

**Прототип 16-ти канального сцинтилляционного
гodosкопа для изучения радиационной стойкости
пиксельных детекторов на основе кремния.**

Работа выполнена: ОИЯИ, Лаборатория физики высоких энергий
Руководитель: д.ф-м.н. Владимир Петрович Ладыгин

Тишевский А.В.
ГУ «Дубна»
Гр. 6164

Актуальность

В современных экспериментах физики высоких энергий достигаются большие потоки частиц. Это приводит к изменению условий, в которых работают детекторы.

Данное утверждение применимо для полупроводниковых твердотельных фотодетекторов на основе лавинных фотодиодов из кремния (SiPM).

Недавние исследования, проведенные в ИЯФ (Чехия), показывают актуальность постановки вопроса о структурных изменениях в кремнии и служат стимулом для сотрудничества в создании системы детекторов для более аккуратного мониторинга потока ионизирующего излучения, в частности нейтронов.

Цель и задачи.

Цель работы заключается в изучении радиационной стойкости пиксельных детекторов на основе кремния.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие **задачи**:

- I. Исследование радиационных эффектов SiPM.
- II. Исследование характеристик SiPM.
- III. Разработка 16-ти канального прототипа.
- IV. Постановка эксперимента на Нуклотроне, Дубна.
- V. Обработка данных.

Преимущества, недостатки и свойства SiPM

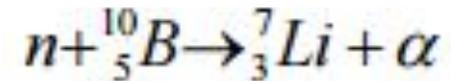
<u>Преимущества:</u>	<u>Недостатки:</u>
<ul style="list-style-type: none">▪ стоимость	<ul style="list-style-type: none">▪ чувствителен к внешним изменениям температуры
<ul style="list-style-type: none">▪ нечувствительность к магнитным полям	<ul style="list-style-type: none">▪ радиационная стойкость зависит от технологии производства
<ul style="list-style-type: none">▪ компактный размер	
<ul style="list-style-type: none">▪ высокая эффективность счета фотонов	
<ul style="list-style-type: none">▪ низкое напряжение от источника питания	

SiPM имеют следующие характерные свойства:

- плотность пикселей около 10^4 - $2 \cdot 10^4$ / мм²,
- размер от 1x1 мм² до 6x6 мм²,
- широкий динамический диапазон 5-15000 Ф.Э.,
- эффективность регистрации фотонов от ~ 15%,
- высокую скорость счета ~ 10^5 Гц,

Радиационная стойкость к нейтронным потокам

Основная задача создания полупроводниковых детекторов заключается в правильной оценке времени надёжной эксплуатации прибора. Факторами, влияющими на время являются: общая поглощенная ионизационная доза и структурные дефекты, связанные с плотностью потока частиц.



В соответствии с моделированием FLUKA в рамках проекта CBM FAIR главным требованием к SiPM является радиационная стойкость к нейтронным потокам порядка 10^{13} н / см².

Исследования радиационной стойкости

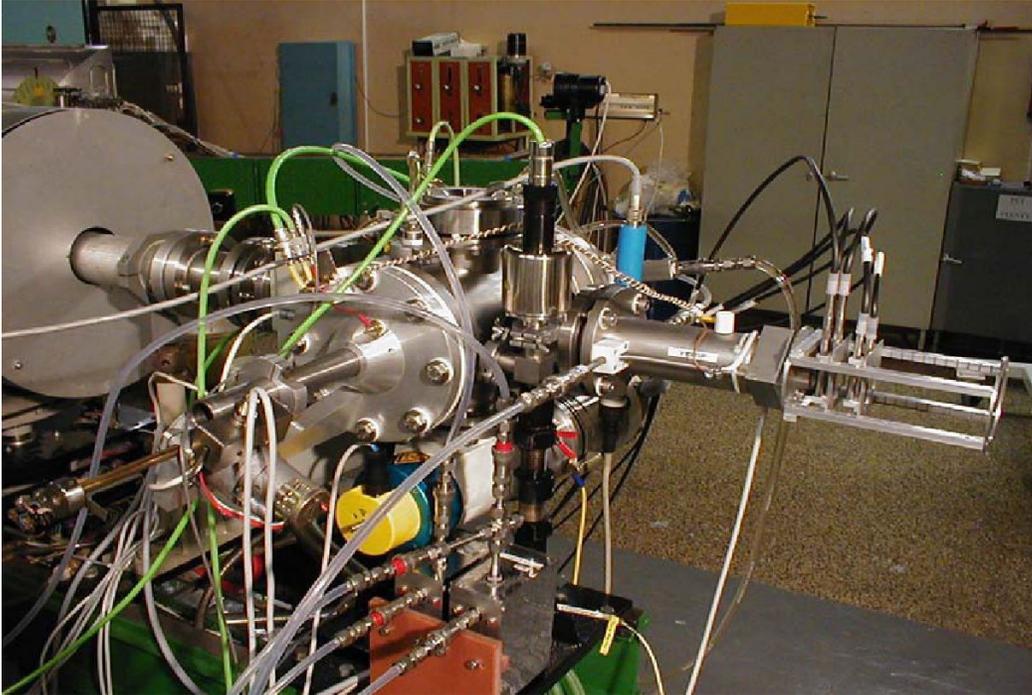


Таблица 1: Рабочее напряжение и 1 МэВ флюенс нейтронов

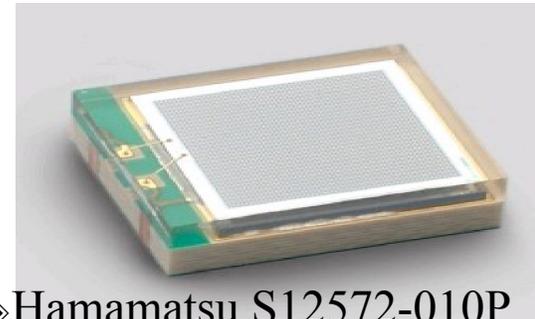
APD type	ref.	V_{bias} [V]	1 MeV neutron fluence. [n/cm ²]
Zecotek MAPD-3N	[18]	88.5	$3.4 \pm 0.2 \cdot 10^{12}$
Ketek PM3350	[19]	23.5	$2.5 \pm 0.2 \cdot 10^{12}$
Hamamatsu S12572-010P	[20]	69.2	$6.5 \pm 0.6 \cdot 10^{10}$



