



Изучение 16-канального прототипа детектора на основе кремниевых фотоумножителей

Тишевский А.В.

Дубна
16 Декабря 2019

Современные фотоумножители на основе кремния (часто называемые SiPM, APD, MAPD, MPPC) используются в широком классе экспериментов в CERN, FAIR и на NICA/Нуклотрон.

Применения :

- ✓ электромагнитной калориметрии
- ✓ адронной калориметрии под нулевым углом (ZDC)
- ✓ для измерения профиля пучка нейтронов низких энергий.

Достоинства	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> ▪ низкое напряжение смещения 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ некоторые из них имеют низкую радиационную стойкость
<ul style="list-style-type: none"> ▪ нечувствительность к магнитному полю 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ чувствительность к изменениям температуры
<ul style="list-style-type: none"> ▪ компактность 	

Характерные свойства:

- | | |
|--|---|
| ▪ плотность пикселей | $10^4 - 2 \times 10^4 / \text{мм}^2$, |
| ▪ размер | от $1 \times 1 \text{ мм}^2$ до $6 \times 6 \text{ мм}^2$, |
| ▪ широкий динамический диапазон | $5 - 15000 \text{ ф.э.}$, |
| ▪ эффективность регистрации фотонов от | $\sim 15\%$, |
| ▪ высокая скорость счета | $\sim 10^5 \text{ Hz}$ |

Введение

- Метод определения напряжения
- Тестирование светодиодом
- Тестирование на ускорителе
- Результаты

Разработанные прототипы детекторов

В Лаборатории физики высоких энергий были разработаны 16-канальные прототипы детекторов со считыванием сигнала на основе SiPM производства Ketek и Hamamatsu.



Системный модуль SM G761

HVSys APD HV cell=4 Umax=3.3 Pedmax=79.9 Pedmin=48.9

Exit All HV ON All HV OFF Save CFG

Last Update 16:00:54 Temp. compensation Log to file

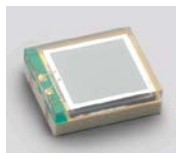
C4

TEMP(C) 31.47 HV ON HV OFF

Ch.	Set Voltage(V) @20C	T Compensated Set Voltage	Current Voltage(V)	Kt (V/C)	Output Voltage(V)
0	1.356	1.356	1.356	0	73.646
1	1.239	1.239	1.239	0	73.763
2	1.247	1.247	1.247	0	73.755
3	1.648	1.648	1.648	0	73.354
4	1.351	1.351	1.351	0	73.651
5	1.125	1.125	1.125	0	73.877
6	1.399	1.399	1.399	0	73.603
7	1.323	1.323	1.323	0	73.679
8	1.341	1.341	1.341	0	73.661
9	1.224	1.224	1.224	0	73.778
10	1.297	1.297	1.297	0	73.705
11	1.348	1.348	1.348	0	73.654
12	1.608	1.608	1.608	0	73.394
13	1.315	1.315	1.315	0	73.687
14	1.225	1.225	1.225	0	73.777
15	1.299	1.299	1.299	0	73.703
Ped	75.000	75.002	75.002	0	Pedestal V



PM3350, **KETEK**
(3x3 мм², 50 μm/cell)



S12572-010P, **HAMAMATSU**
(3x3 мм², 10 μm/cell)

Метод основан на измерении средней величины амплитуды шумового сигнала (U_{p-p}) в зависимости от напряжения смещения (U_{bias})

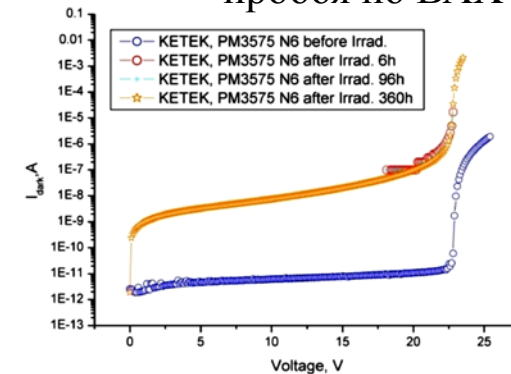
Преимущества метода

- быстрое нахождение рабочего напряжения по излому шумовой характеристики
- используется тот же электронный тракт, с которым будет работать прототип

Недостатки метода

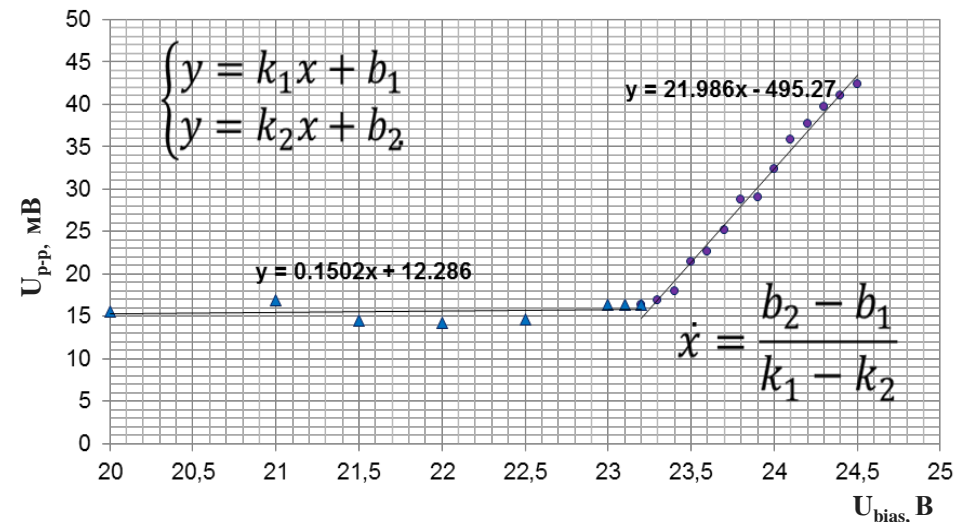
- определения параметров отдельного SiPM

Определение напряжения пробоя по ВАХ



V. Kushpil et al., J.Phys.Conf.Ser. 675 (2016) no.1, 012039

Шумовая характеристика



Введение

Метод определения напряжения

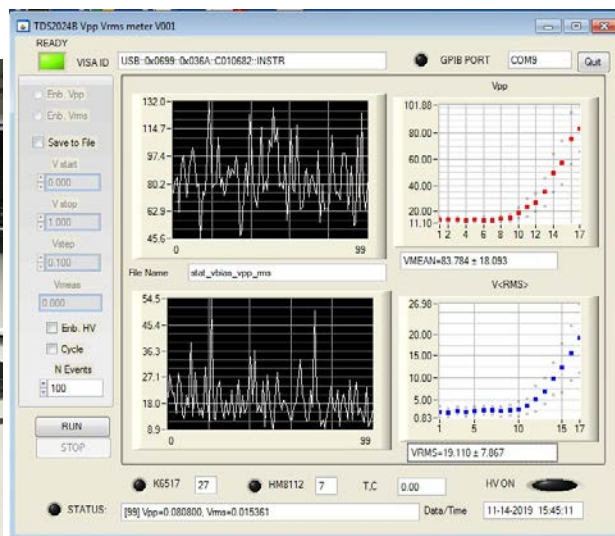
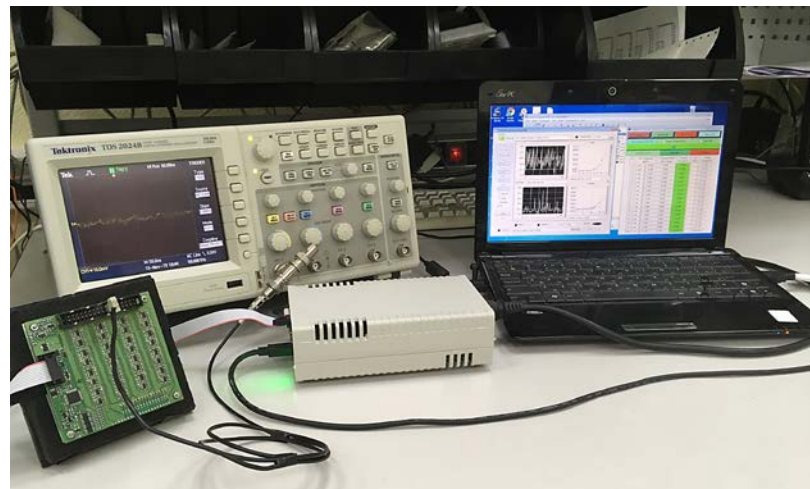
Тестирование светодиодом

