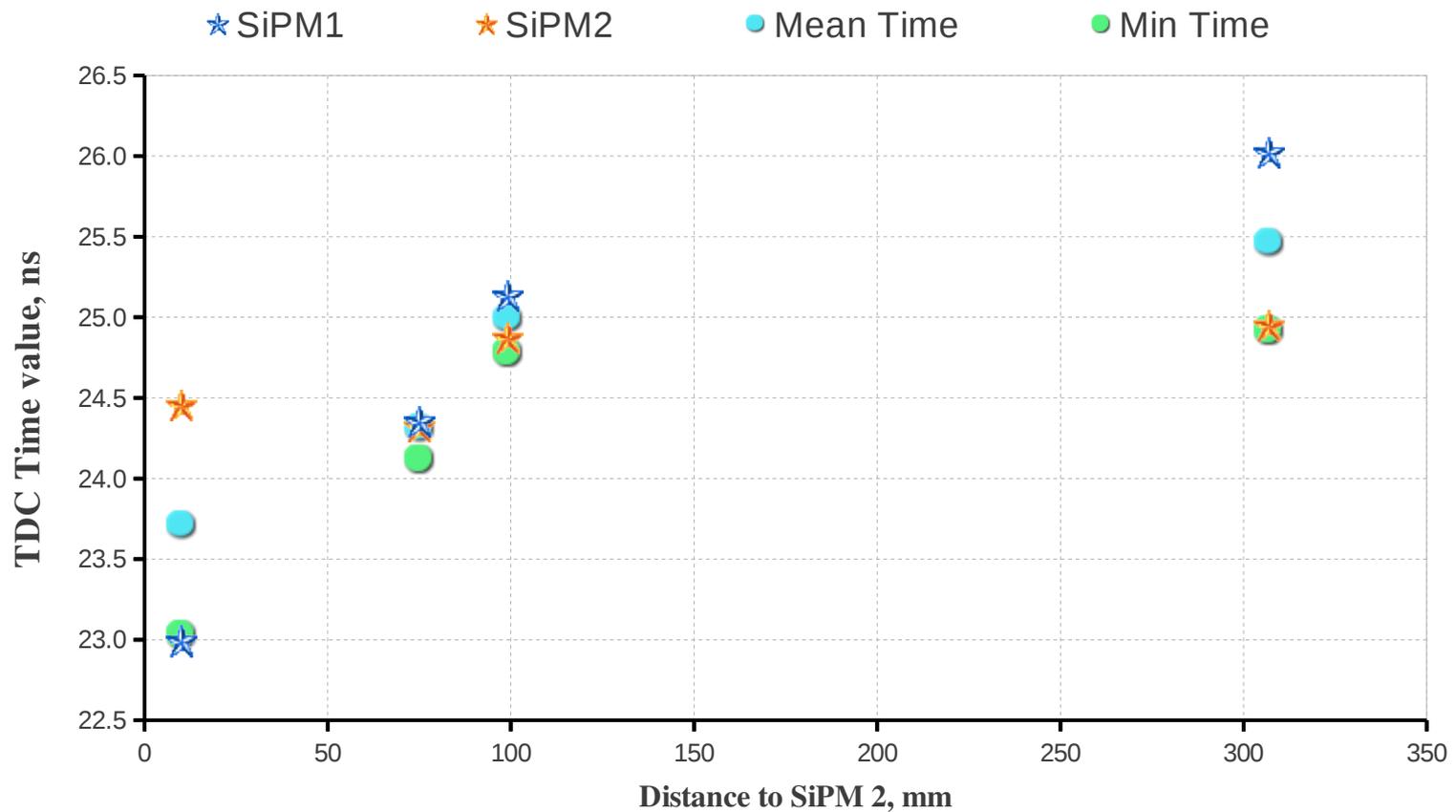
Прямой светосбор



WLS-волокно



- | | |
|----------------|------------------|
| Синий | ВС-408 |
| Красный | Полимеризованный |
| Черный | Литой |



T vs A для триггерного счетчика

SensL SiPM 6x6 @ direct

