

ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ КРЕМНИЕВЫХ ФЭУ ДЛЯ МАКЕТА ПЭТ НА СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРАХ

Научный руководитель
ассистент каф.40

Дубинин Ф. А.

Работу выполнила

Бойко Н. С.

Москва
2023 г

Цели и задачи

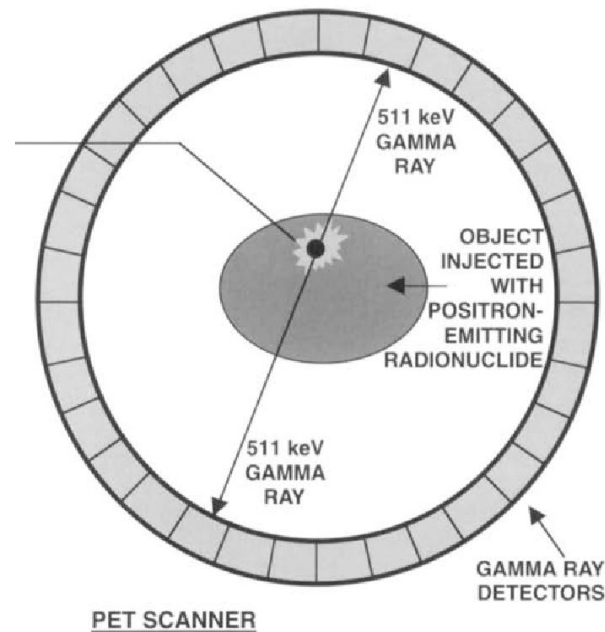
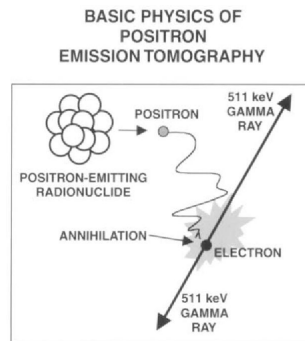
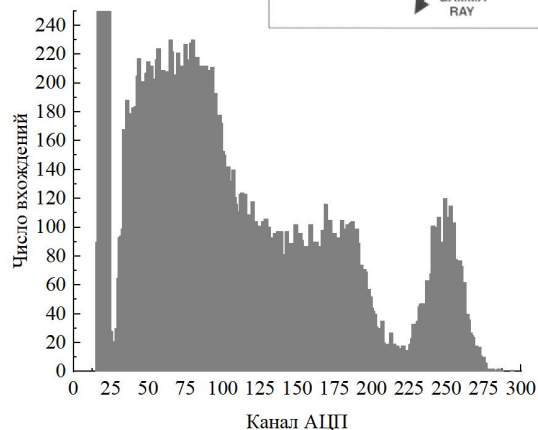
Цель Определить рабочее напряжение для 32 Si-ФЭУ.

- Задачи**
1. Получить и проанализировать одноэлектронные спектры для 32 Si-ФЭУ;
 2. Найти рабочие точки для всех датчиков;
 3. Определить общее рабочее напряжение.

Характеристики детектора для ПЭТ

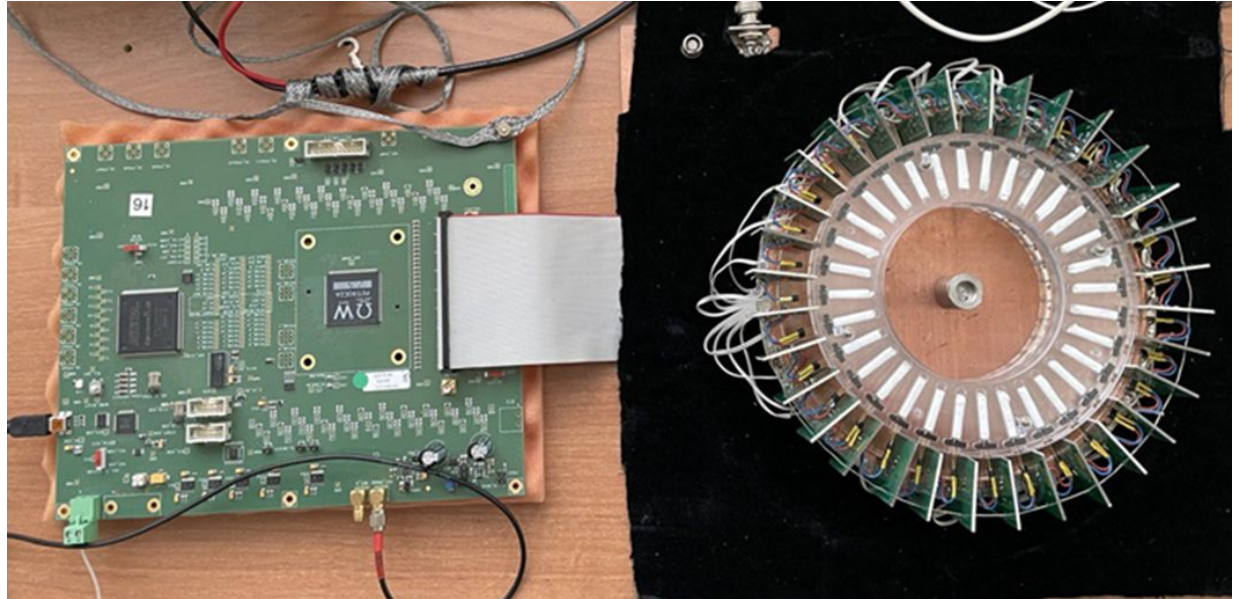
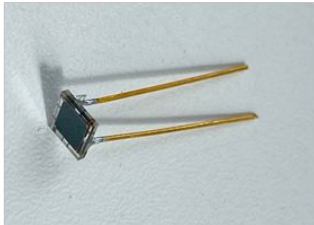
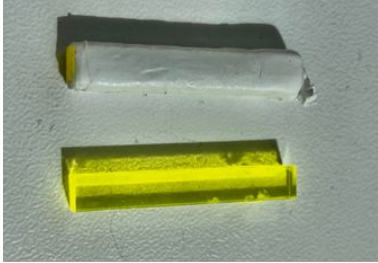
Временное разрешение - окно совпадений (10 нс)