◆ Zecotek MAPD-3N



◆ Ketek PM3350

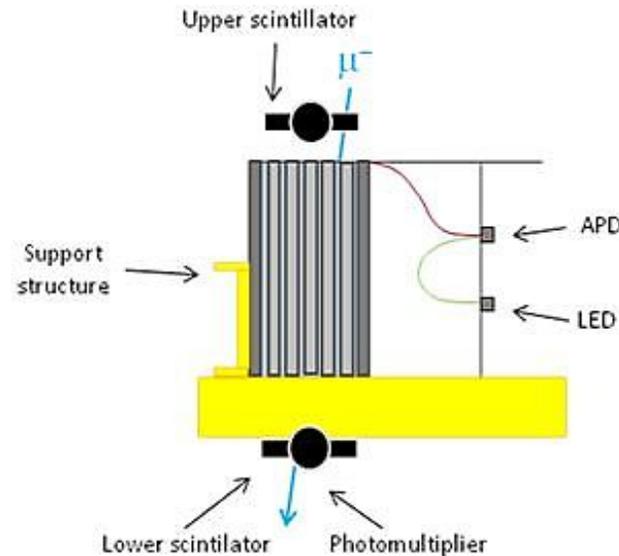


◆ Hamamatsu S12572-010P

LED и КОСМИЧЕСКИЕ МЮОНЫ

Источник единичных фотонов - светоизлучающий диод (LED).

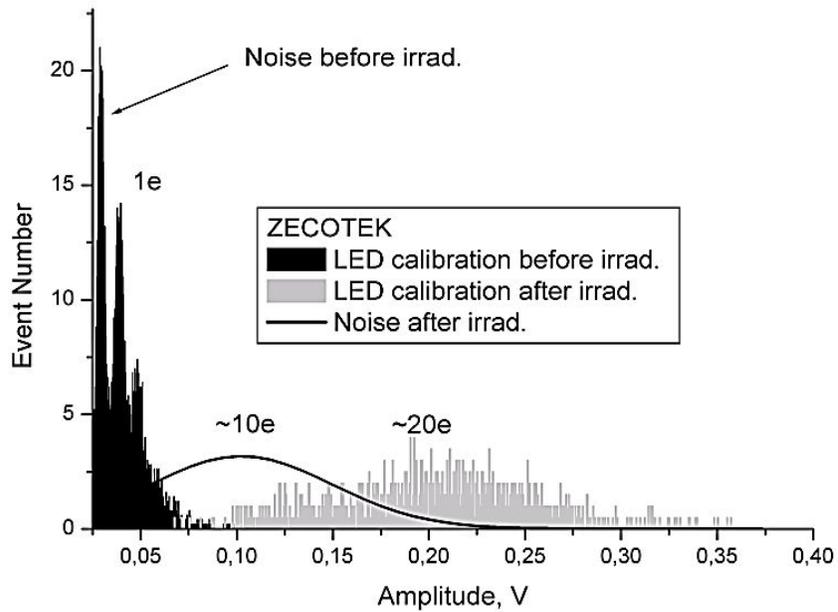
Основым преимуществом светодиодов является возможность применить метод синхронного детектирования сигнала SiPM.



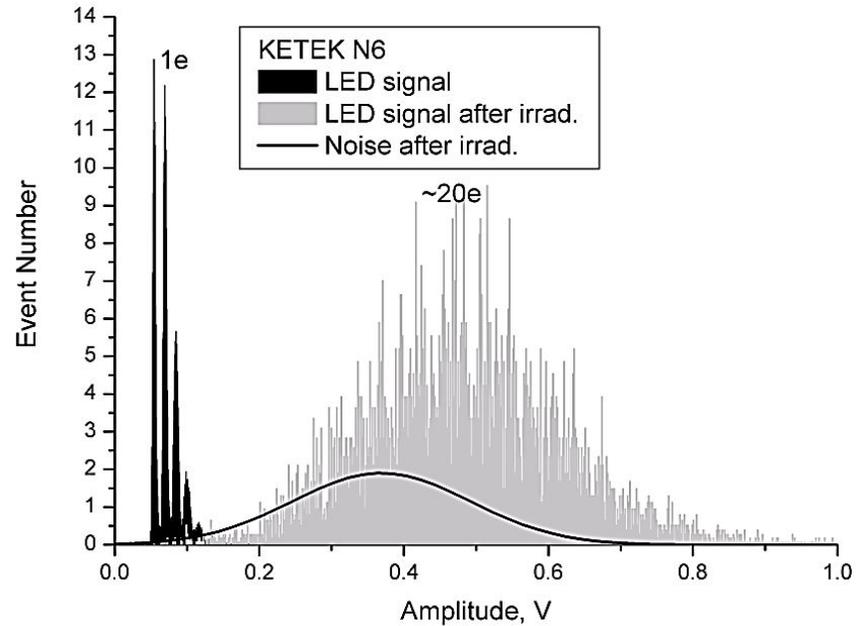
Установка для испытаний SiPM космическими мюонами и LED.

Космическое излучение рассматривается в качестве замены ускорителей, с использованием минимально ионизирующих частиц (MIPs). Недостатком этого метода является низкая скорость набора данных.