Тестирование на ускорителе

Результаты

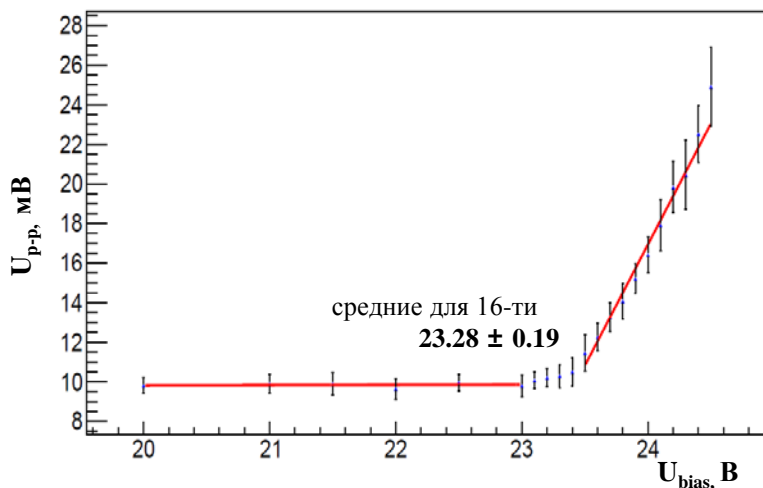
Найденные
напряжения

Tektronix TDS2024B

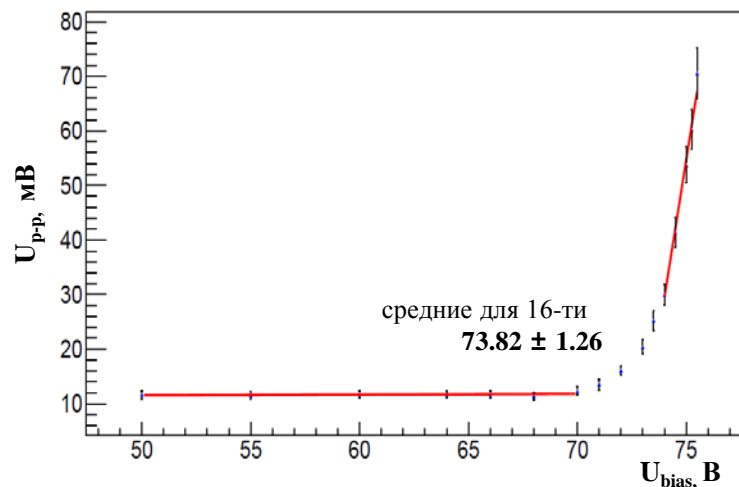


Усреднение проводилось для 100 измерений с целью уменьшения вклада случайных импульсов минимально ионизирующих частиц и повышения точности измерений.

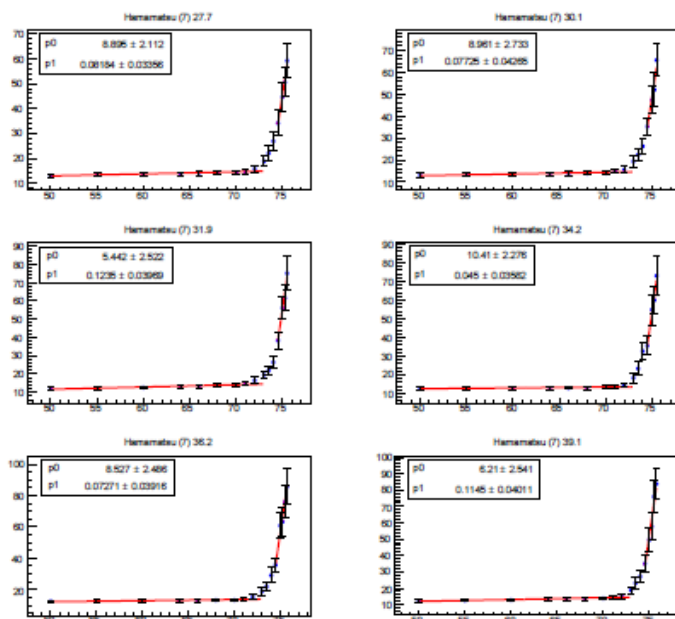
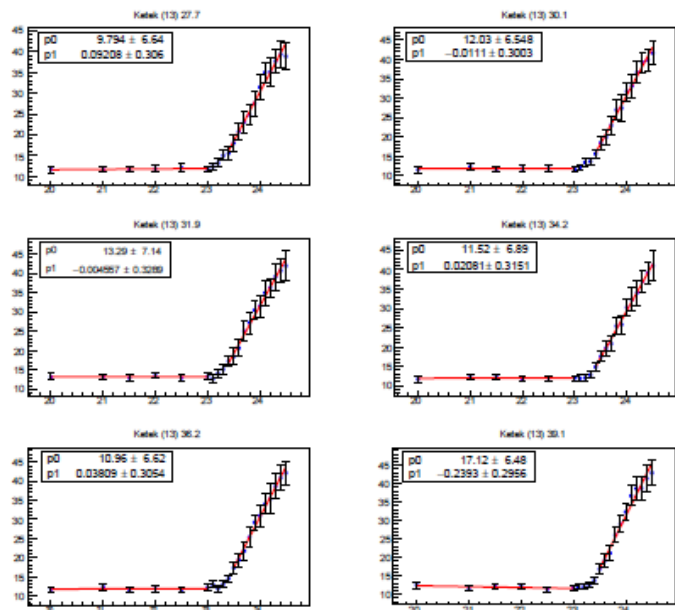
Ketek



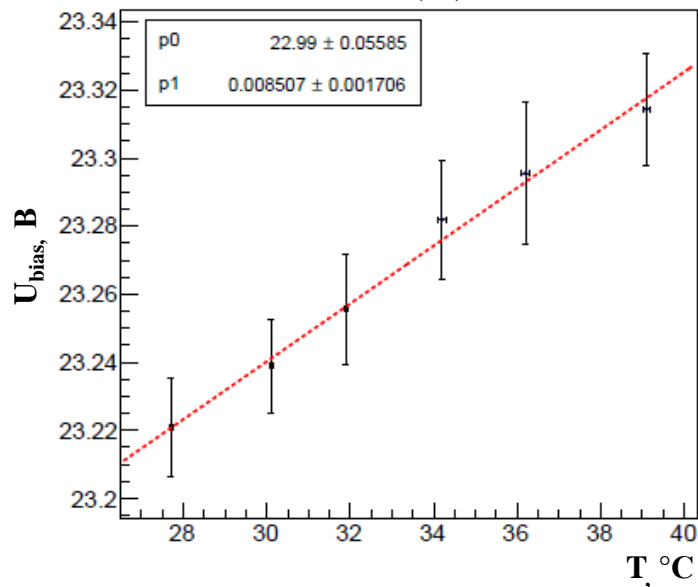
Hamamatsu



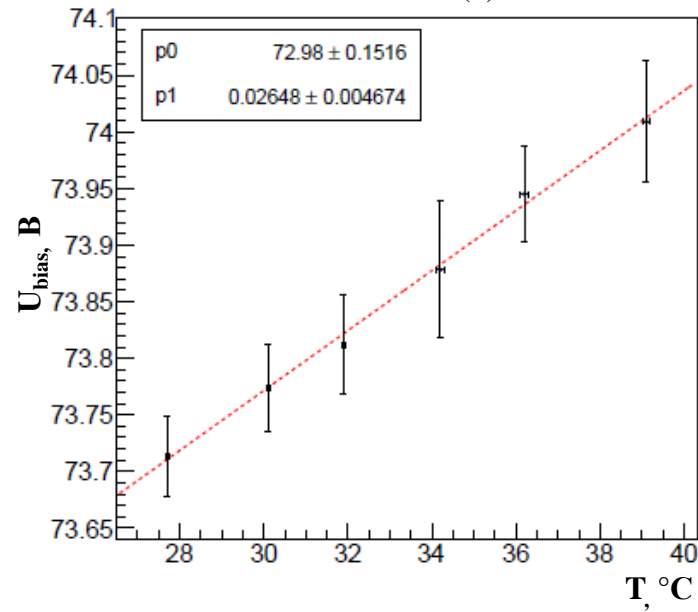
Найденные напряжения будут использоваться в качестве базисных для определения рабочего напряжения смещения. Конечное напряжение смещения устанавливается в соответствии с соображениями исследователей.



