

**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

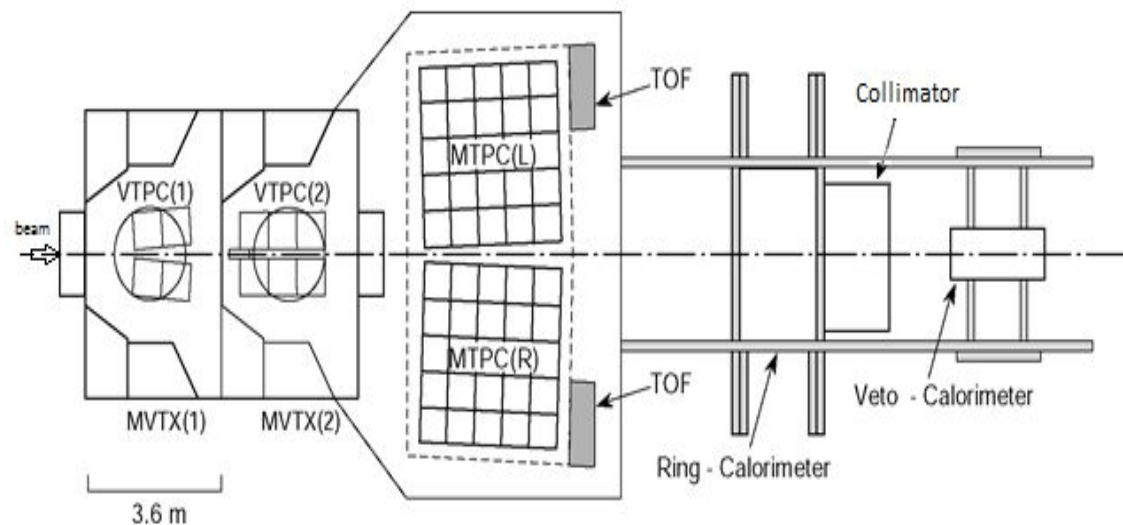
| <u>Преимущества:</u>   | <u>Недостатки:</u>  |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>▪ стоимость</li></ul>                              | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ чувствителен к внешним изменениям температуры</li></ul>             |
| <ul style="list-style-type: none"><li>▪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

SiPM имеют следующие характерные свойства:

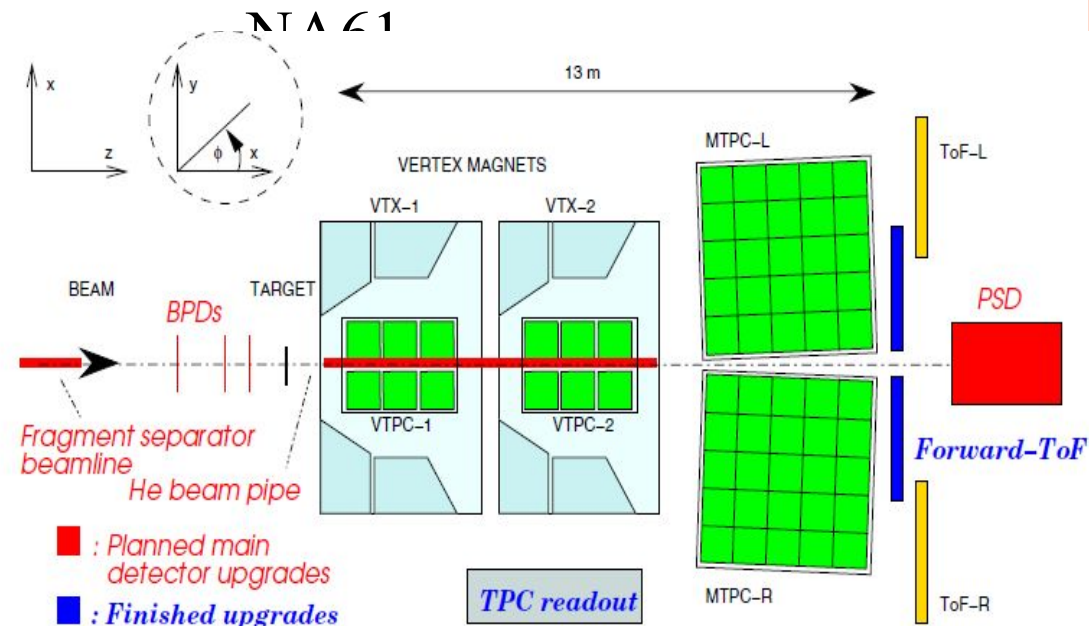
- плотность пикселей около  $10^4$ -  $2 \cdot 10^4$  / мм<sup>2</sup>,
- размер от 1x1 мм<sup>2</sup> до 6x6 мм<sup>2</sup>,
- широкий динамический диапазон 5-15000 Ф.Э.,
- эффективность регистрации фотонов от ~ 15%,
- высокую скорость счета ~  $10^5$  Гц,

# Применение SiPM

## Эксперимент NA49



## Эксперимент

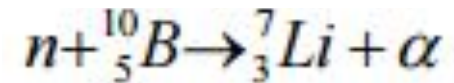


На строящемся ускорителе для ионных и антипротонных исследований FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research)

В Zero Degree калориметре для экспериментов на коллайдере NICA (Nuclotron-based Ion Collider fAcility)

# 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 / см<sup>2</sup>.

# Исследования радиационной стойкости

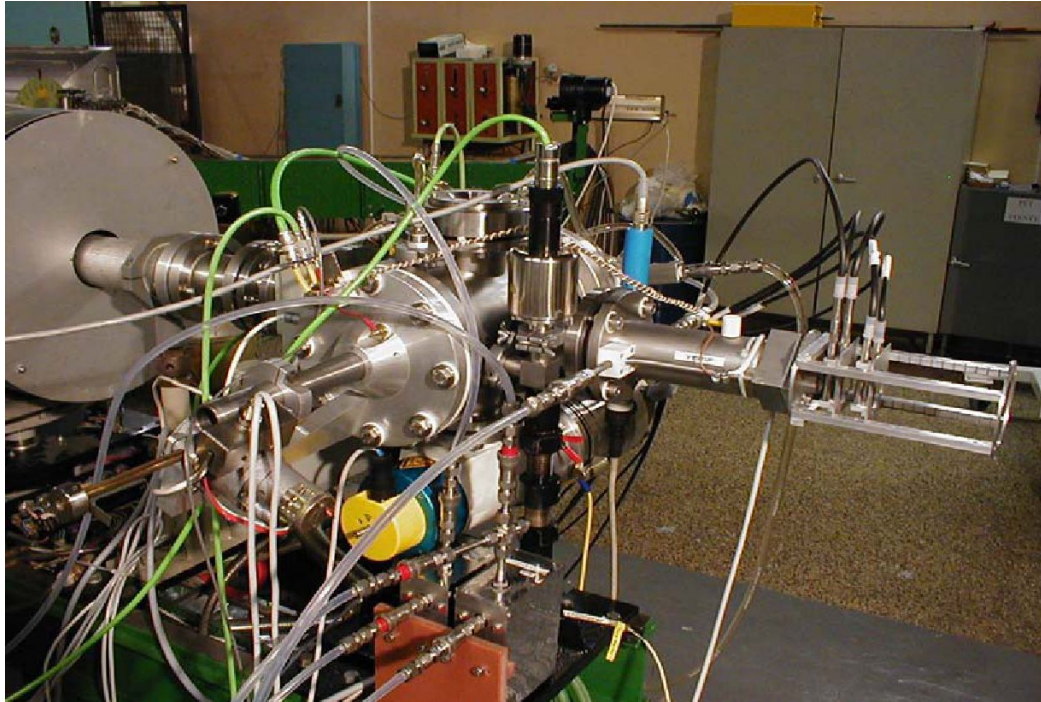
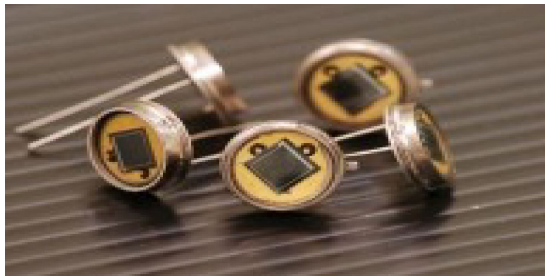