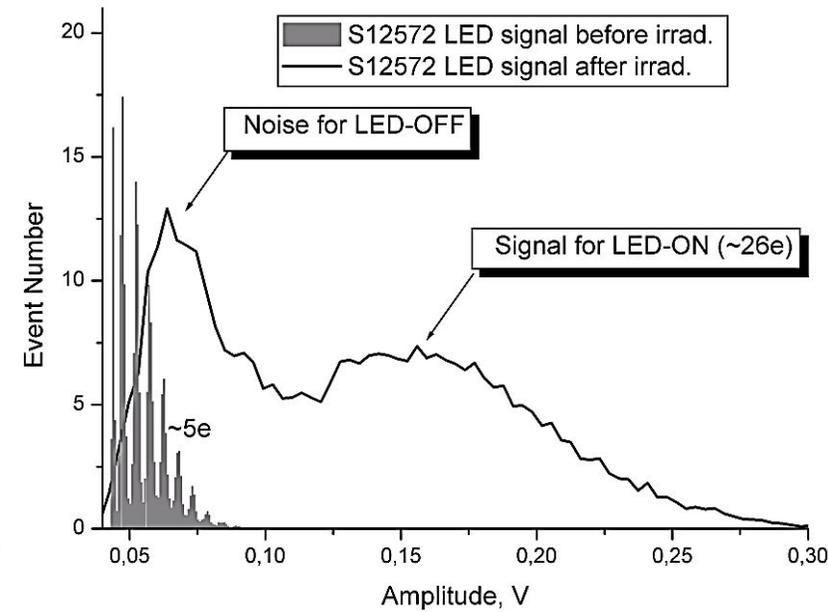
Результаты испытаний LED



Результаты испытаний
Zecotek

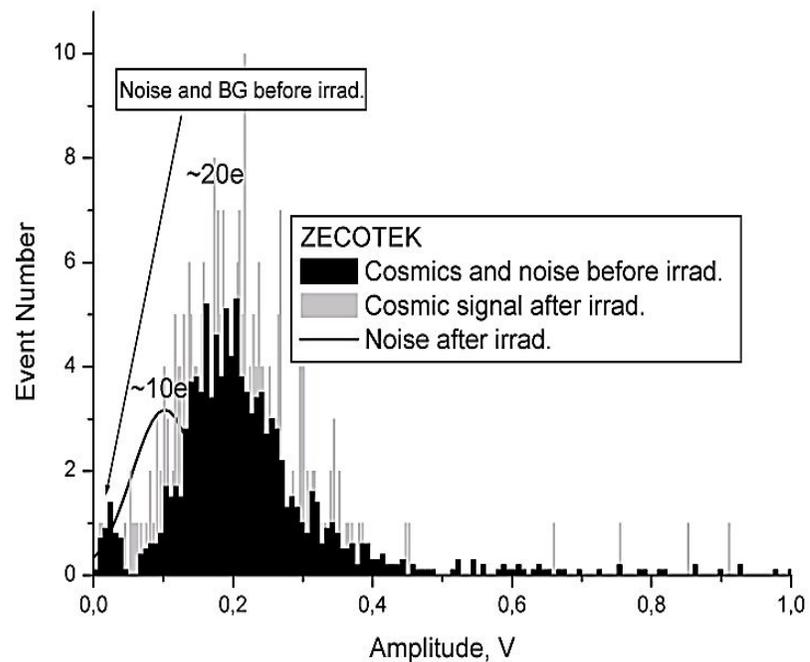


Результаты испытаний
Ketek

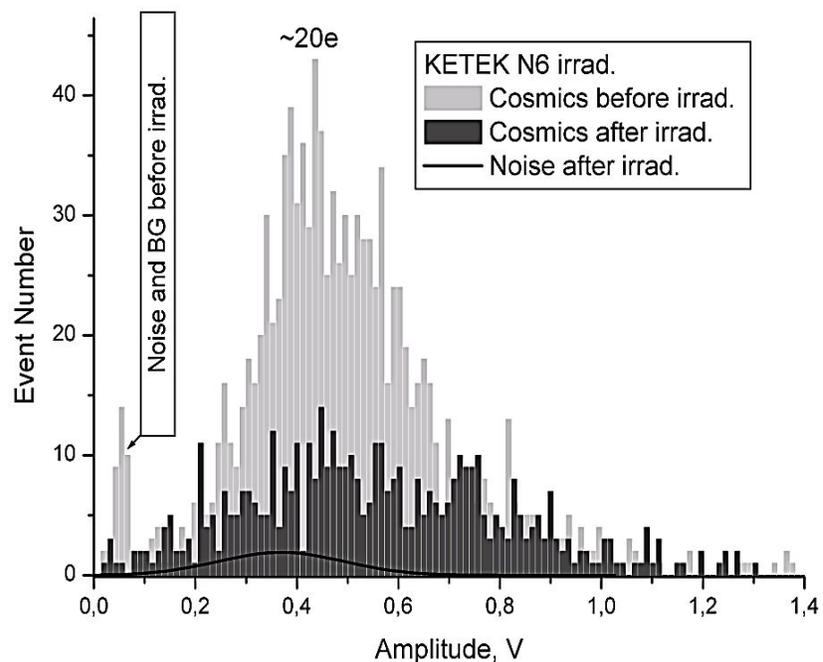


Результаты испытаний
Hamamatsu

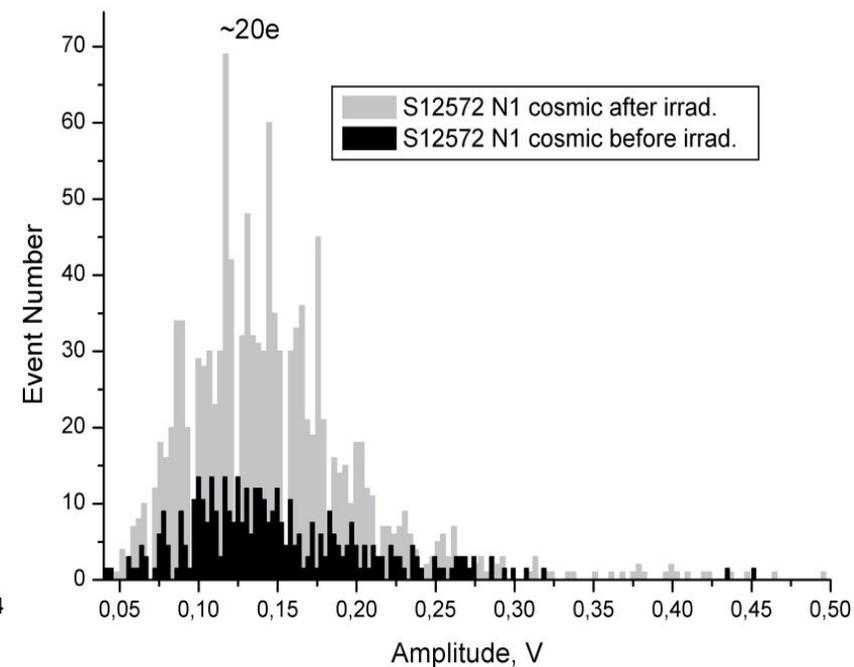
Результаты испытаний космическими мюонами.



