

# Температурная зависимость чувствительности кремниевых фотоумножителей в режиме пофотонной регистрации ультрафиолетового излучения

---

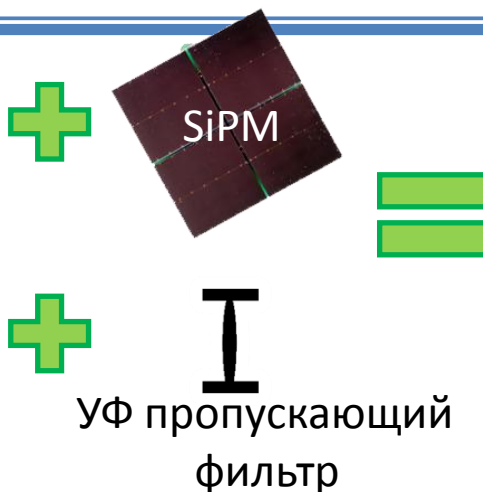
А.А. Богданов, Ю.В. Тубольцев, Ю.В. Чичагов, Е.Е. Холупенко,  
А.М. Красильщиков  
*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН*

e-mail: [Alexander.A.Bogdanov@mail.ioffe.ru](mailto:Alexander.A.Bogdanov@mail.ioffe.ru)

Skype: dkflsrj1

ВККЛ-2020, Москва, Россия, 28.09-02.10 2020

# ВВЕДЕНИЕ



- Увеличение рабочего времени телескопа при Луне и в сумерках
- Улучшение гамма-адронной сепарации в УФ диапазоне

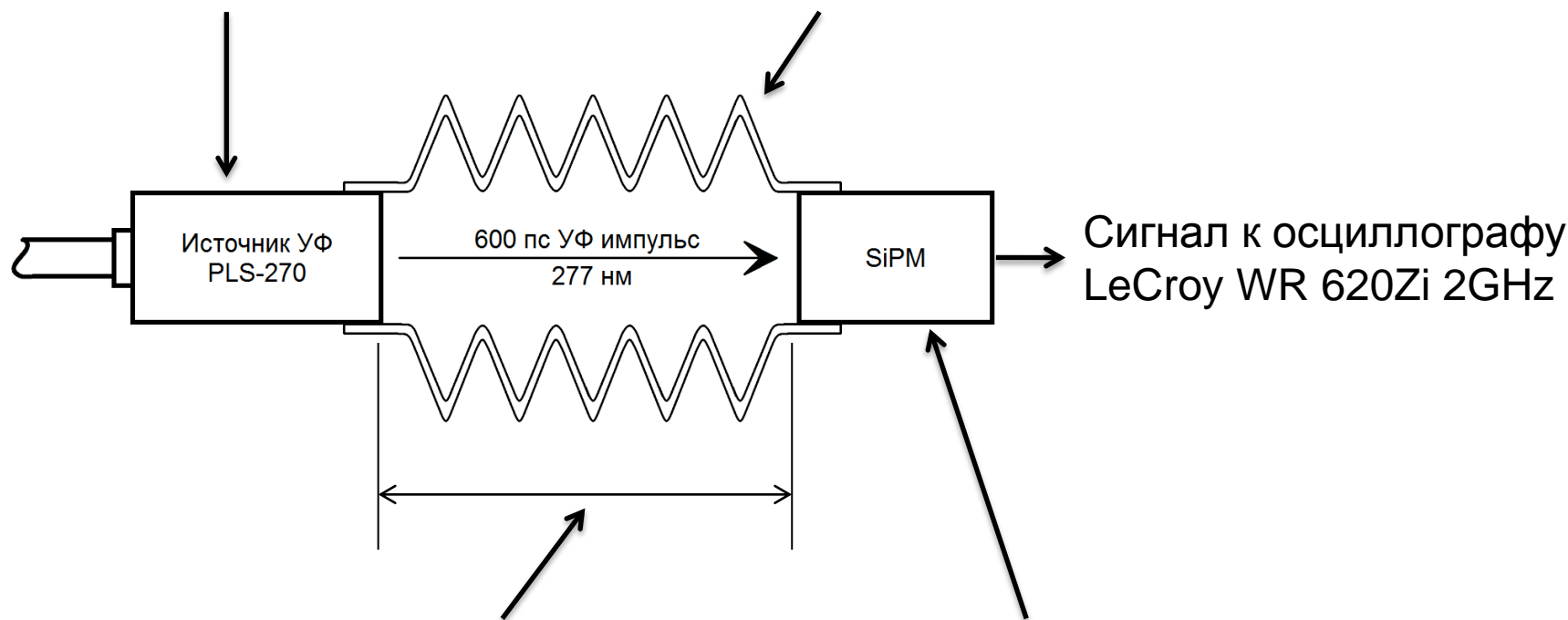
В ФТИ им. А.Ф. Иоффе разрабатывается новый кластер для камеры телескопа TAIGA-IACT на базе SiPM OnSemi MicroFJ-60035 чувствительных к ультрафиолетовому (УФ) излучению. Планируется создать кластер из 28 пикселей, каждый пиксель которого состоит из 4 SiPM.