Ketek (13)



Hamamatsu (7)



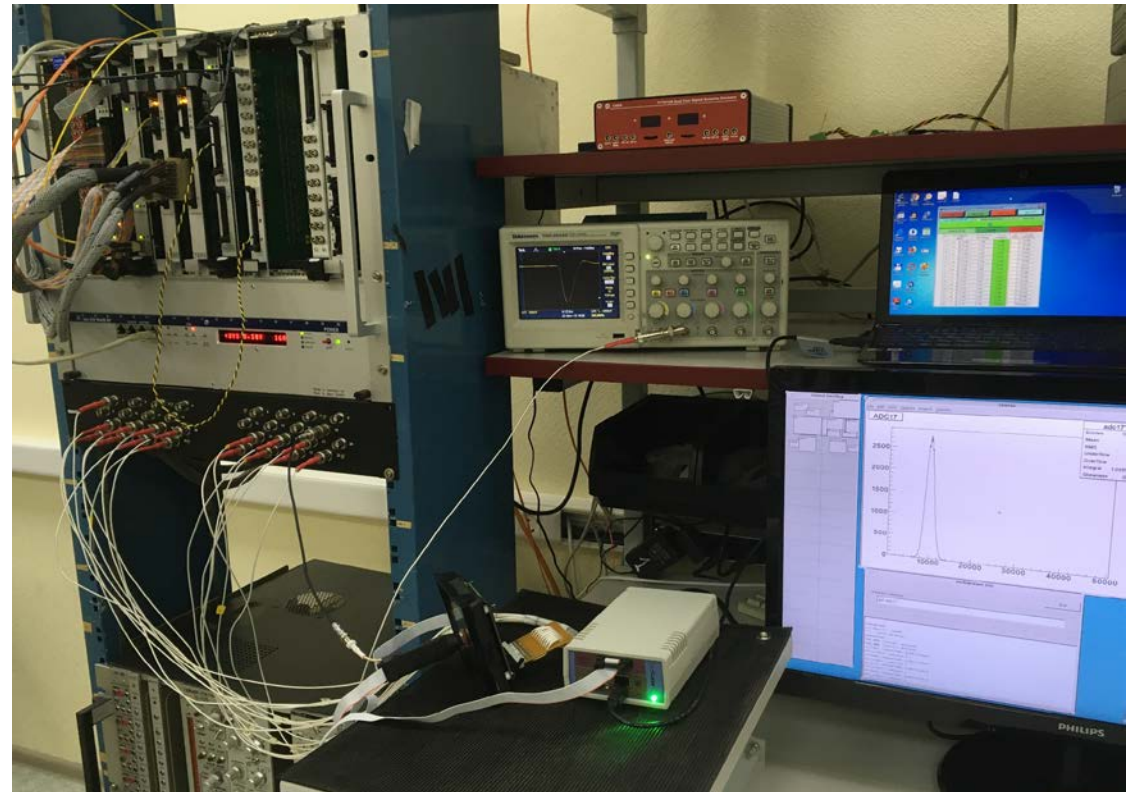
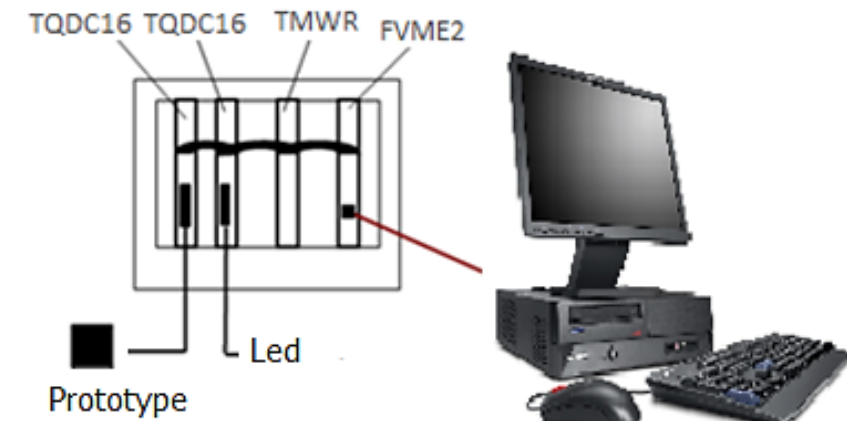
Вывод: изменение температуры на 1 °C изменяет напряжение смещения примерно на 8,5 мВ для SiPM Ketek и на 26,4 мВ для SiPM Hamamatsu.

Введение
Метод определения напряжения
Тестирование светодиодам
Тестирование на ускорителе
Результаты

Оборудование

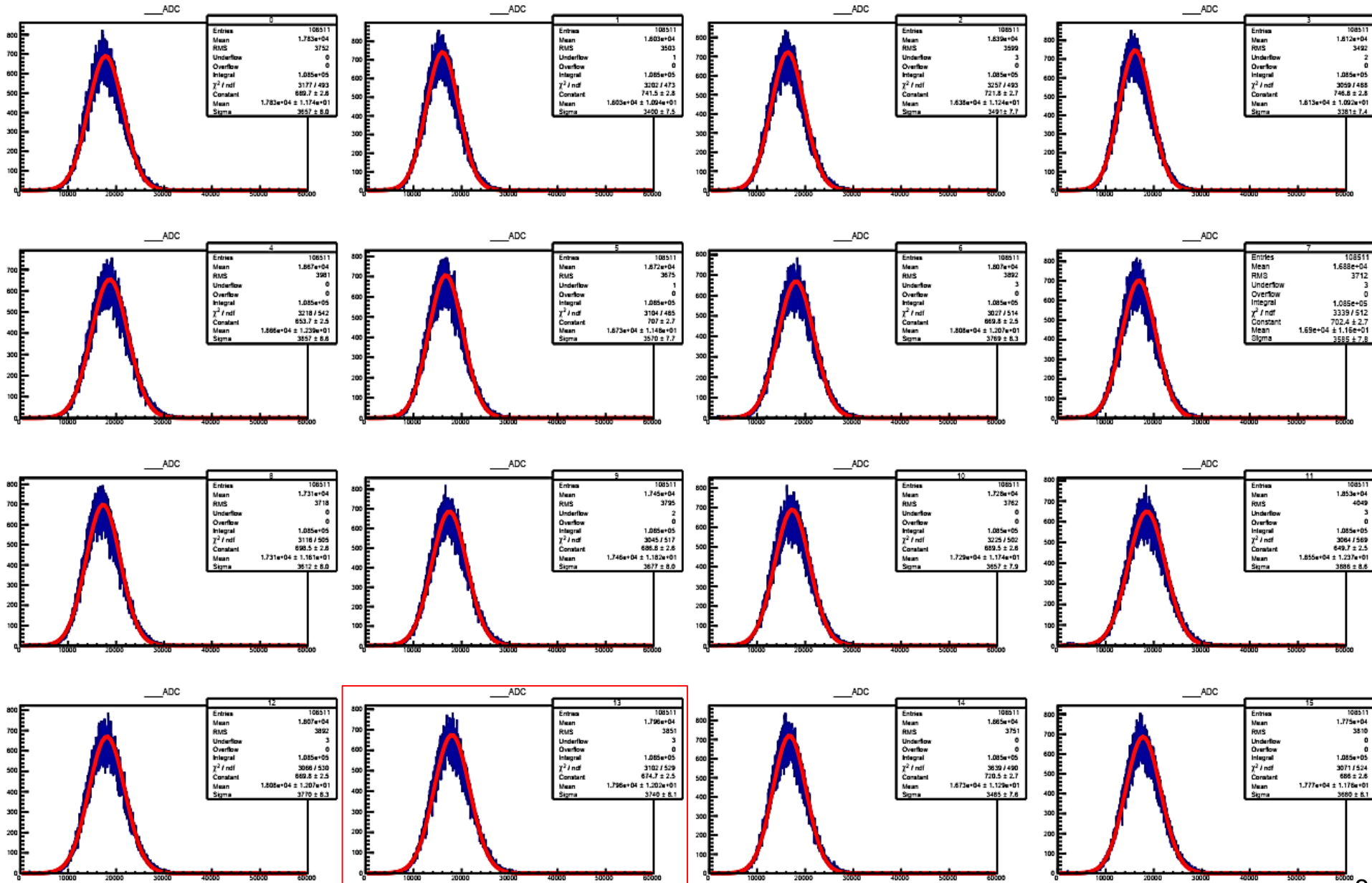


TQDC16
(16-канальный
цифровой
преобразователь
времени и заряда)