Результаты испытаний
Zecotek

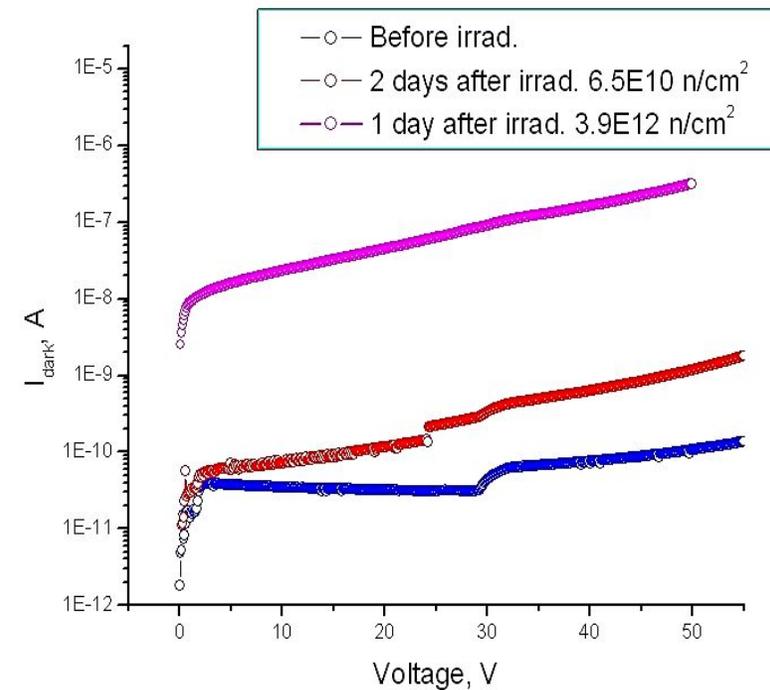
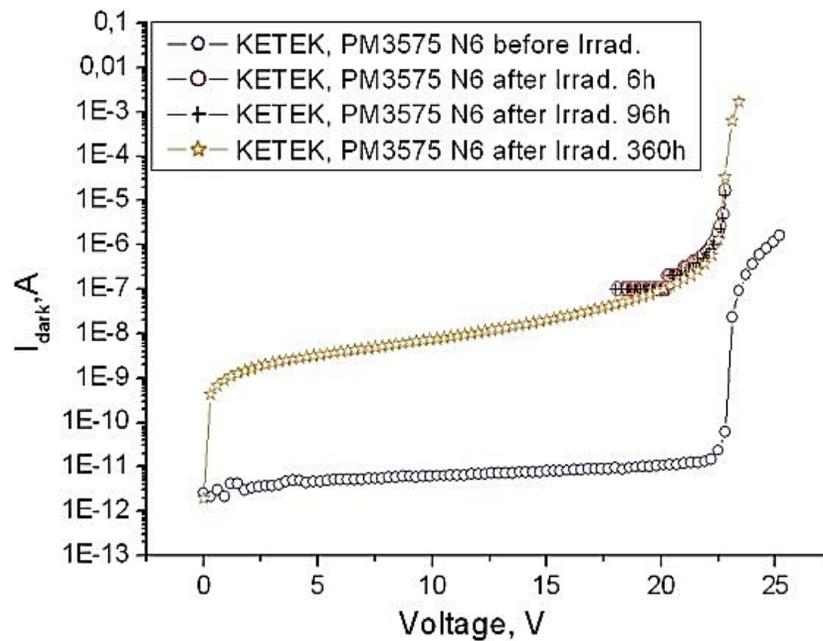
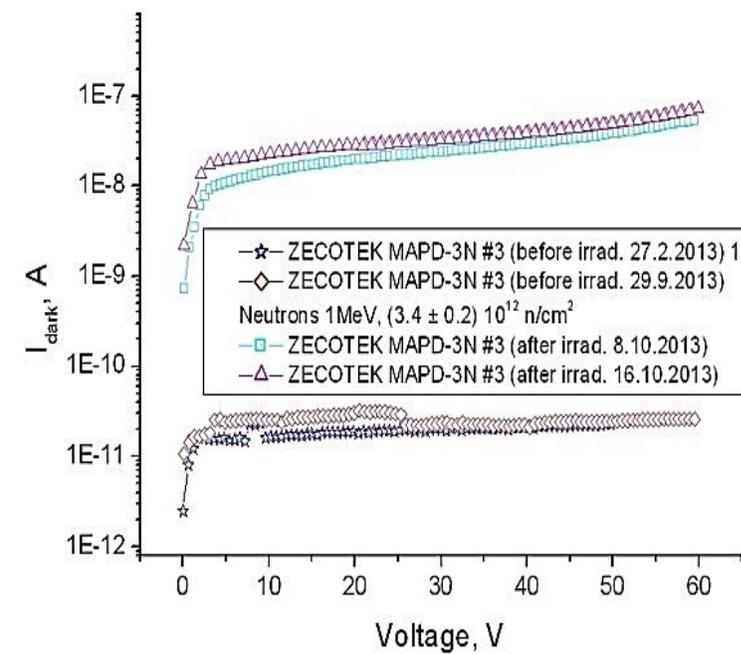


Результаты испытаний
Ketek

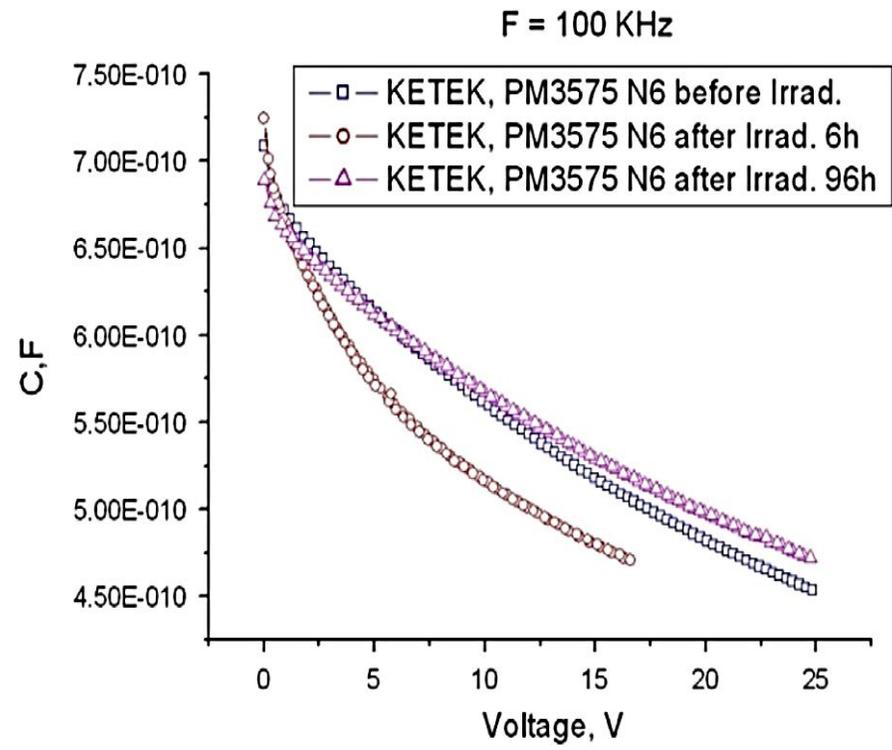
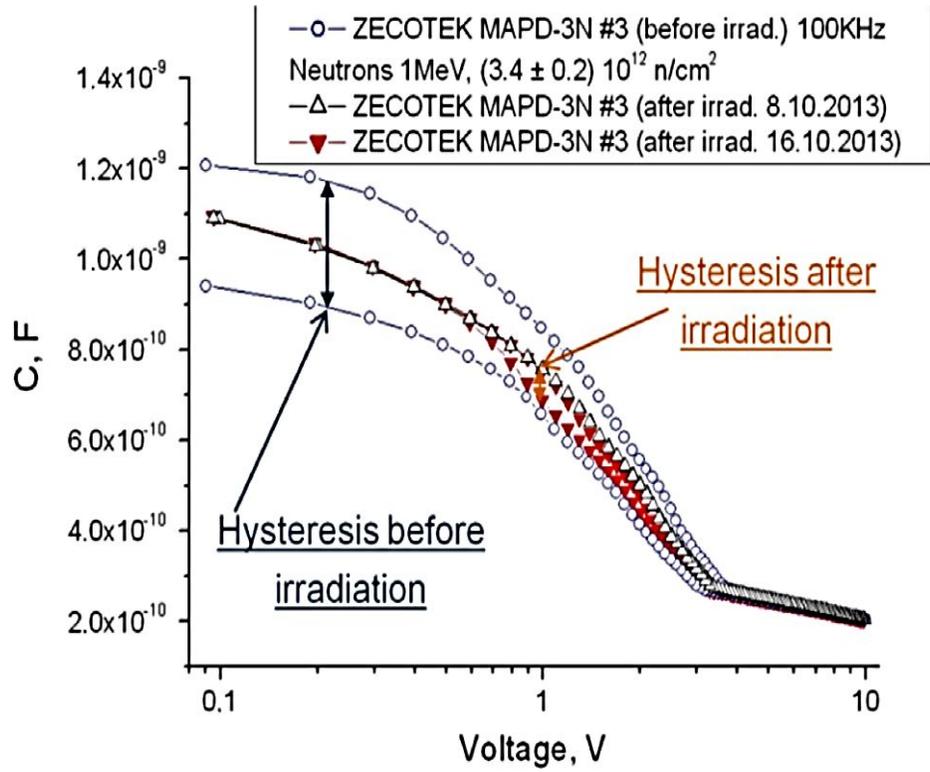