Таблица 1: Рабочее напряжение и 1 МэВ флюенс нейтронов

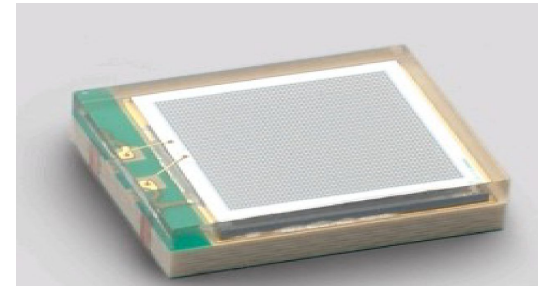
| APD type              | ref. | $V_{bias}$<br>[V] | 1 MeV neutron<br>fluence. [n/cm <sup>2</sup> ] |
|-----------------------|------|-------------------|--|
| Zecotek MAPD-3N       | [18] | 88.5              | $3.4 \pm 0.2 \cdot 10^{12}$                    |
| Ketek PM3350          | [19] | 23.5   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



◆ Zecotek MAPD-3N



◆ Ketek PM3350

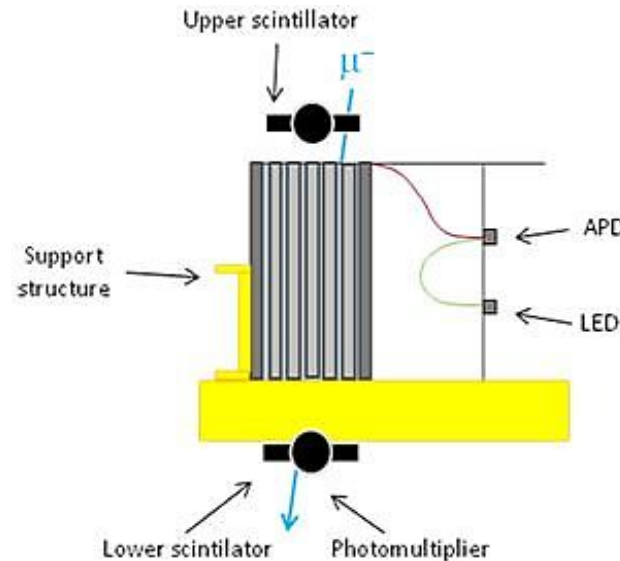


◆ Hamamatsu S12572-010P

# LED и КОСМИЧЕСКИЕ МЮОНЫ

Источник единичных фотонов - светоизлучающий диод (LED).

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

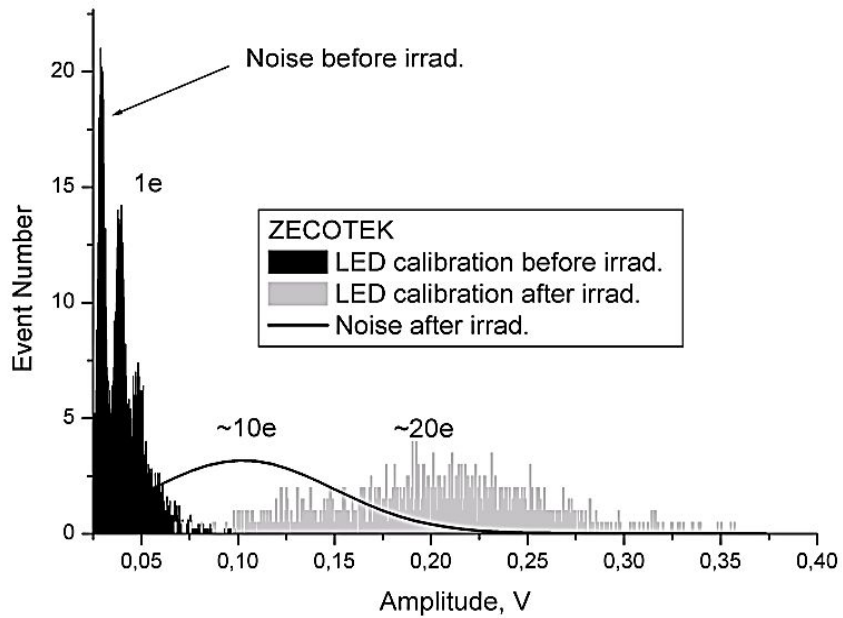


Установка для испытаний SiPM космическими мюонами и LED.

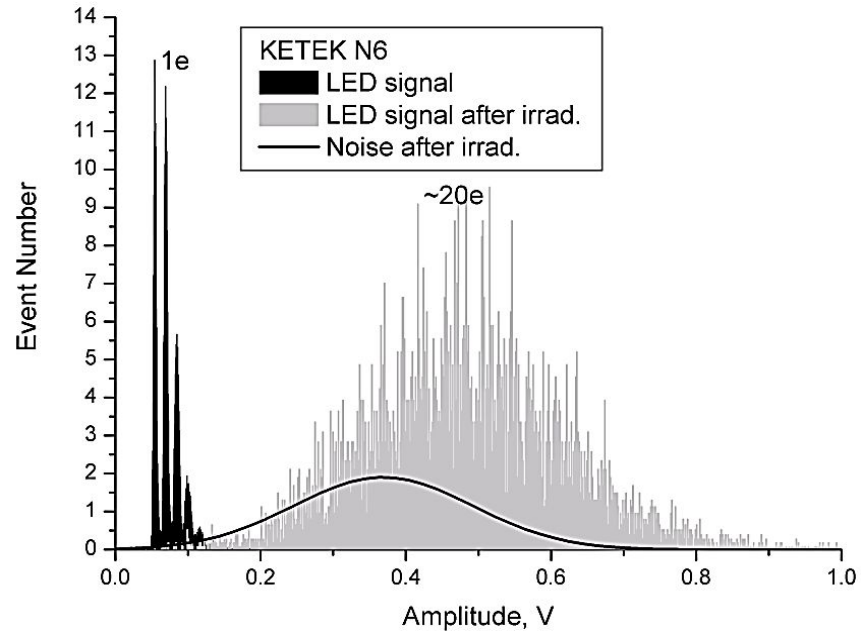
Космическое излучение рассматривается в качестве замены ускорителей, с использованием минимально ионизирующих частиц (MIPs). Недостатком этого метода является низкая скорость набора данных.