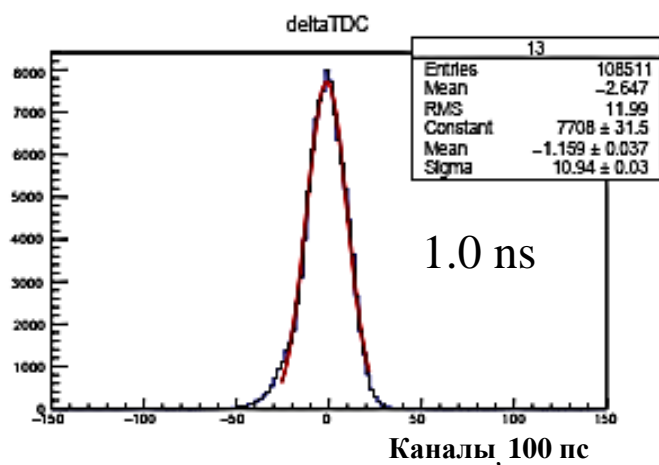


Введение
 Метод определения напряжения
 Тестирование светодиодам
 Тестирование на ускорителе
 Результаты

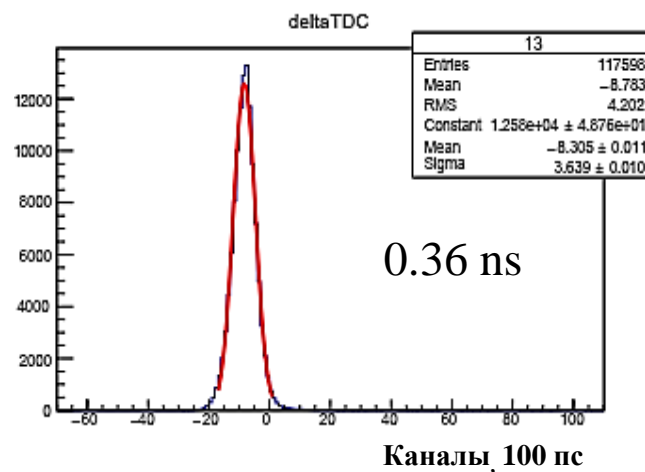
Гистограммы заряда
 Ketek (24.7 В)



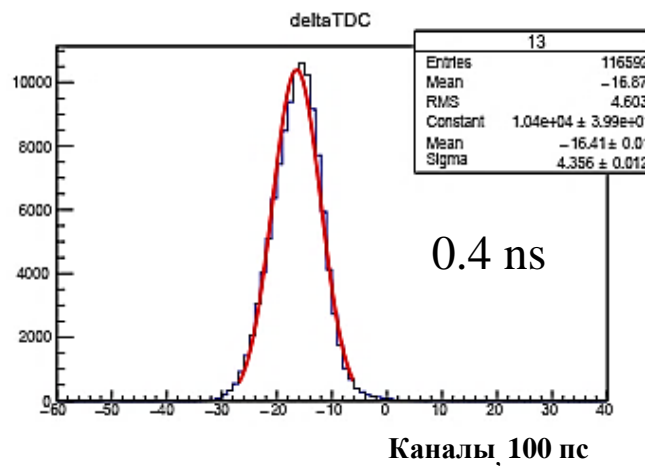
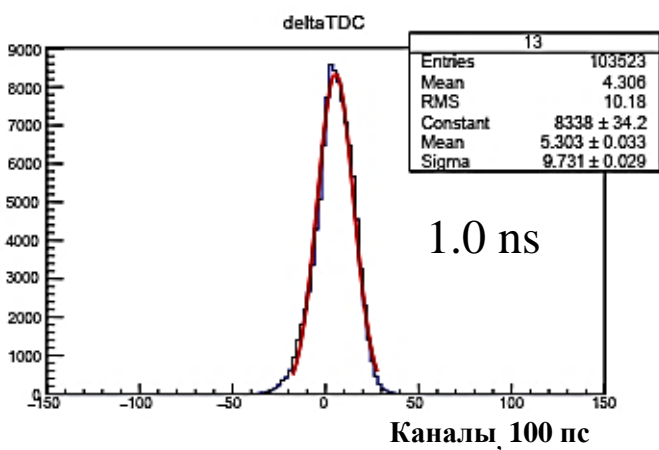
Равномерное засвечивание