Результаты испытаний
Hamamatsu

Характеристики (I-V) до и после облучения



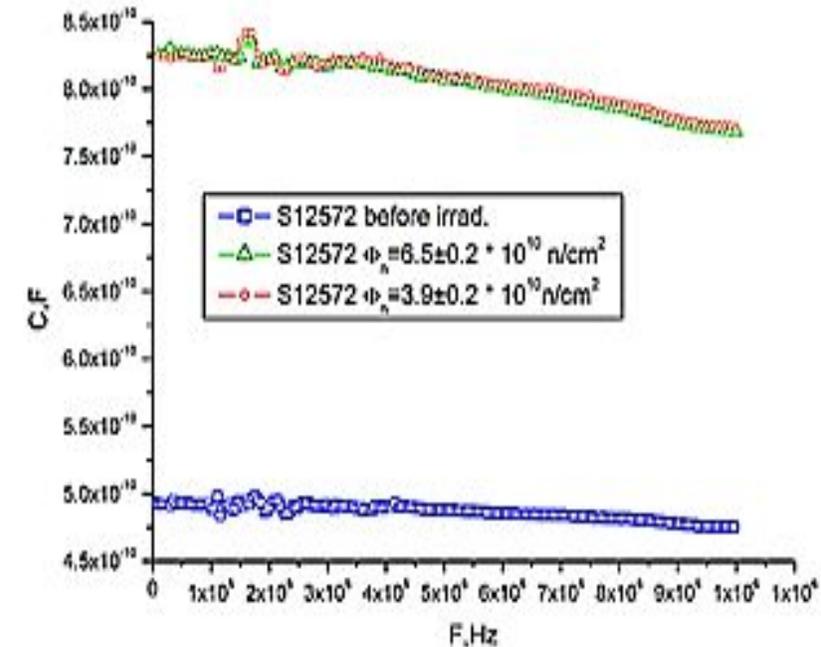
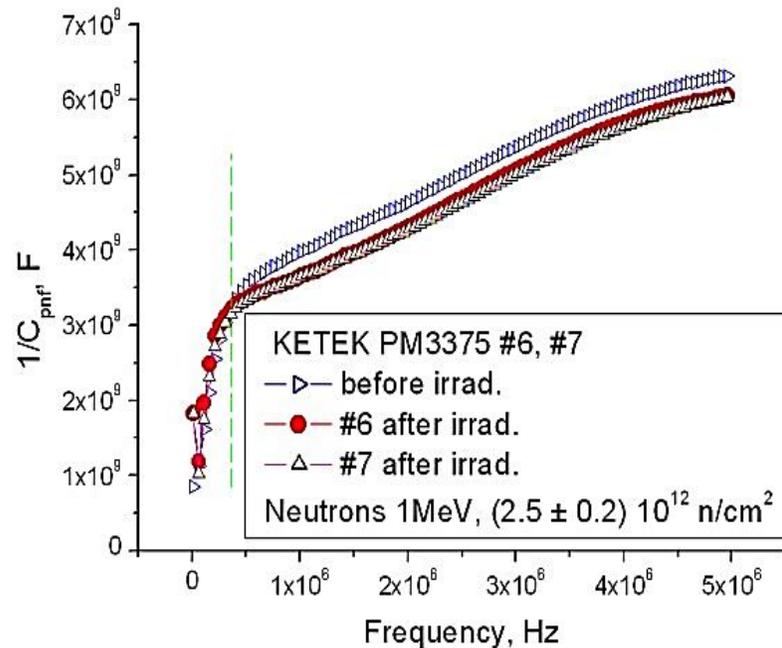
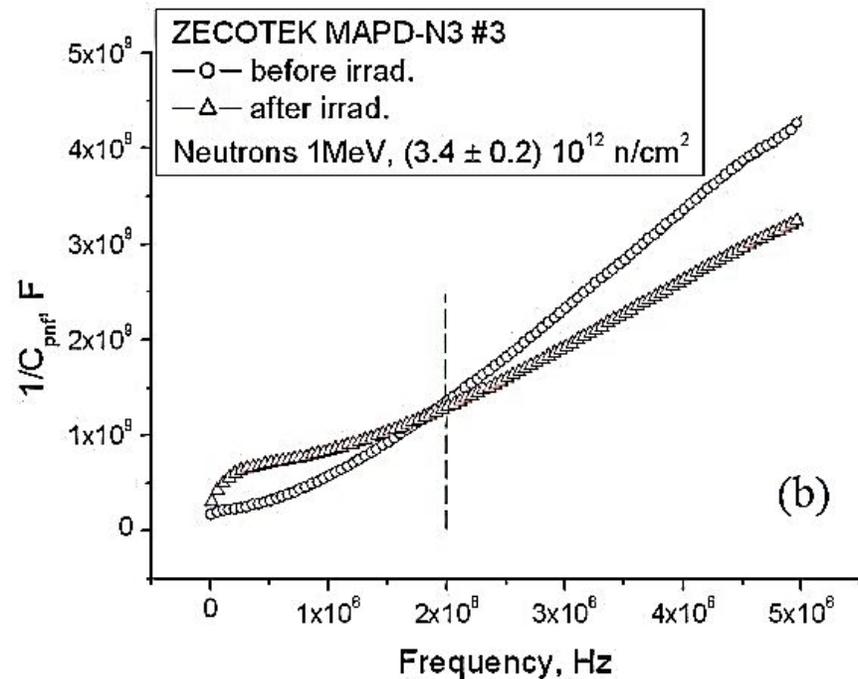
Характеристики (C-V) до и после облучения