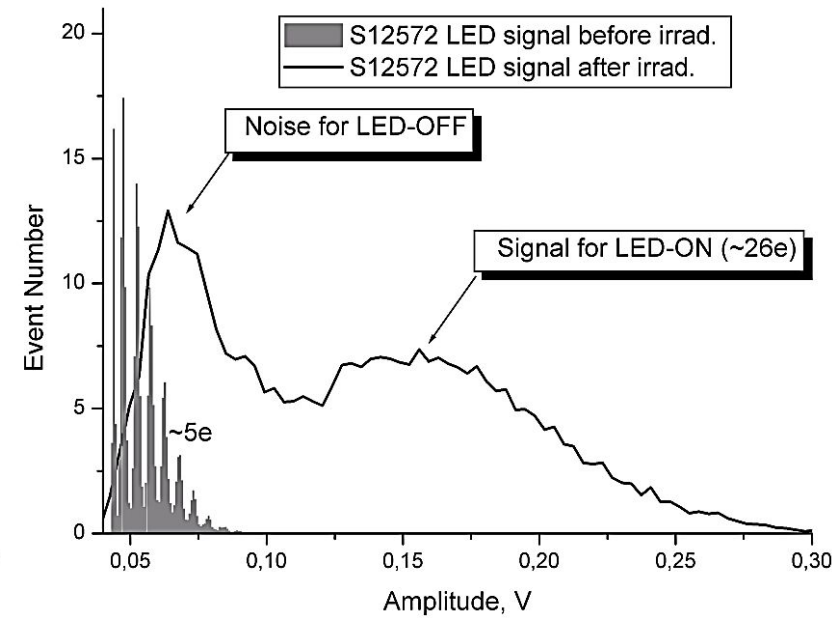
# Результаты испытаний LED



Результаты испытаний  
Zecotek

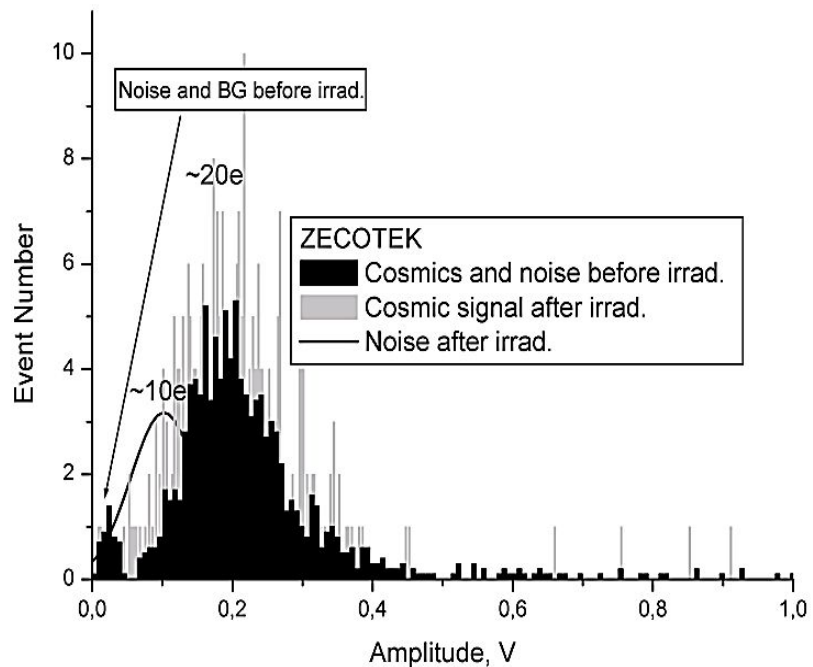


Результаты испытаний  
Ketek

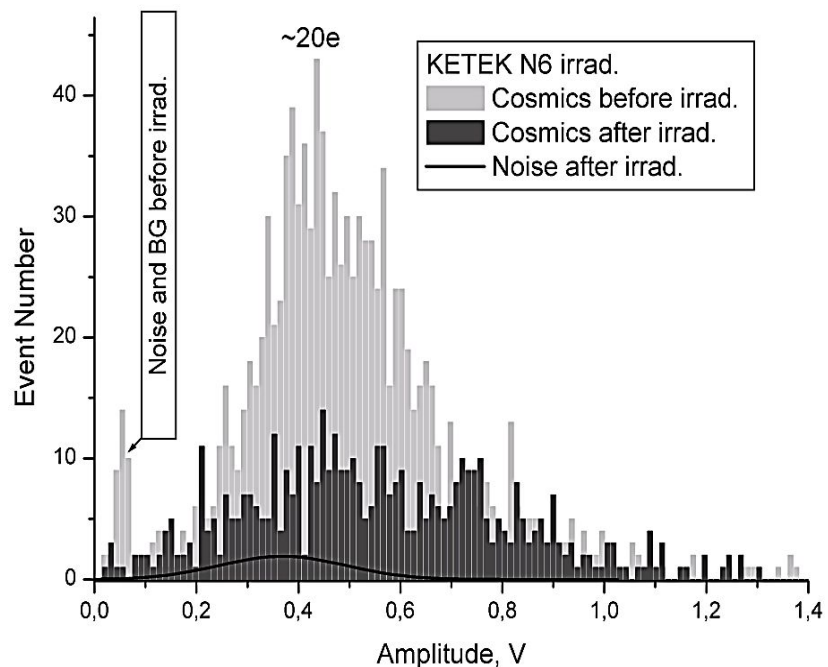


Результаты испытаний  
Hamamatsu