Цель данной работы: провести измерения эффективности регистрации фотонов (PDE) и скорости темнового счёта выбранных SiPM в области рабочих температур в камере телескопа (12 – 15 °С) и при комнатной температуре.

# Испытательный стенд

Источник УФ-излучения  
PicoQuant PLS-270

Чёрная резиновая гофра  
для светоизоляции



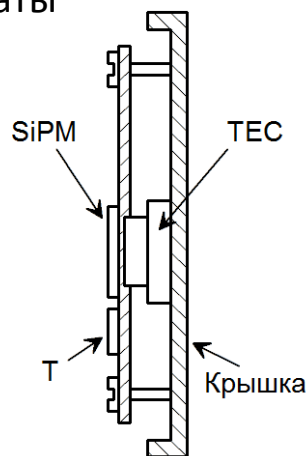
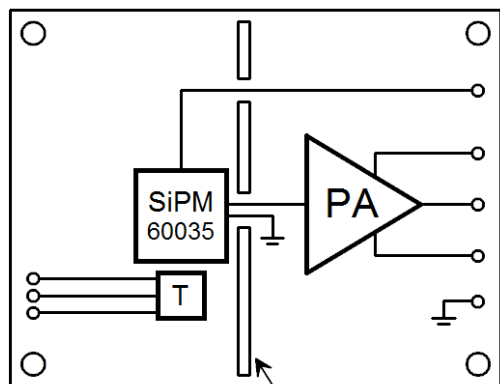
Расстояние между излучателем и  
поверхностью детектирования  
(фиксированное)

Один из двух детектирующих блоков:

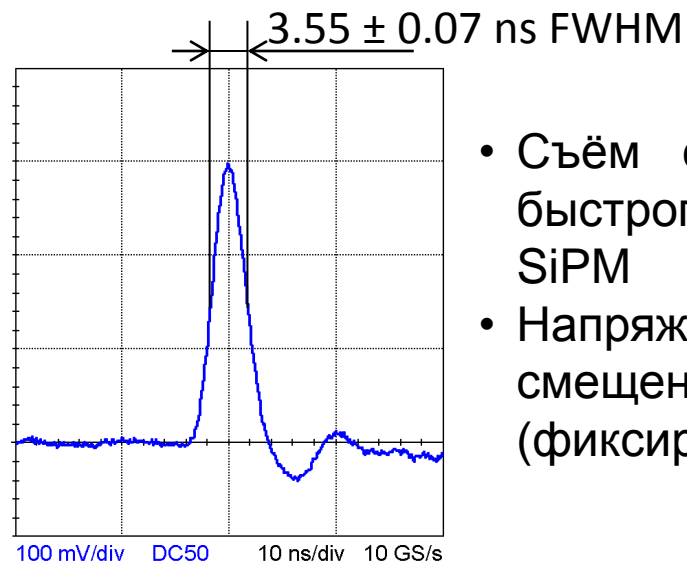
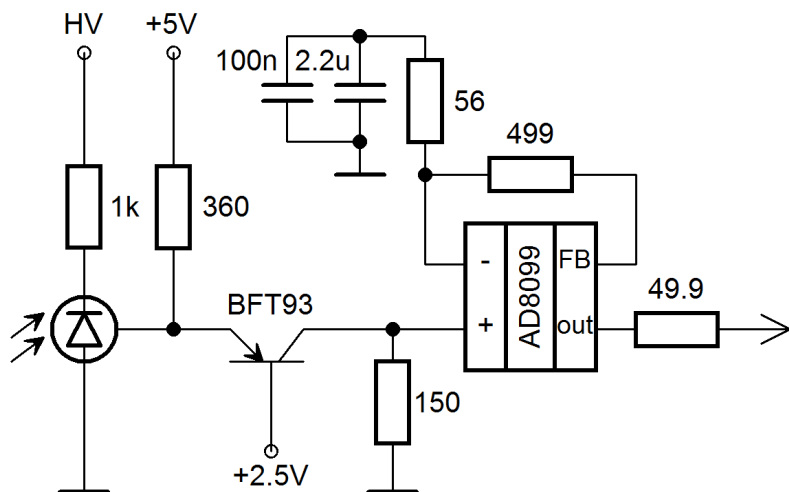
- OnSemi/SensL MicroFJ-60035
- Hamamatsu VUV4 S13371-6050CQ-02

# Детекторный блок с MicroFJ-60035

Упрощённый вид печатной платы



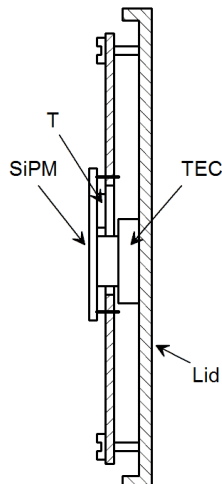
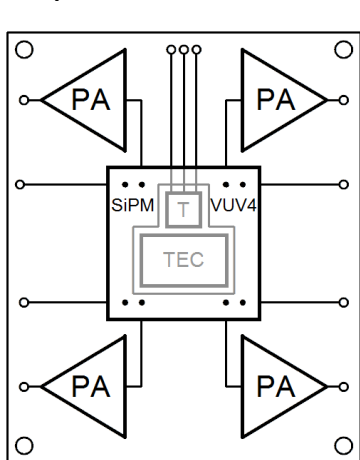
- SiPM отделён от предусилителя (PA) прорезями на плате
- Температурный датчик (T) расположен рядом с SiPM
- Элемент Пельтье (TEC) охлаждает плату под SiPM сбрасывая тепло на алюминиевую крышку корпуса