Особенности анализа частотной характеристики

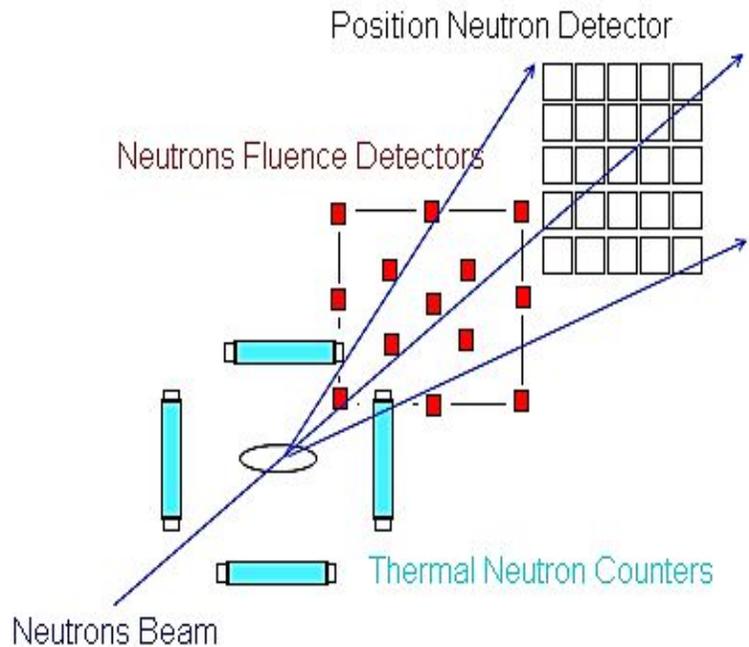
$$\frac{\partial \Delta n}{\partial t} = \frac{1}{e} \cdot \frac{\partial J_n}{\partial x} + \frac{\Delta n}{\tau} \quad (1)$$

$$\frac{1}{C}(f) = \frac{1}{e} \cdot \frac{\langle \tau \rangle}{\langle N_l \rangle} \cdot \Delta \varphi \cdot f \quad (2)$$



C-F кривые Zecotek (слева), Ketek (центр) и Hamamatsu до и после облучения

Система мониторинга пучка нейтронов.



Схематическое изображение системы мониторинга пучка нейтронов.

Система основана на детекторах трех типов :

□ измерителе общего потока нейтронов

Neutrons Fluence Detector (NFD)

□ счетчике тепловых нейтронов

Thermal Neutron Counter (TNC)

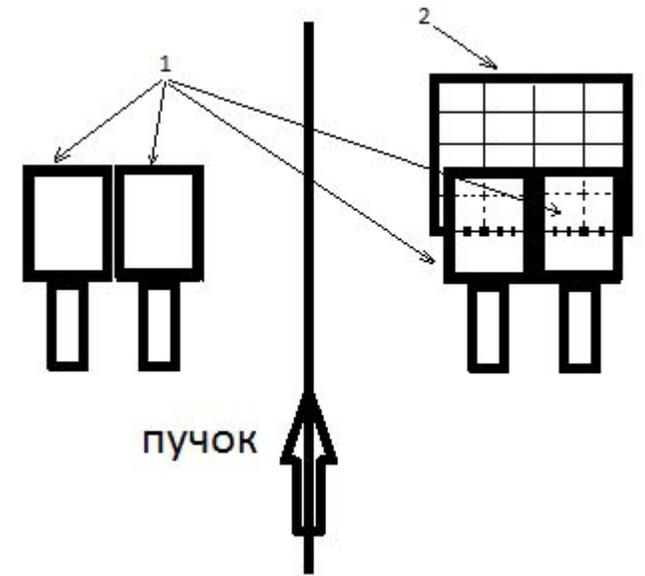
□ детекторе визуализации потока нейтронов

Position Neutron Detector (PND)

16-канальный прототип детектора



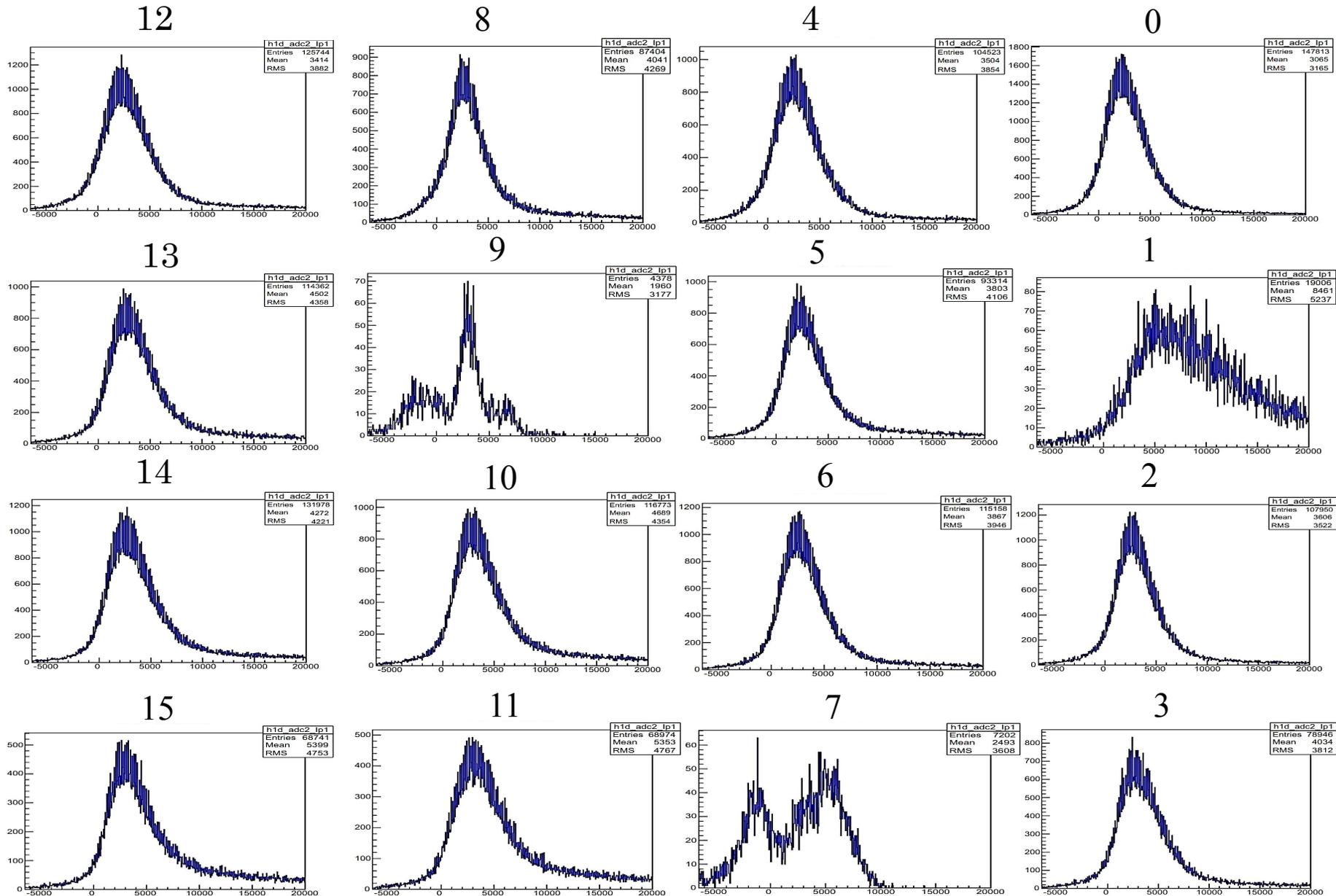
SiPM Ketek (PM3350), Gain~ $10E^6$, 50um/cell