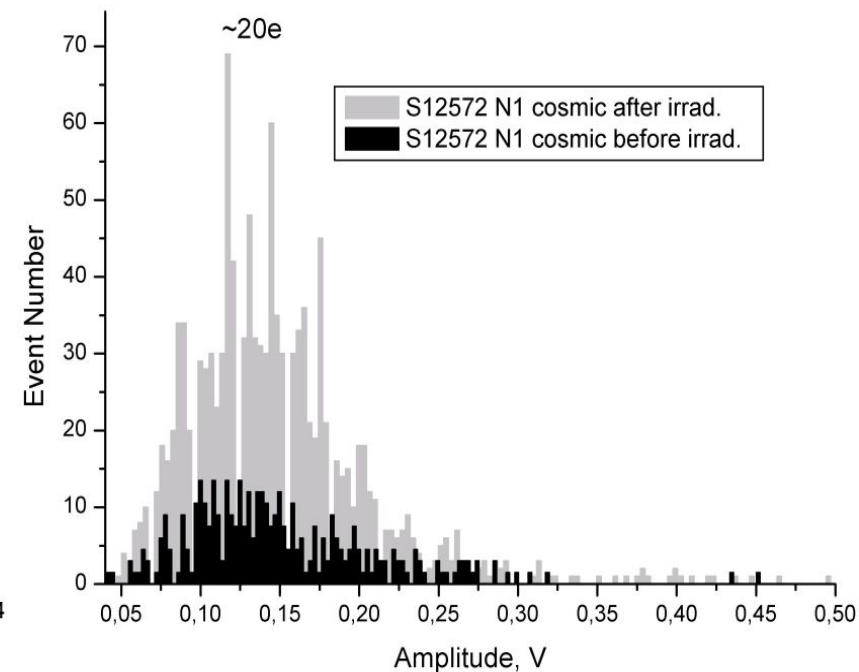
# Результаты испытаний космическими мюонами.



Результаты испытаний  
Zecotek

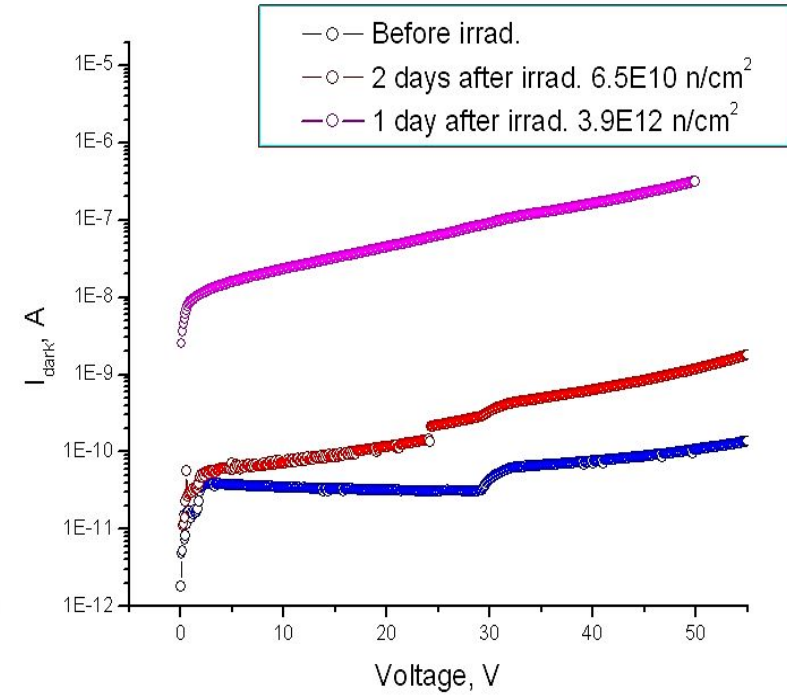
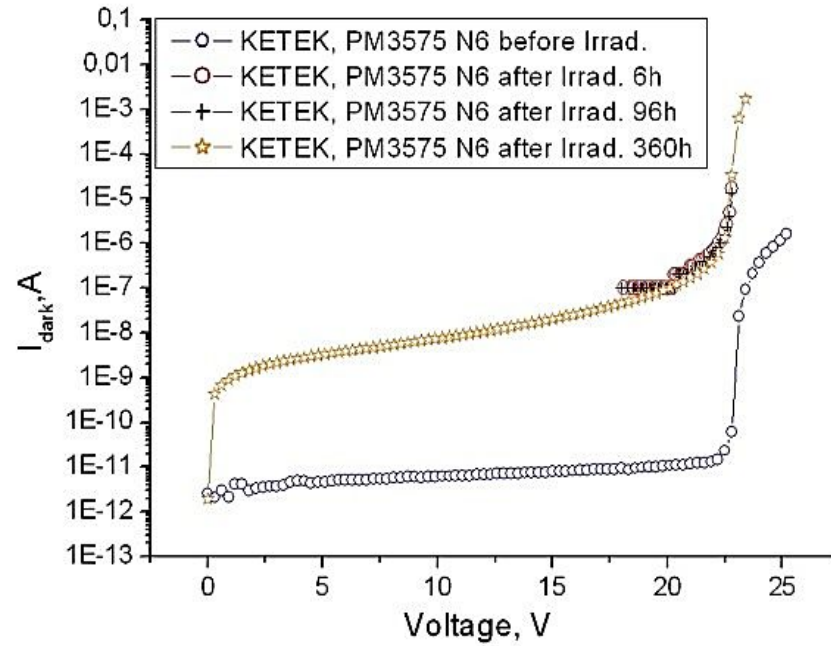
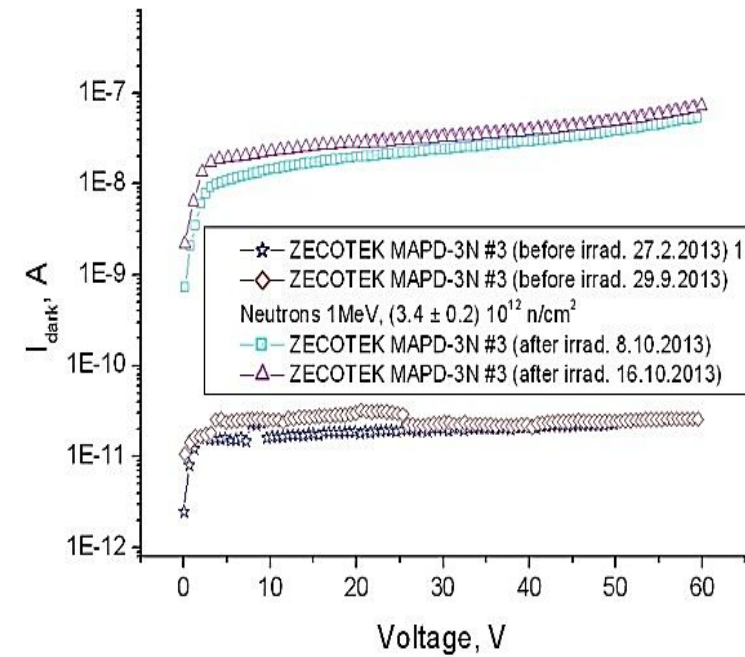