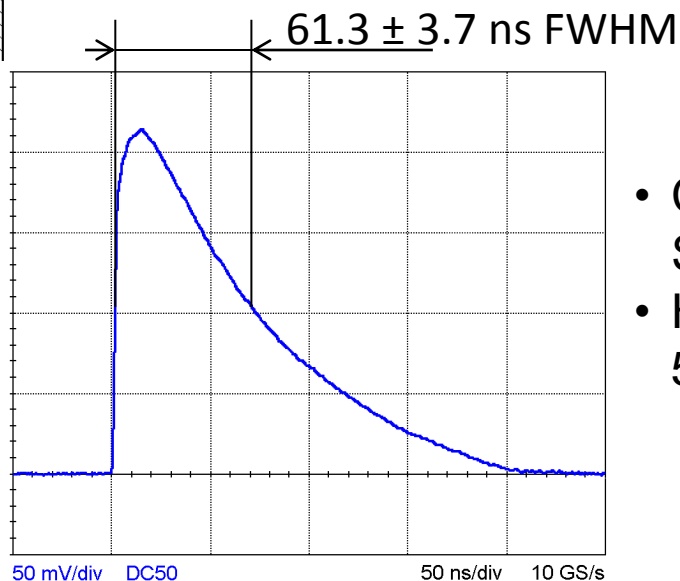
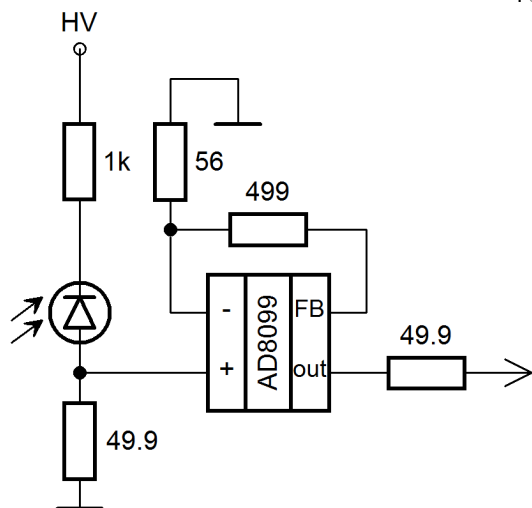
- Съём сигнала с быстрого выхода SiPM
- Напряжение смещения 29.5 V (фиксированное)