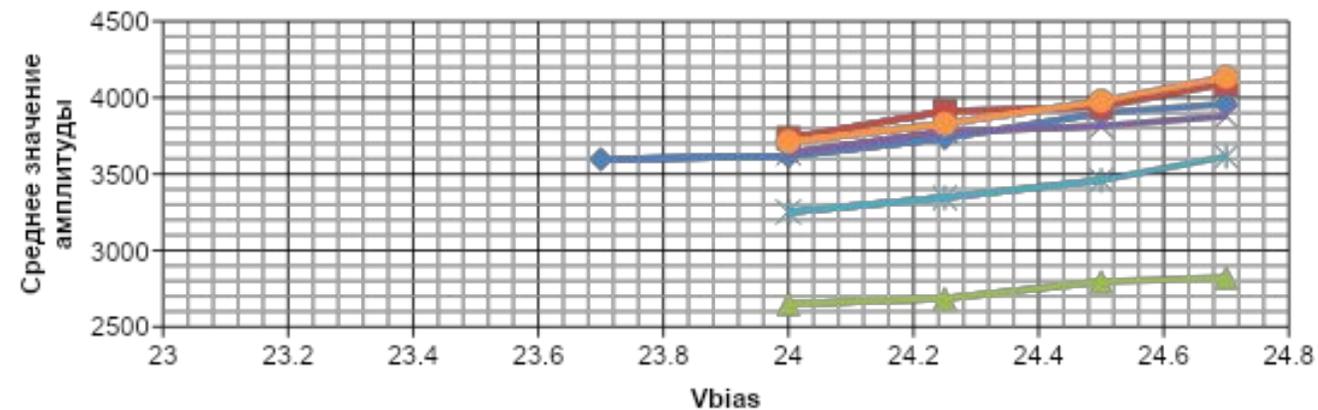
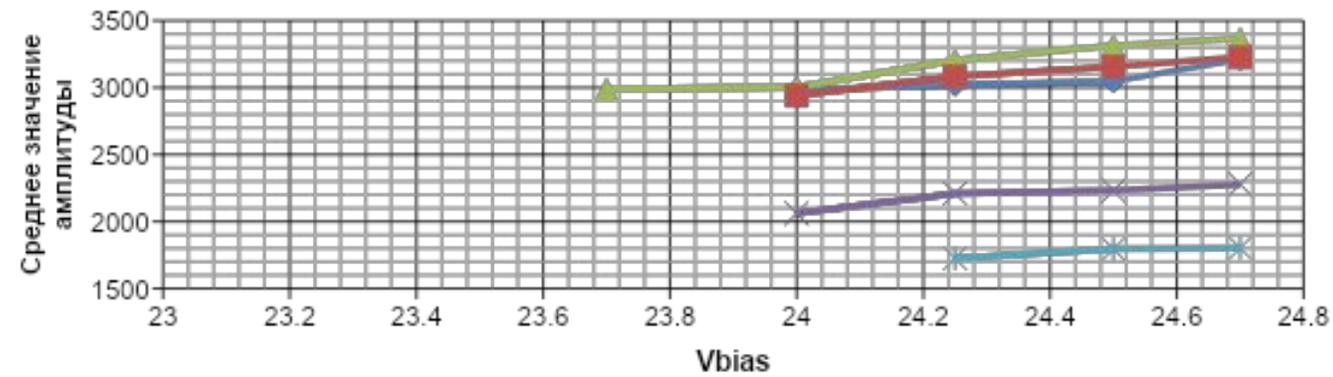
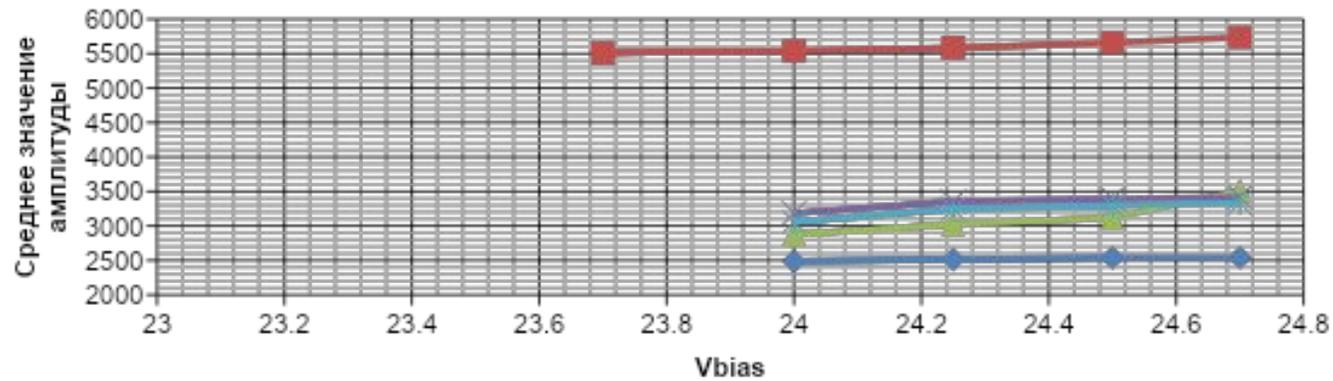
1 мониторы светимости
2 прототип

Вид амплитудного спектра

$V_{bias} = 24,25V$



Поведение амплитудных характеристик



Заключение

Были выполнены поставленные задачи.