Результаты испытаний  
Ketek

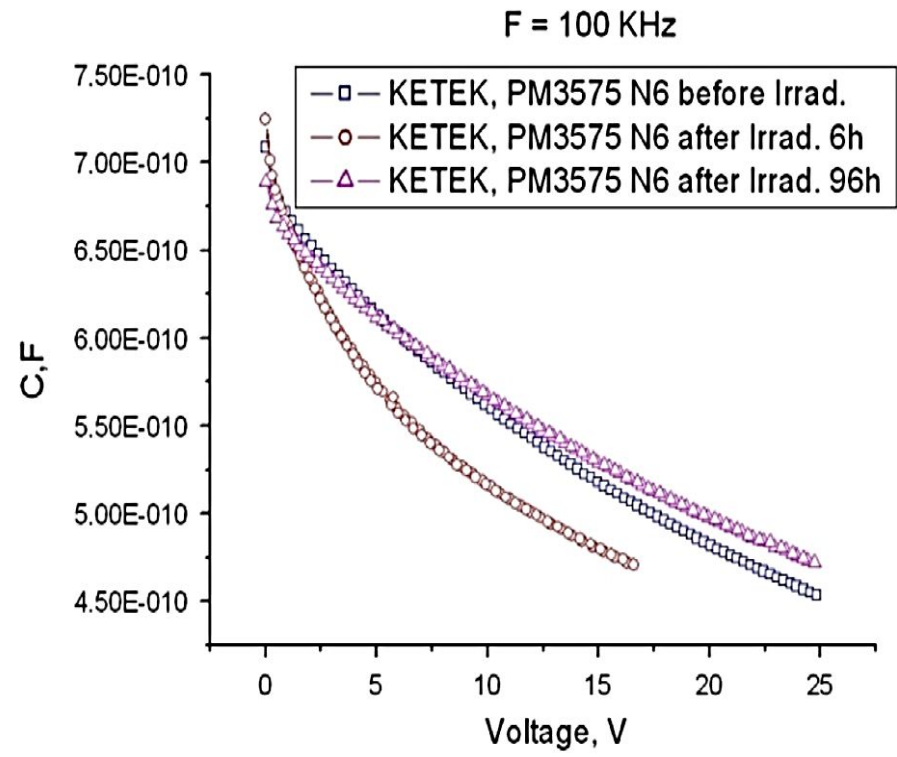
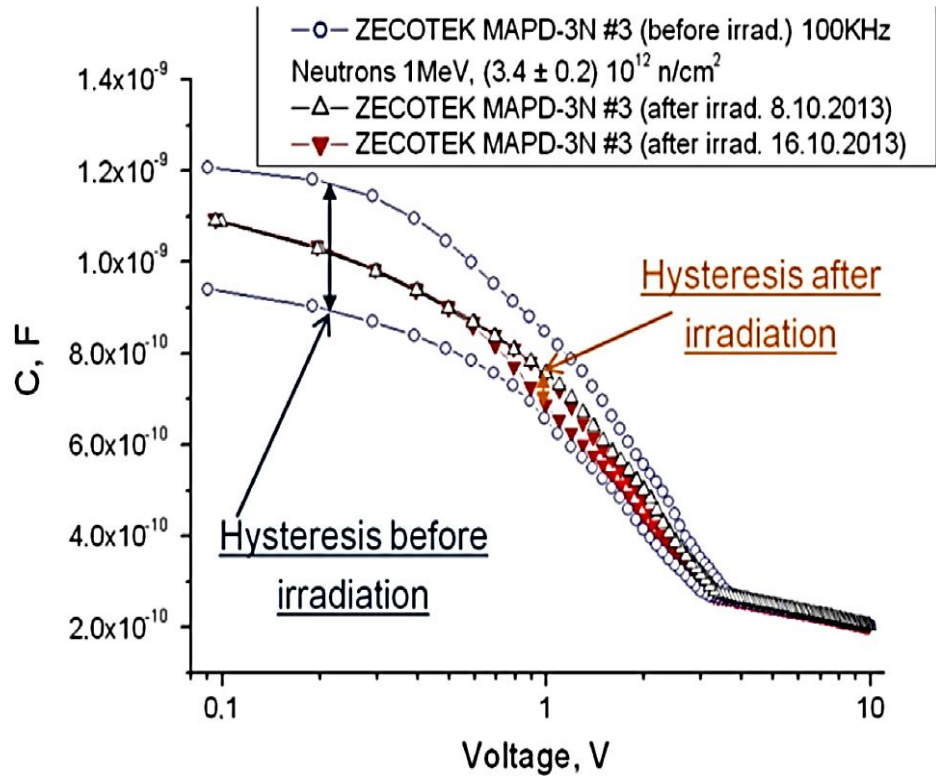