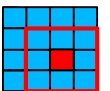
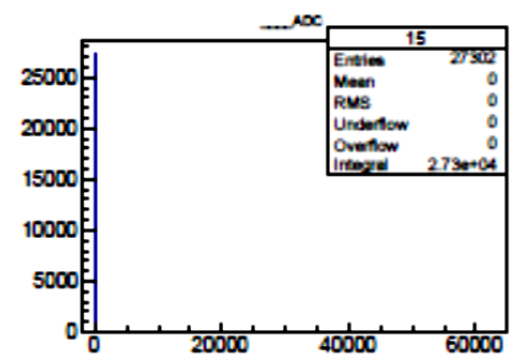
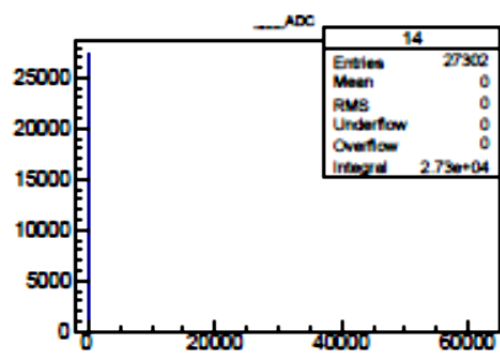
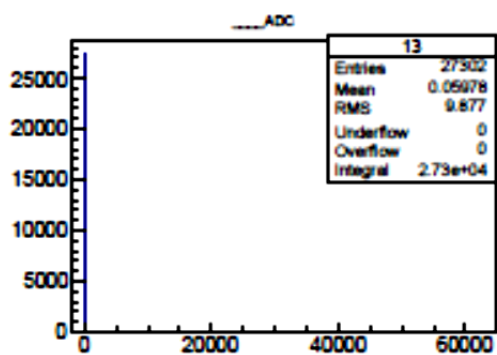
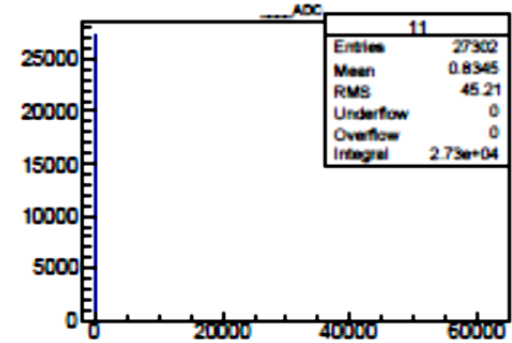
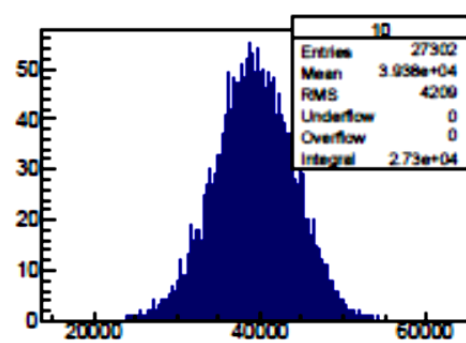
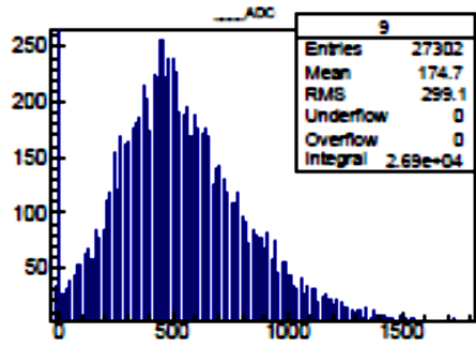
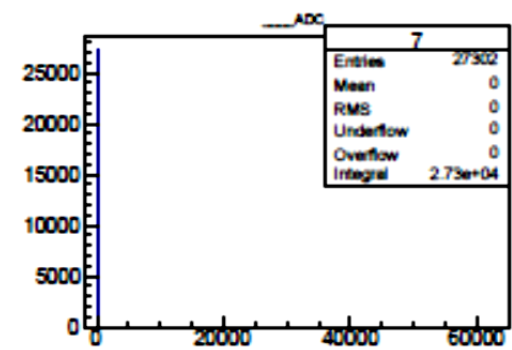
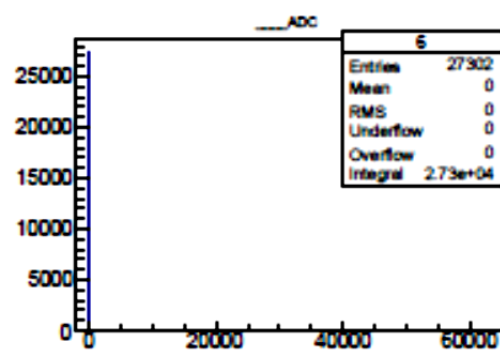
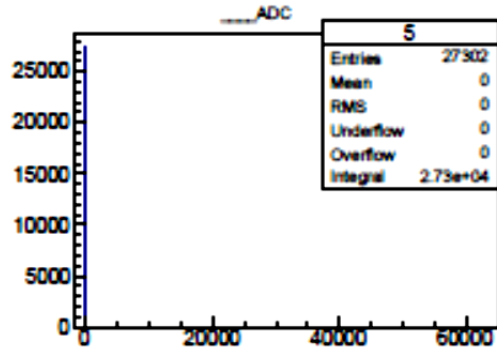
Поканальное засвечивание
ОПТОВОЛОКНОМ

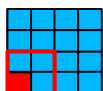
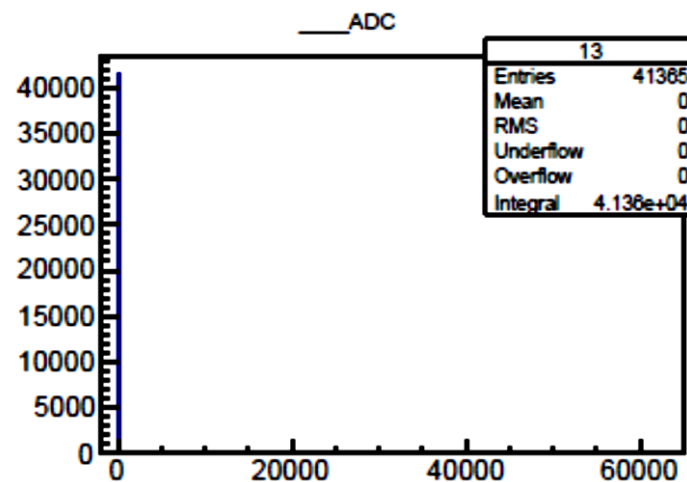
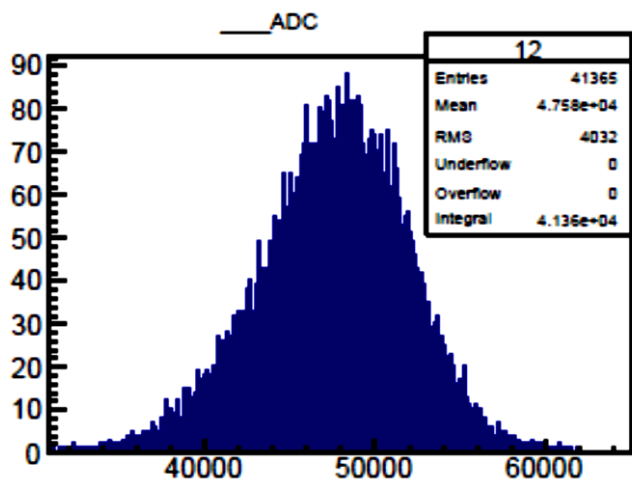
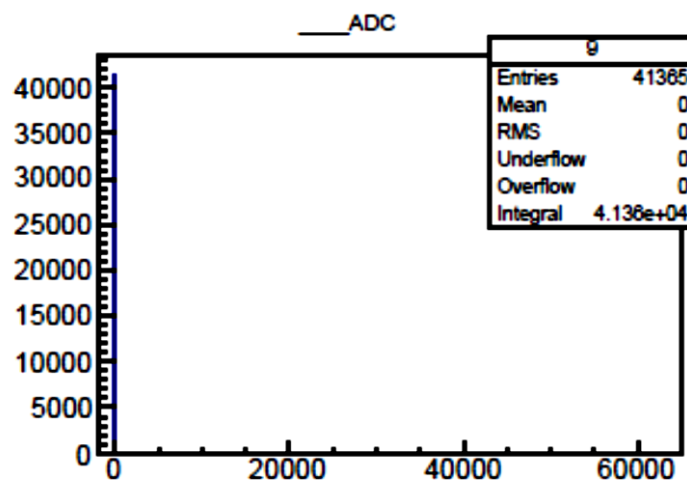
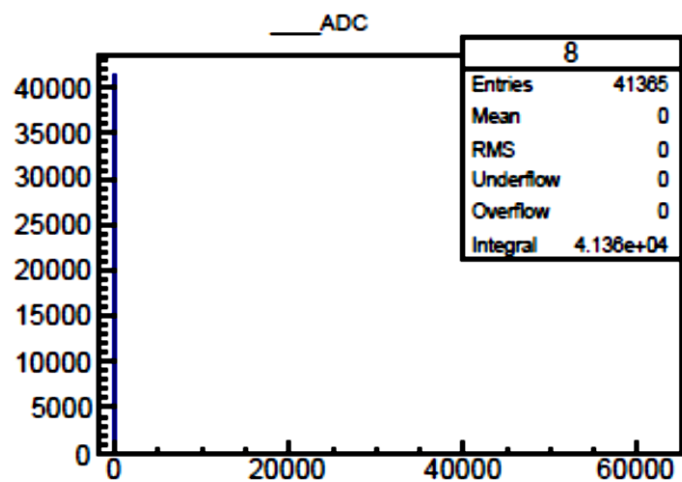


Ketek(24.7 B)