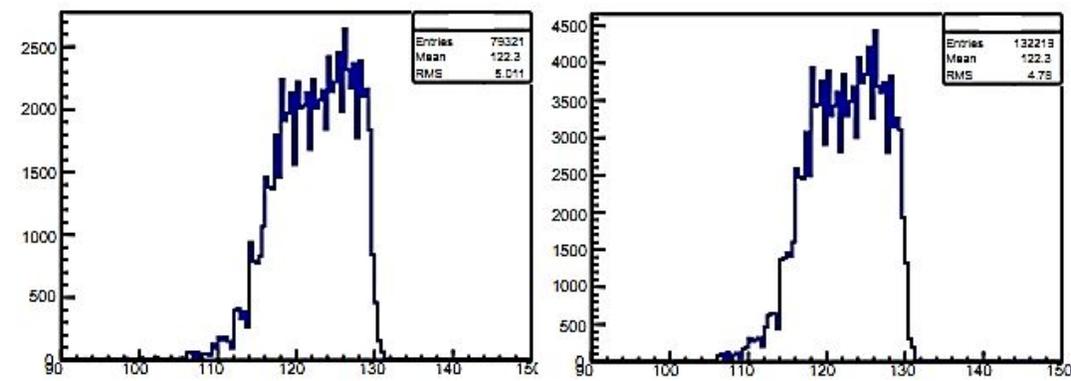
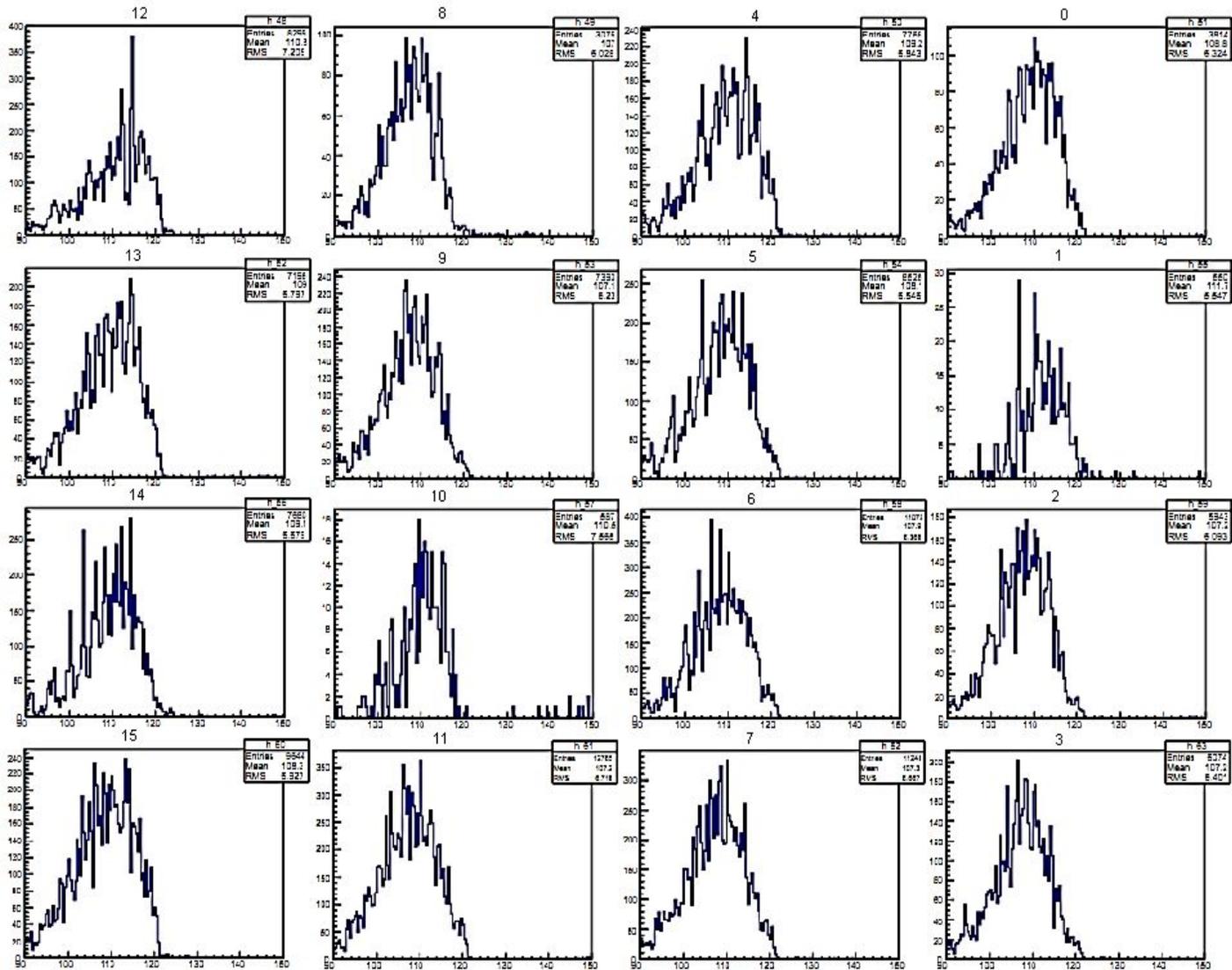
Изучение радиационных эффектов и характеристик SiPM показывает, что уровень шума в значительной степени зависит от технологии производства, а также от наличия дефектов в кремнии. После облучения было обнаружено множество различных эффектов, в основном все они связаны с перекомпенсацией полупроводникового материала, в процессе захвата тепловых нейтронов атомами ^{10}B .

Сравнивая Ketek, Zecotek и Hamamatsu SiPM можно сделать вывод, что в тех случаях, когда загрузки ионизирующего излучения на детектор являются небольшими, и нет жестких требований к высокой радиационной стойкости материала возможно использование SiPM Ketek. В случае Zero Degree калориметров, где ожидаются большие потоки нейтронов, наиболее предпочтительными являются SiPM производителей Zecotek и Hamamatsu.

Был разработан и исследован 16-ти канальный прототип сцинтилляционного детектора со считыванием сигнала на основе SiPM производителя Ketek. Было выполнено его облучение на пучке дейтронов Нуклотрона ОИЯИ. Показана работоспособность данного прототипа. Изучены его время-амплитудные характеристики.

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ

Критерии отбора (меньшая статистика в прототип)



Критерии отбора (большая статистика в прототип)