Результаты испытаний  
Hamamatsu

# Характеристики (I-V) до и после облучения



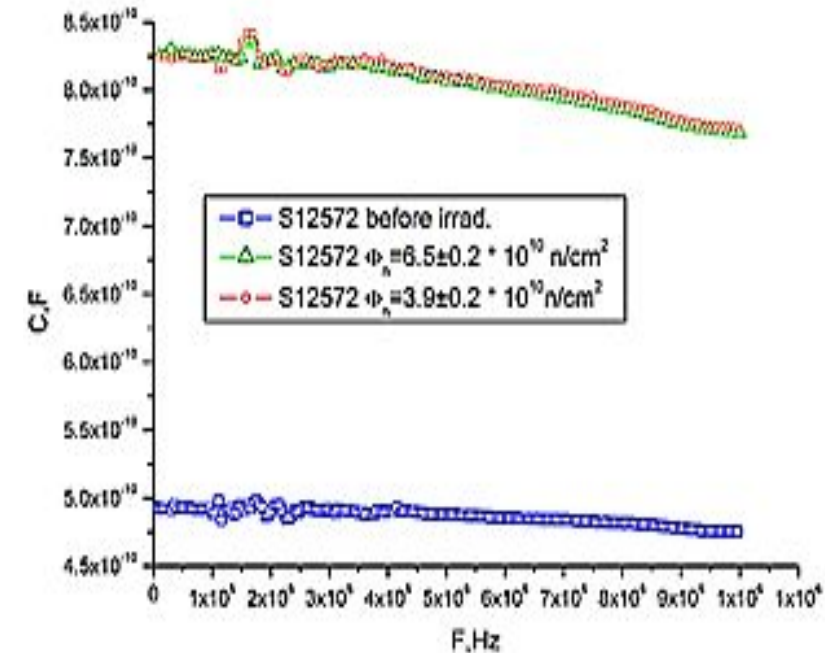
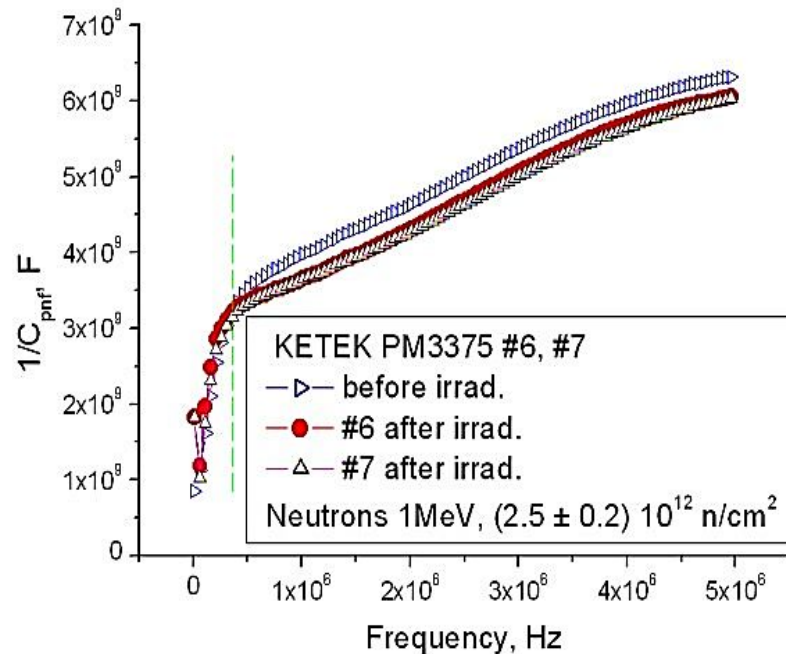
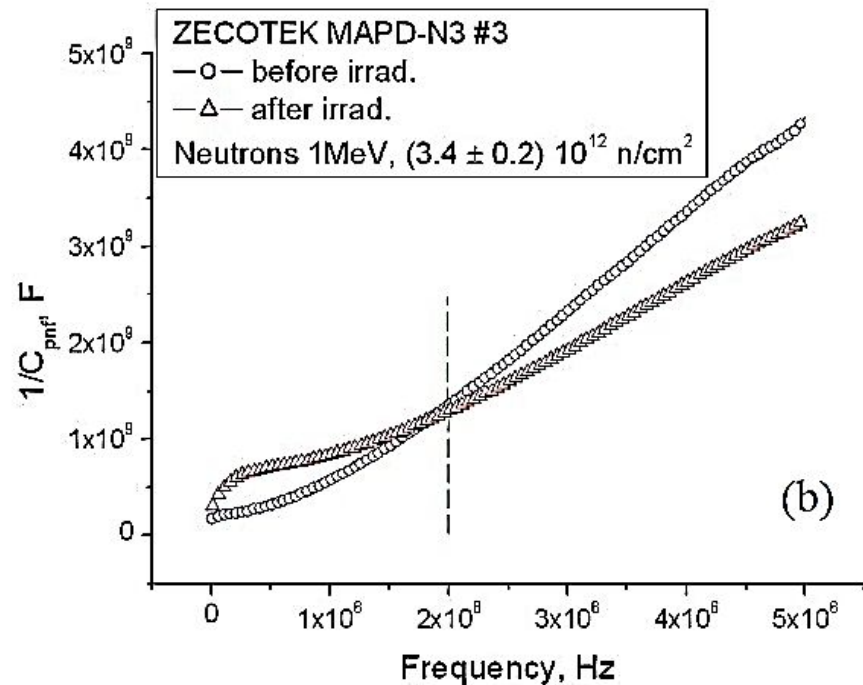
# Характеристики (C-V) до и после облучения



# Особенности анализа частотной характеристики

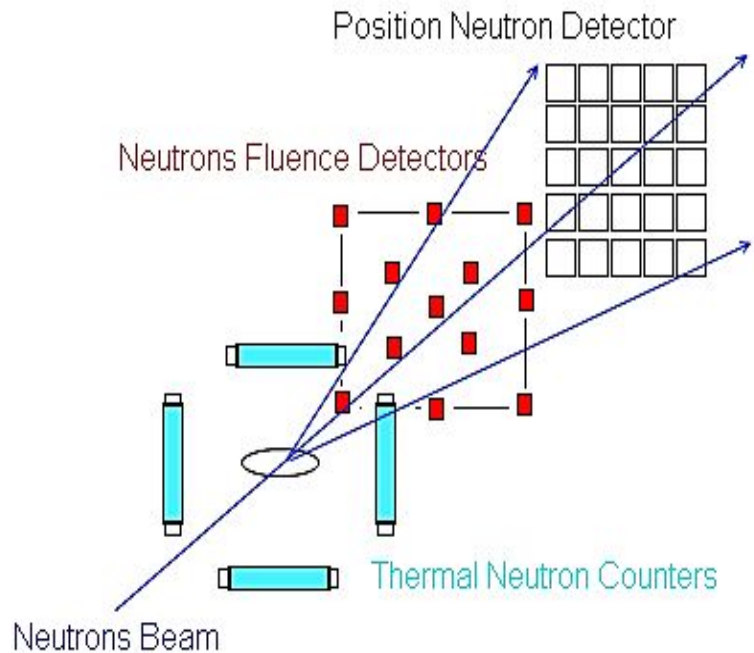
$$\frac{\partial \Delta n}{\partial t} = \frac{1}{e} \cdot \frac{\partial J_n}{\partial x} + \frac{\Delta n}{\tau} \quad (1)$$

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



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)

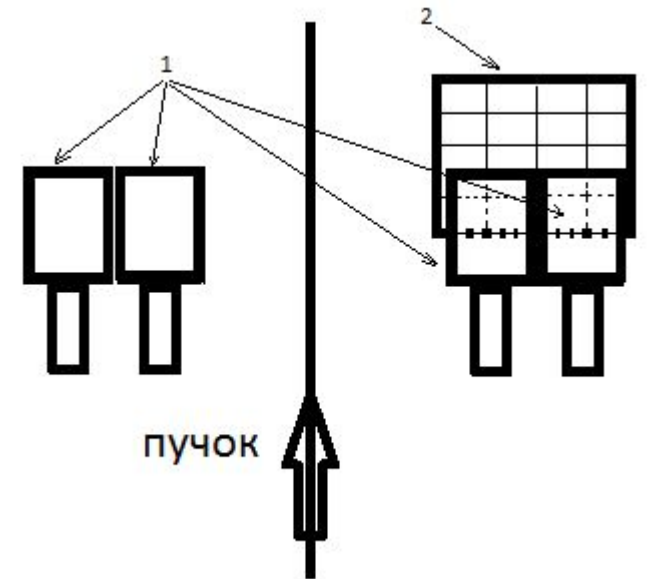
□ детекторе визуализации потока нейтронов

Position Neutron Detector (PND)