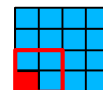
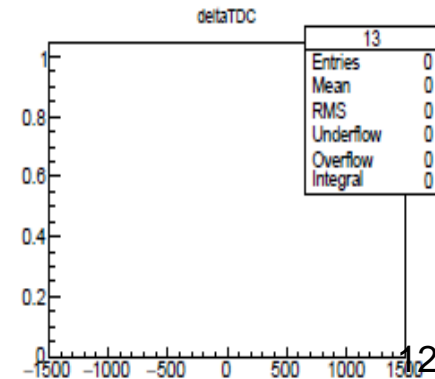
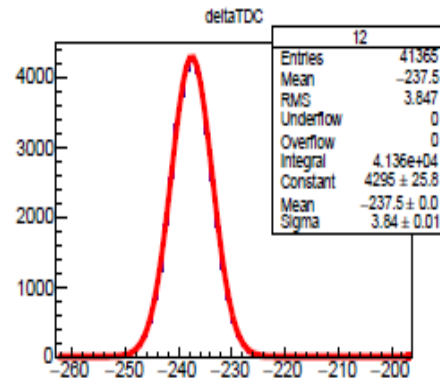
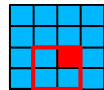
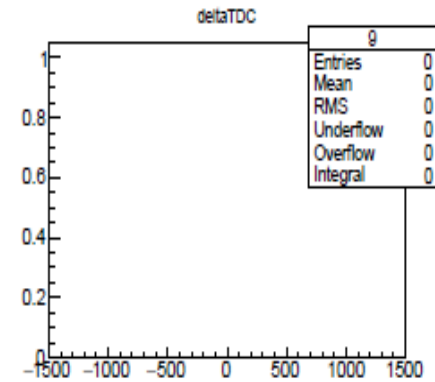
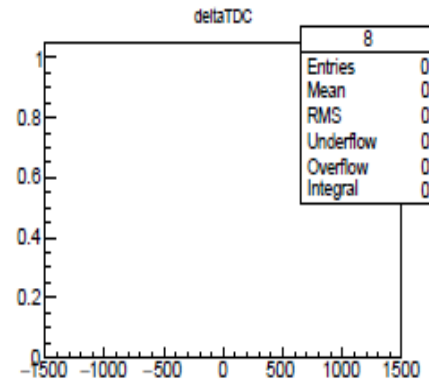
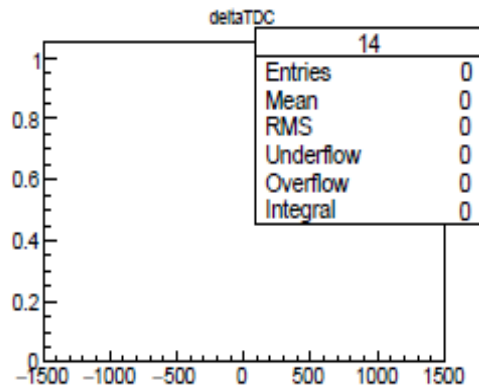
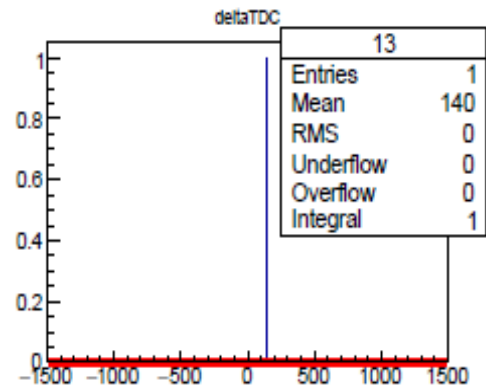
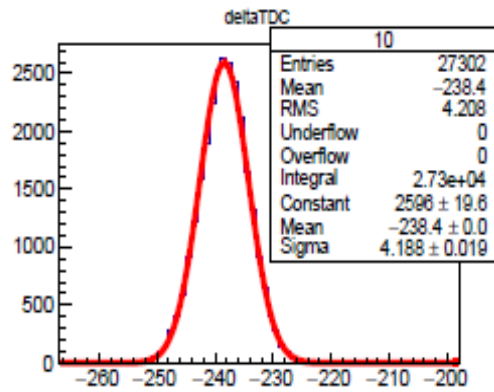
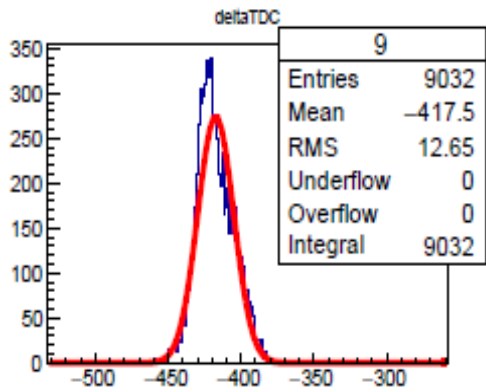
Hamamatsu (71.7 B)





Введение
 Метод определения напряжения
 Тестирование светодиодам
 Тестирование на ускорителе
 Результаты

Гистограммы разности времен
 Ketek (24.7 В)



Введение

Метод определения напряжения

Тестирование светодиоидом

Тестирование на ускорителе

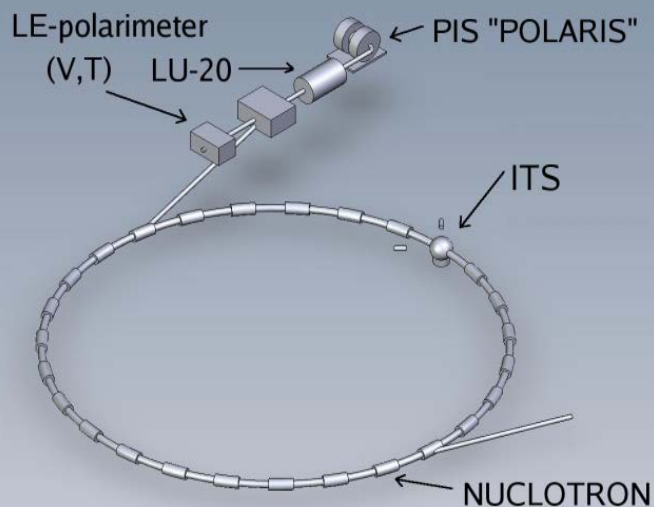
Результаты

Экспериментальные условия

the energy 4 GeV / nucleon
the intensity $1 \times 10^6 - 8.5 \times 10^8$

$$U_{\text{bias}} = 23,0 - 24,7 \text{ В}$$

Триггер был реализован по совпадению двух сцинтилляционных счетчиков с разных сторон ионпровода Нуклотрона.

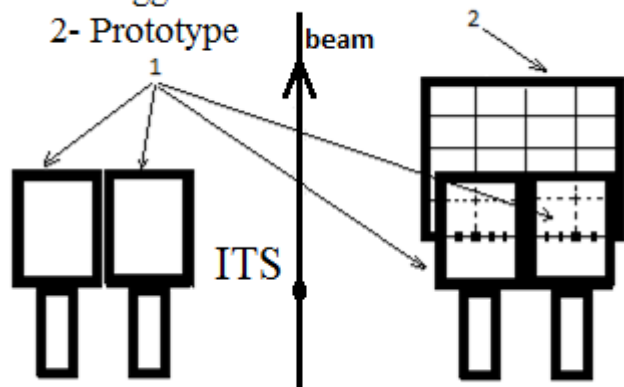


$$\begin{cases} \sigma_1^2 = \sigma_L^2 + \sigma_R^2 \\ \sigma_2^2 = \sigma_L^2 + \sigma_{Ch}^2 \\ \sigma_3^2 = \sigma_R^2 + \sigma_{Ch}^2 \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \sigma_L^2 &\approx \sigma_R^2 = \sigma_0^2 \\ \sigma_1^2 &= 2\sigma_0^2 \end{aligned} \quad (2)$$