# Детекторный блок с Hamamatsu VUV4

Упрощённый вид печатной платы

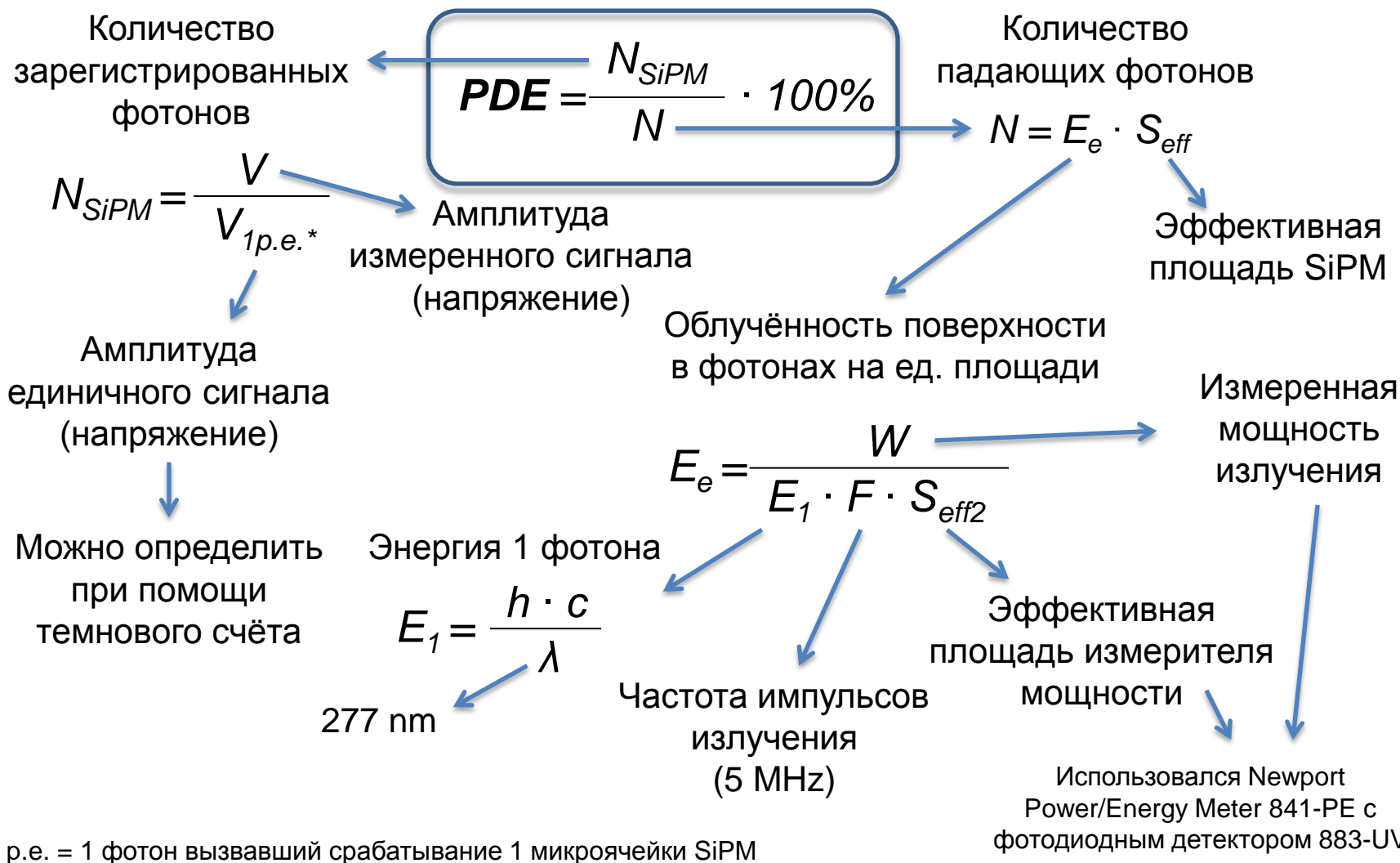


- 4 SiPM на керамической подложке
- 4 предусилителя (PA) на плате
- Температурный датчик (T) расположен под SiPM и упирается в его заднюю стенку