# 16-канальный прототип детектора



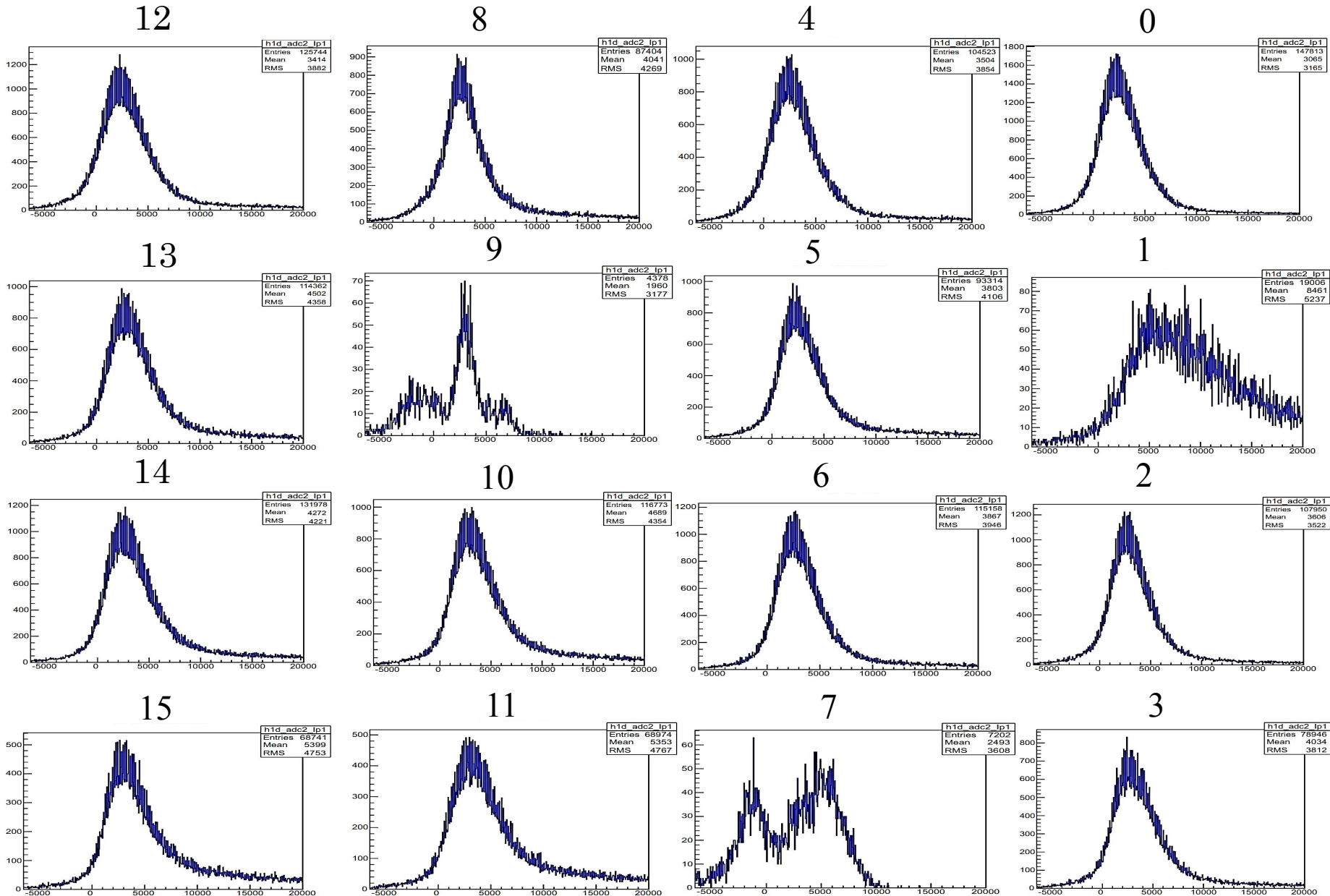
SiPM Ketek (PM3350), Gain~ $10E^6$ , 50um/cell



1 мониторы светимости  
2 прототип

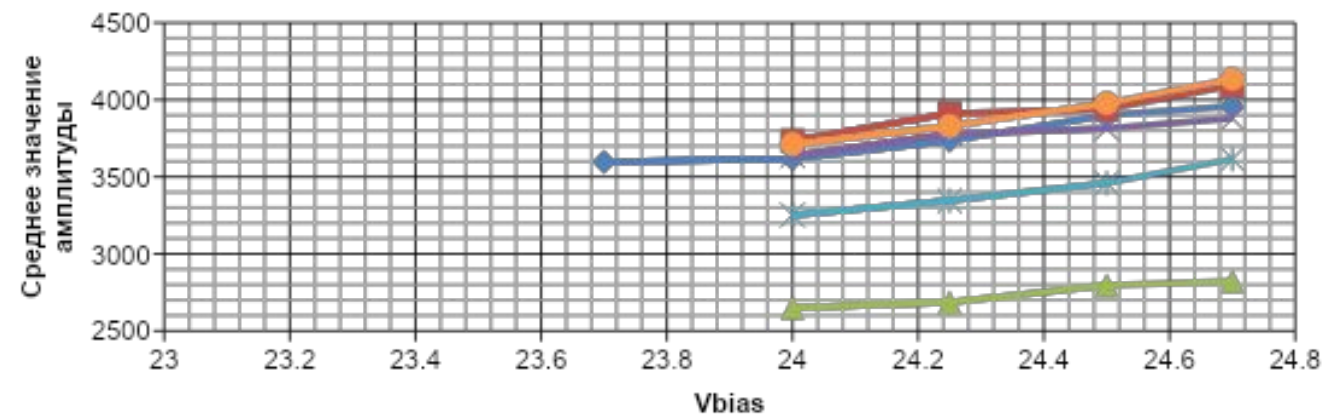
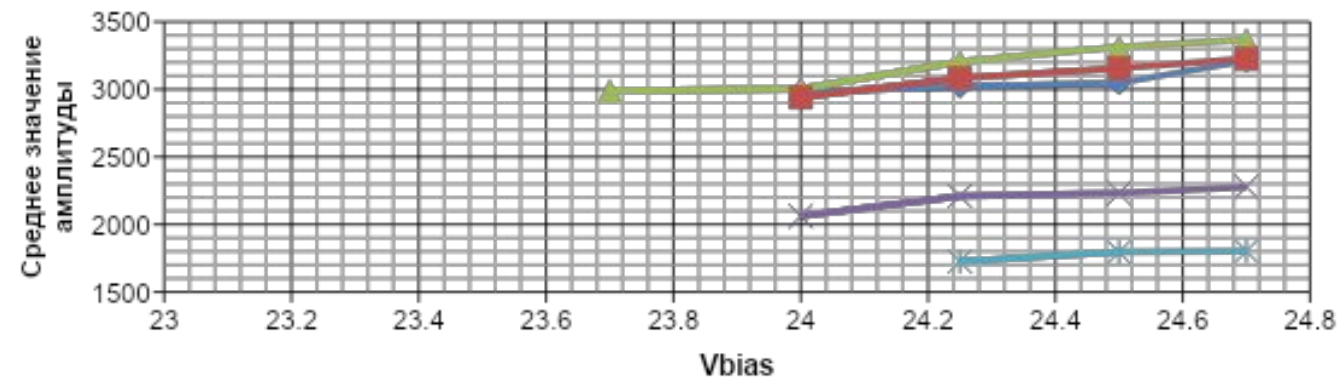
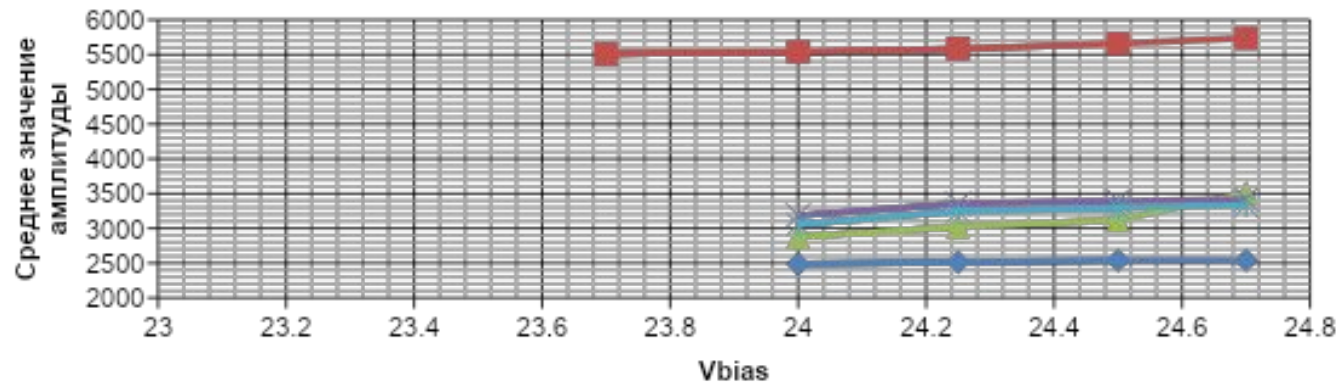
# Вид амплитудного спектра