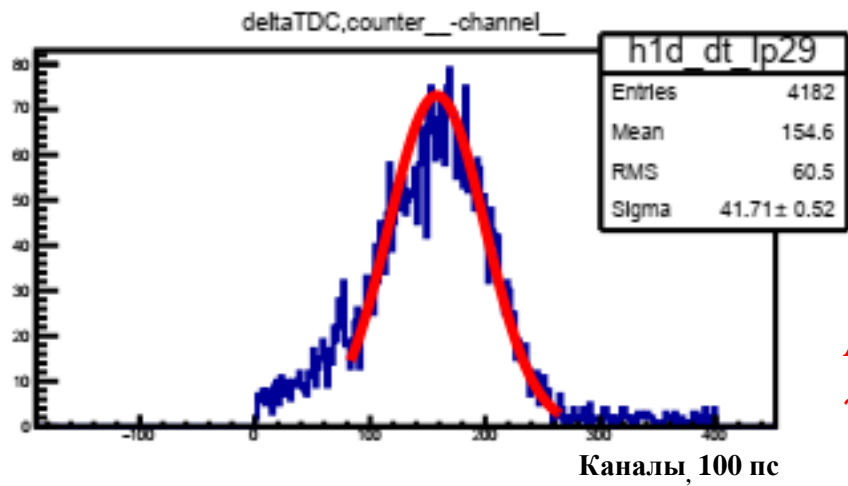
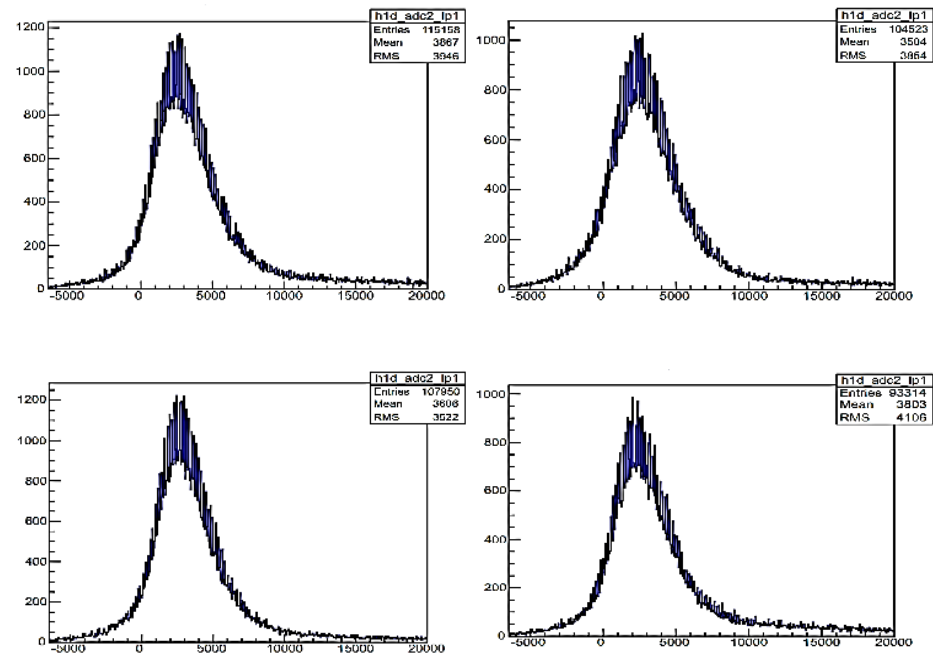
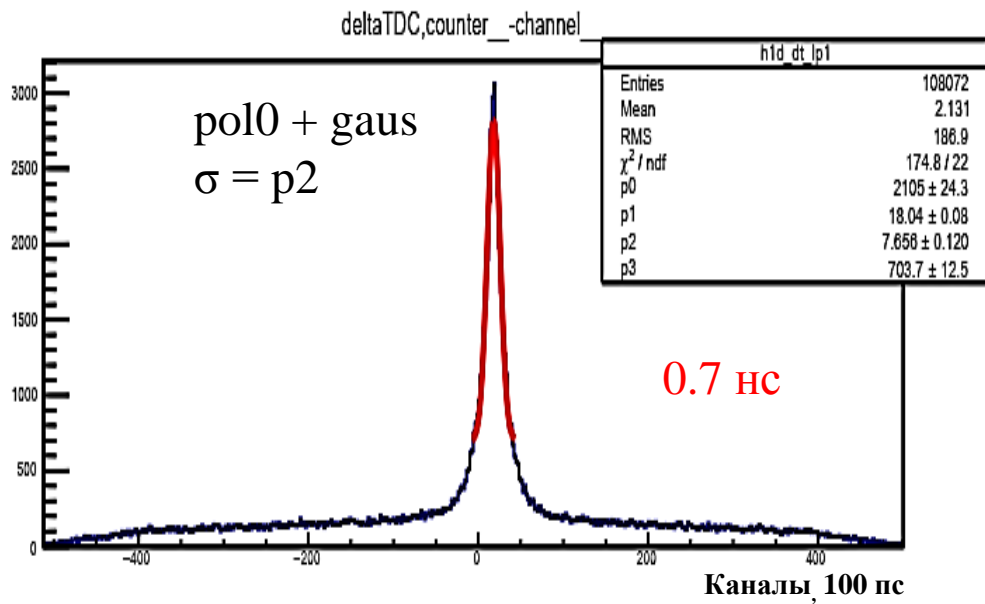
$$\begin{aligned} \sigma_{Ch} &= \sqrt{\sigma_2^2 - \sigma_0^2} \\ \sigma_{Ch} &= \sqrt{\sigma_3^2 - \sigma_0^2} \end{aligned} \quad (3)$$

1- Trigger counter
2- Prototype

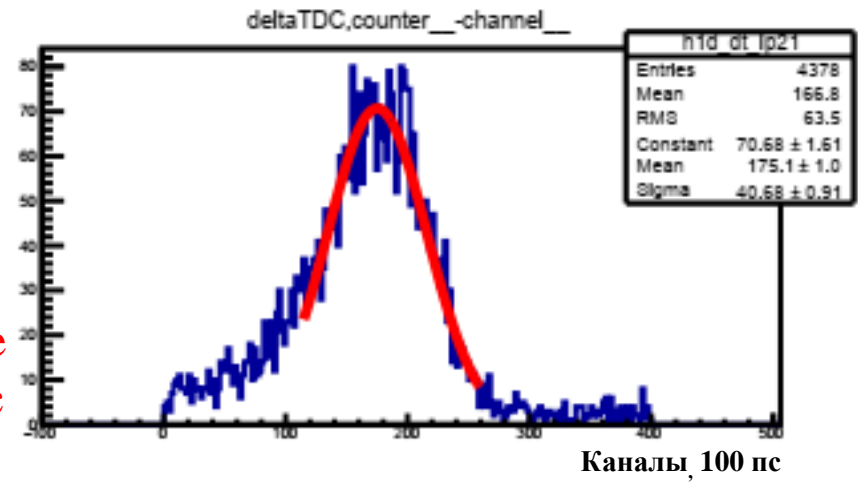


Прототип

Счетчик с фотоумножителем
Наматсусу Н741МОД.



Average
 ~ 4.1 нс



- I. Были разработаны и протестированы 16-канальные прототипы детекторов со считыванием сигнала на основе SiPM производства Ketek (PM3350) и Hamamatsu (S12572-010P).
- II. Предложенный метод определения рабочего напряжения смещения представляется целесообразным для практического применения. Средние напряжения излома шумовых характеристик прототипов на Ketek и Hamamatsu составляли 23.28 ± 0.19 В и 73.82 ± 1.26 В, соответственно
- III. Было получено временное разрешение фотоумножителей производства Ketek и Hamamatsu с использованием источника LED. При равномерном засвечивании оно составляло приблизительно 1.0 нс при напряжениях 24.7 В для Ketek и 71.7 В для Hamamatsu. Временное разрешение при засвечивании оптическим волокном составляло в среднем 0.4 нс, как для прототипа на Ketek, так и для прототипа на Hamamatsu.
- IV. Прототип с SiPM Ketek был протестирован на пучке дейтронов Нуклотрона ОИЯИ при энергии 4 ГэВ/нуклон. Временное разрешение составляло в среднем 4.1 нс. В настоящий момент производится анализ данных сеанса (54) март-2017.