- Элемент Пельтье (TEC) охлаждает заднюю керамическую стенку SiPM и сбрасывает тепло на алюминиевую крышку корпуса



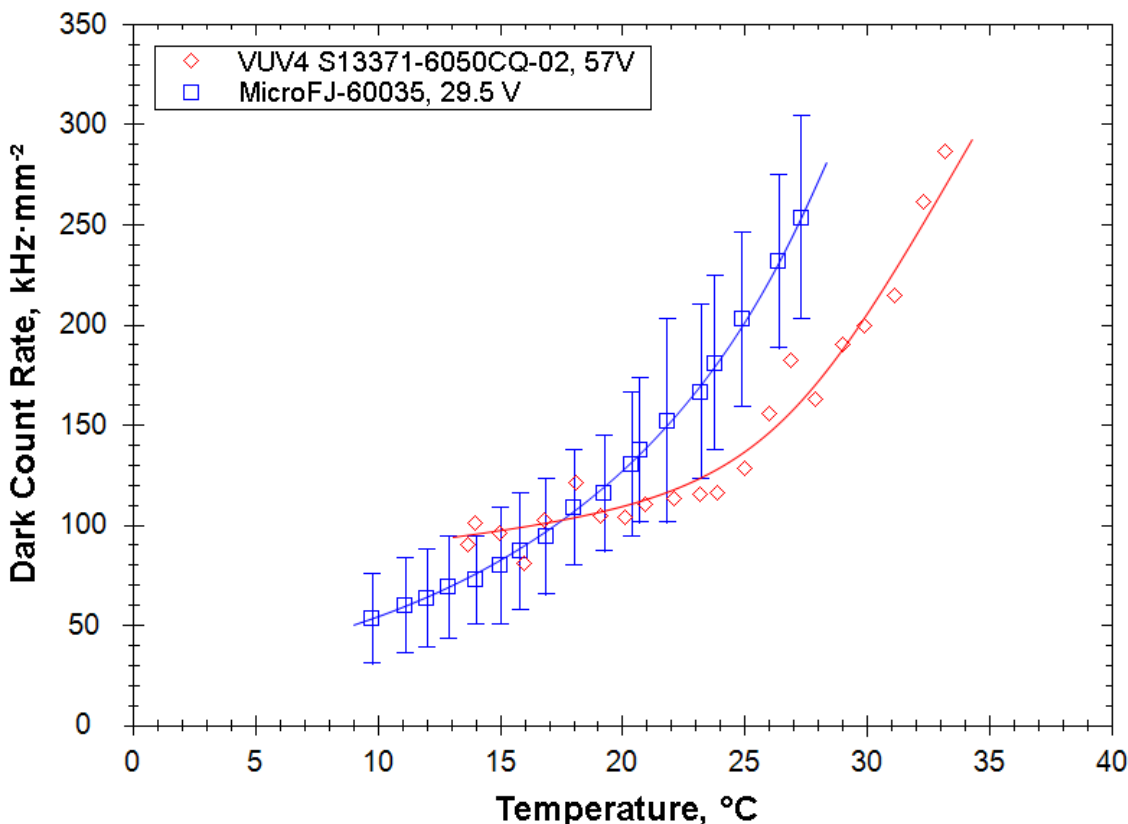
- Съём сигнала с анода SiPM
- Напряжение смещения 57 V (фиксированное)