$V_{\text{bias}} = 24,25\text{В}$





# Поведение амплитудных характеристик



# Заключение

Были выполнены поставленные задачи.

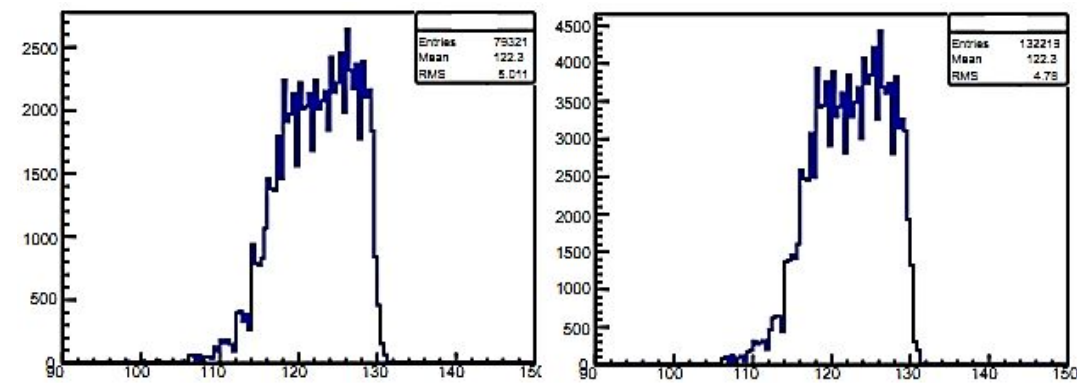
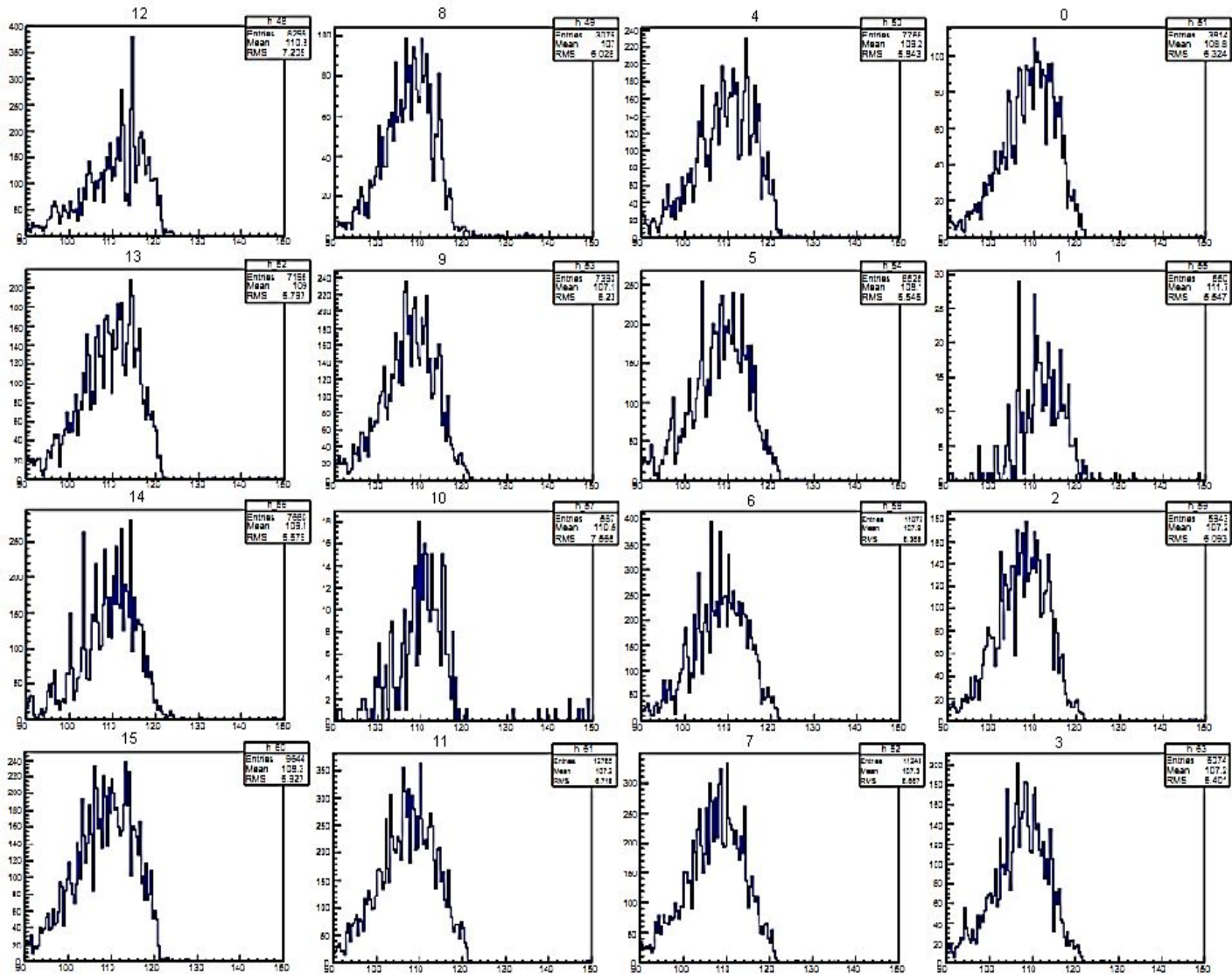
Изучение радиационных эффектов и характеристик SiPM показывает, что уровень шума в значительной степени зависит от технологии производства, а также от наличия дефектов в кремнии. После облучения было обнаружено множество различных эффектов, в основном все они связаны с перекомпенсацией полупроводникового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

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)