Введение

Метод определения напряжения

Тестирование светодиодом

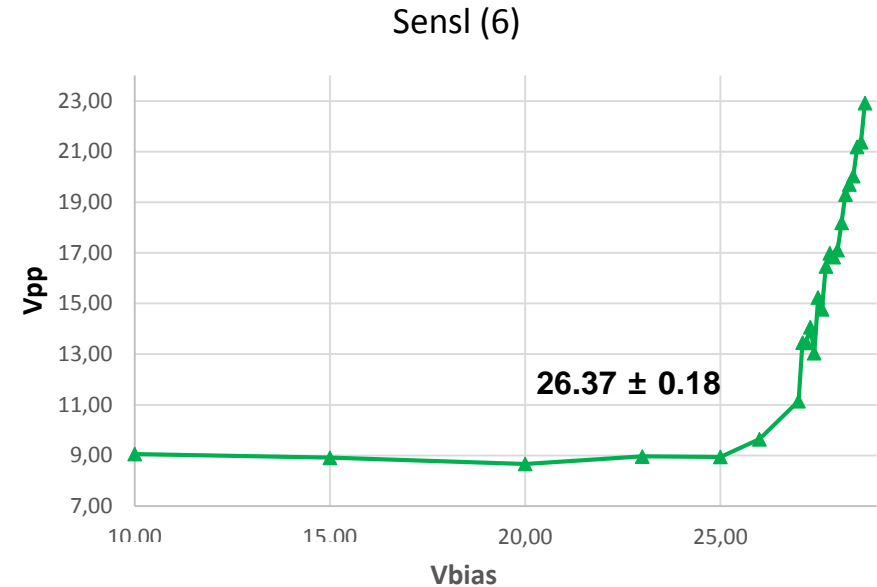
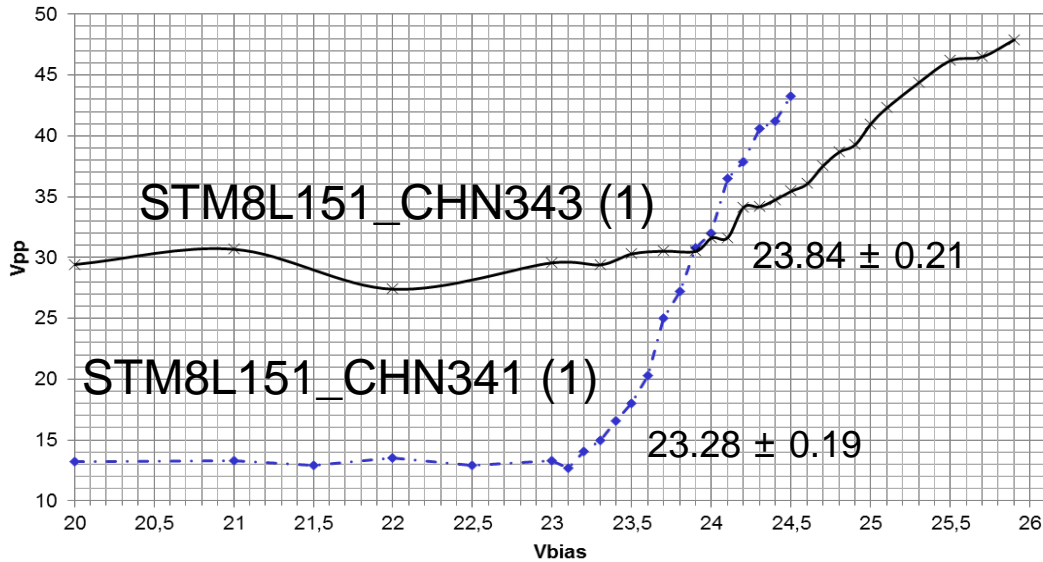
Тестирование на ускорителе

Результаты

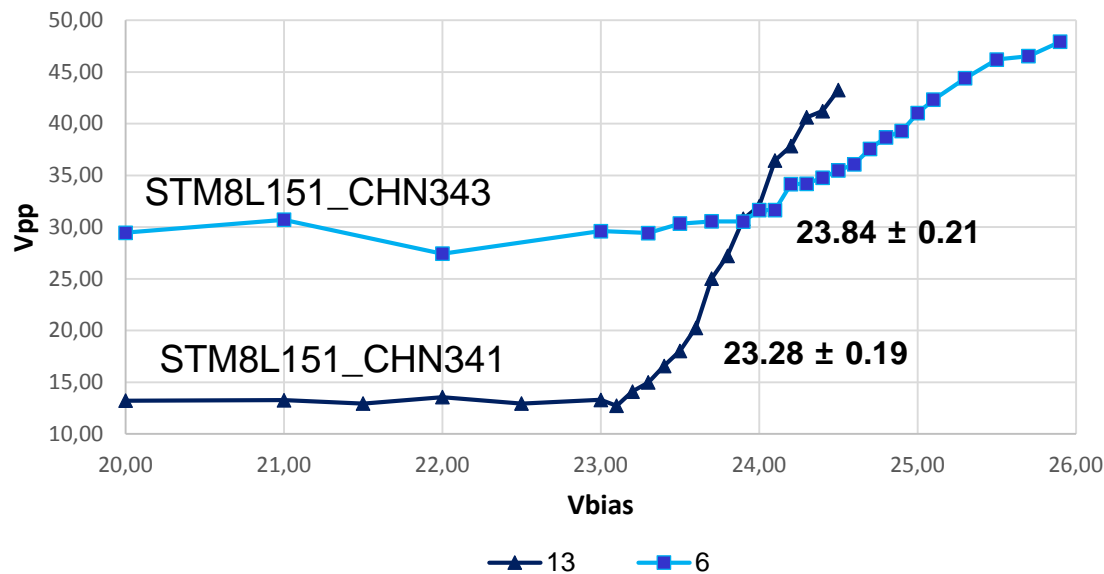
Благодарю за внимание

Тесты на Нуклотроне были выполнены в рамках проекта DSS. Авторы выражают благодарность иностранным коллегам V. Kushpil, M. Janek и O. Mezhenska за помощь при подготовке и проведении тестов.

Backup

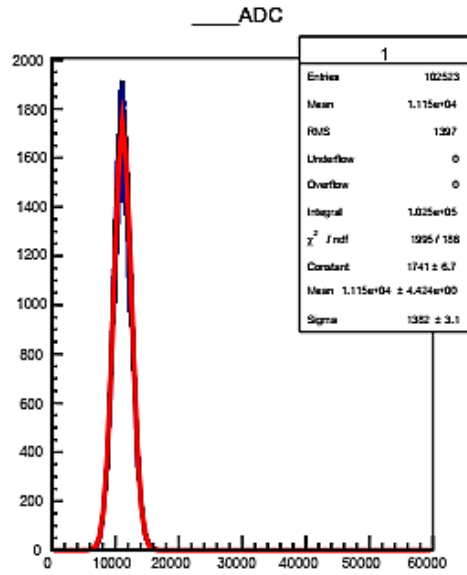


Ketek

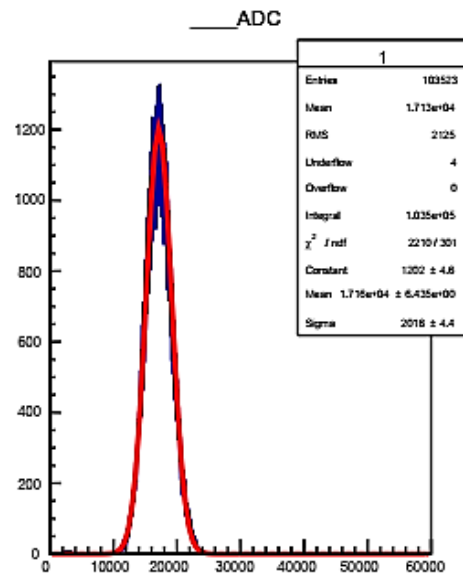


Vbias

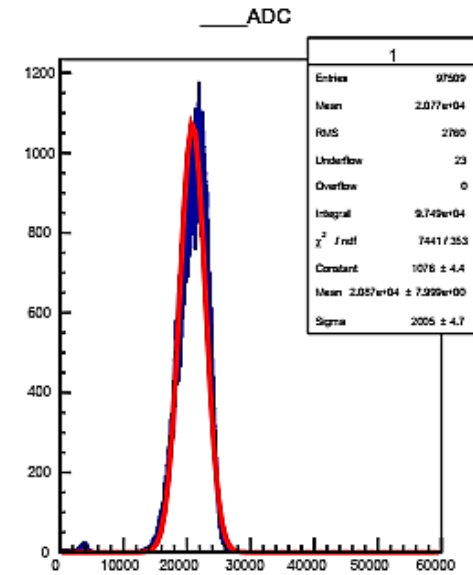
Таким образом, существует неоднозначность со спектральной плотностью шума, которая отсекается фильтрами в разных областях



73.0 V



73.5 V



74.0 V