# Метод вычисления PDE



\*1 p.e. = 1 фотон вызвавший срабатывание 1 микроячейки SiPM

# Скорость темнового счёта



## MicroFJ при 21 °C:

- Измерено:  $140 \pm 40$  kHz·mm<sup>-2</sup>
- По PDF\*: 120 kHz·mm<sup>-2</sup>

## VUV4 при 25 °C:

- Измерено: 128 kHz·mm<sup>-2</sup>
- По PDF\*\*: 190 kHz·mm<sup>-2</sup>

## MicroFJ при 12 – 15 °C:

- Измерено:  $71 \pm 24$  kHz·mm<sup>-2</sup>  
или  $2.0 \pm 0.7$  MHz/детектор

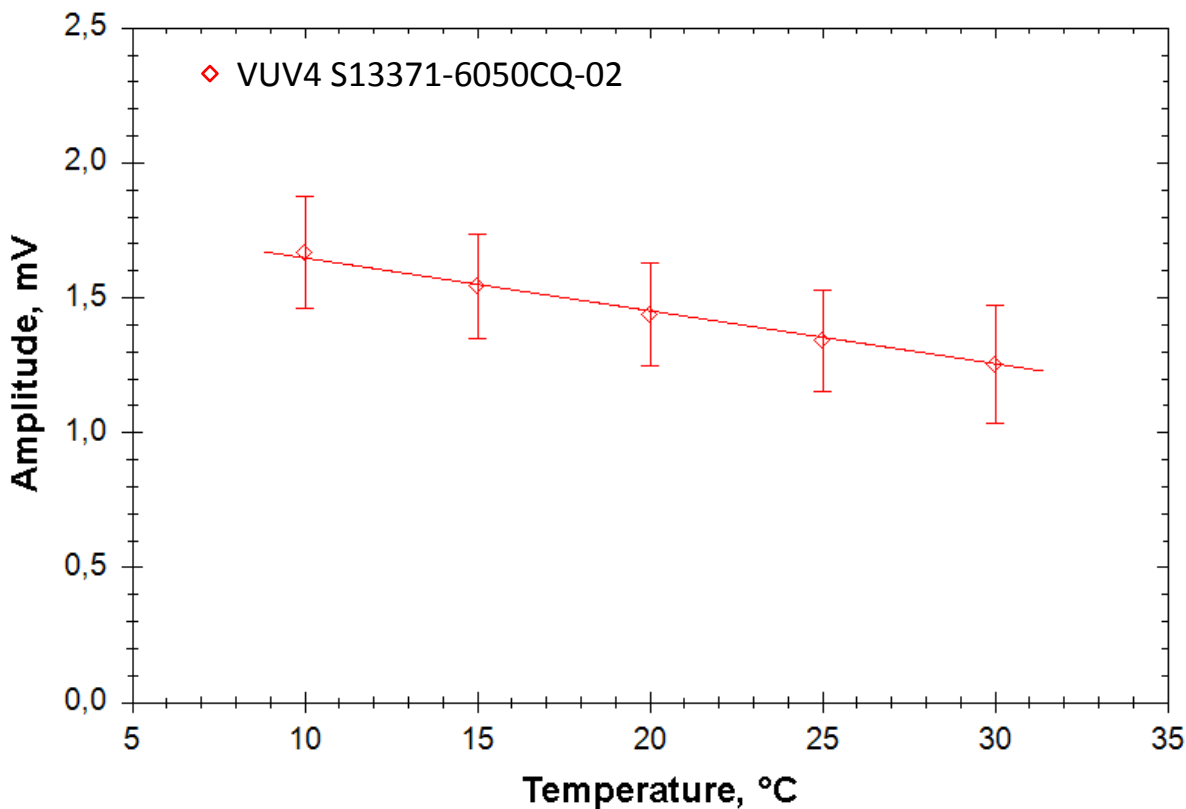
## 4x MicroFJ при 12 – 15 °C:

- около 7.8 MHz/пиксель

\* <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MICROJ-SERIES-D.PDF>

\*\* [https://hamamatsu.su/files/uploads/pdf/3\\_mppc/s13370\\_vuv4-mppc\\_b\(1\).pdf](https://hamamatsu.su/files/uploads/pdf/3_mppc/s13370_vuv4-mppc_b(1).pdf)

# Единичный сигнал



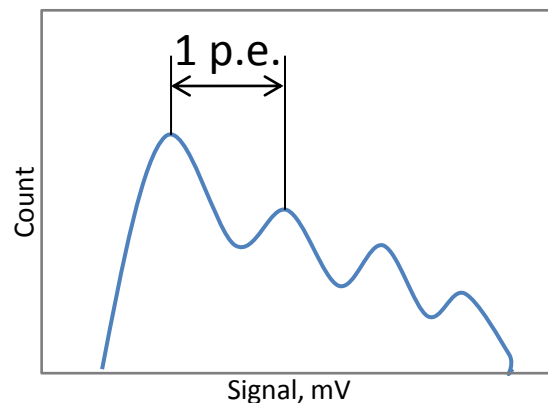
## MicroFJ:

- $4.4 \pm 0.7$  mV/p.e.
- Стабильный в диапазоне от 10 до 28 °C

## VUV4:

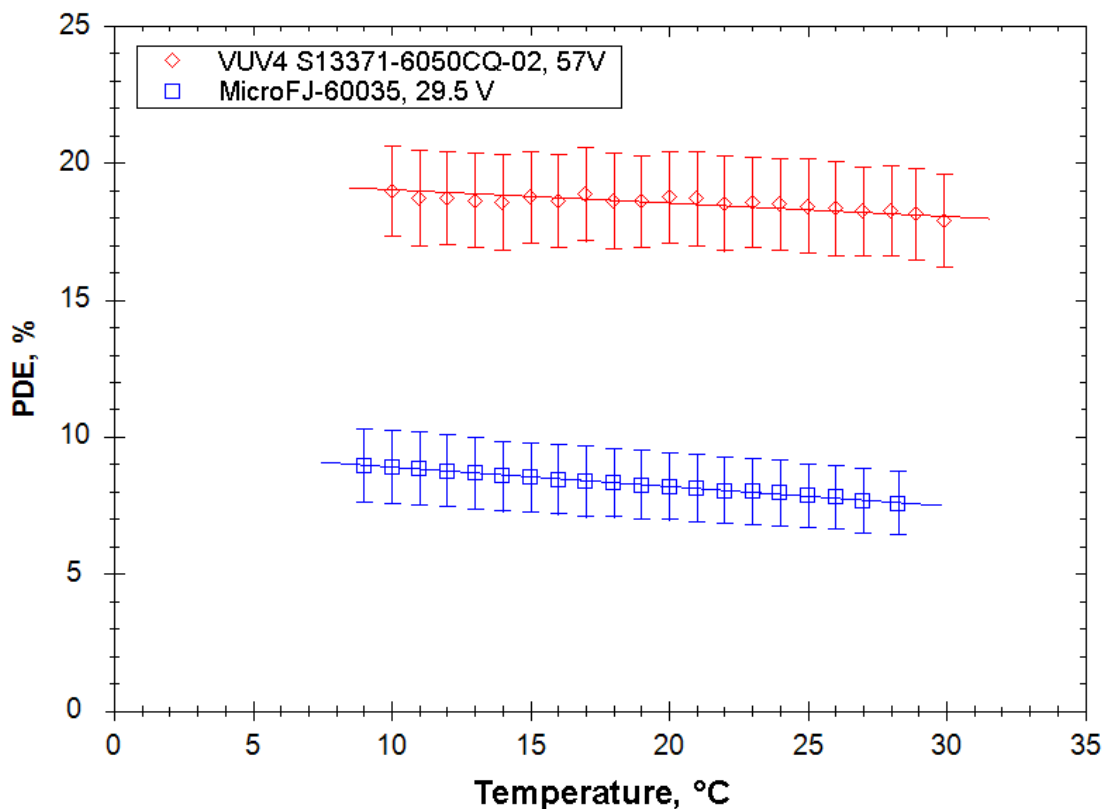
- $1.34 \pm 0.19$  mV/p.e.
- Уменьшается с ростом температуры на  $0.02$  mV/°C в области от 10 до 30 °C

Единичный сигнал (1 p.e.) измерялся как разница между пиком 1 p.e. и 2 p.e. в статистике темнового счёта





# PDE детекторов на 277 nm



## MicroFJ при 21 °C:

- Измерено:  $8.1 \pm 1.2\%$
- По PDF\*: 9%
- Уменьшается на  $0.07\%/^{\circ}\text{C}$  с ростом температуры

## VUV4 при 25 °C:

- Измерено:  $17.7 \pm 1.4\%$
- По PDF\*\*: 18%
- Уменьшается на  $0.04\%/^{\circ}\text{C}$  с ростом температуры

## MicroFJ при 12 – 15 °C:

- Измерено:  $8.6 \pm 1.3\%$

\* <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MICROJ-SERIES-D.PDF>

\*\* [https://hamamatsu.su/files/uploads/pdf/3\\_mppc/s13370\\_vuv4-mppc\\_b\(1\).pdf](https://hamamatsu.su/files/uploads/pdf/3_mppc/s13370_vuv4-mppc_b(1).pdf)

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

Проведённые измерения позволяют утверждать:

- ✓ Оба исследованных детектора обладают характеристиками заявленными их производителями.
- ✓ Ожидаемая эффективность регистрации (PDE) УФ излучения (277 nm) при рабочей температуре внутри камеры телескопа (12 – 15 °C) составит  $8.6 \pm 1.3 \%$  при смещении 29.5 V.
- ✓ Ожидаемая скорость темнового счёта на один пиксель (4 SiPM) составит примерно 7.8 MHz.
- ✓ SiPM VUV4 перспективен в качестве калибровочного устройства.

В дальнейшем планируется проведение испытаний первых прототипов пикселей с 4-мя SiPM MicroFJ-60035 и получение сигнала с помощью микросхем аналоговой памяти DRS4.

---

---

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

---

---

**Финансирование работы**

Работа выполнена в рамках проекта РФФ 19-72-20045.

*А.А. Богданов и др., ВККЛ-2020, Москва, Россия, 28.09-02.10 2020*