Энергетическое разрешение - выставление порога перед фотопиком (511 кэВ)

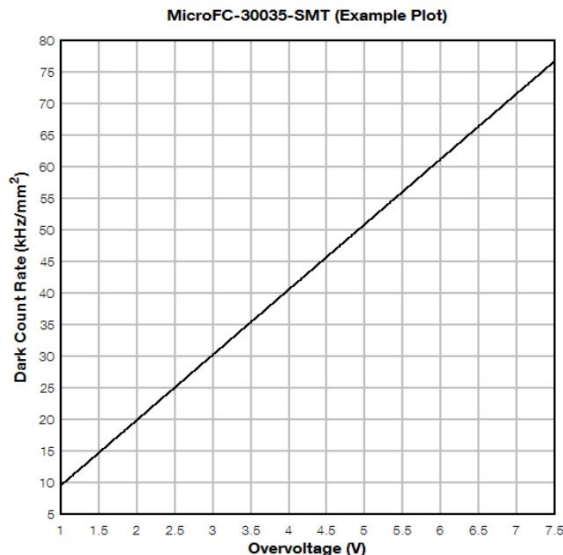
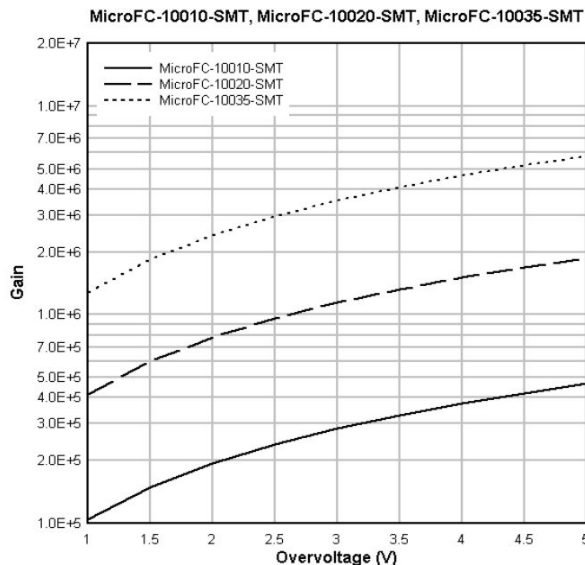


Макет позитронно-эмиссионного томографа

- Неорганические сцинтилляторы GAGG 3x3x20 мм
- SiPM SensL FC30035
- Кольцо для позиционирования детекторов
- Кольцо для передней электроники (платы питания)
- Анализатор Petiros2A



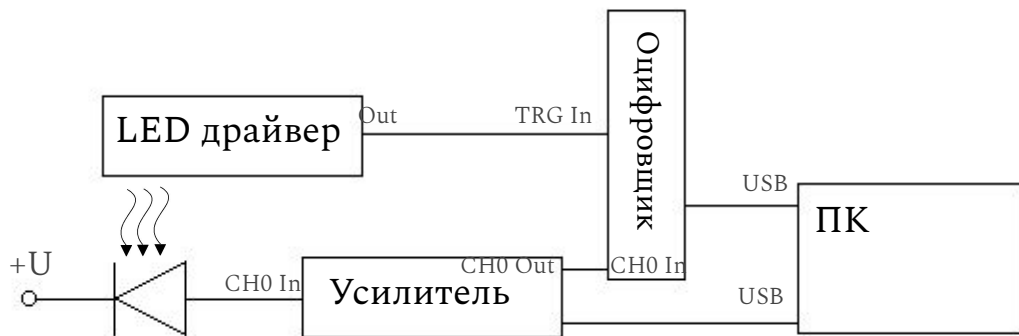
Зависимость характеристик Si-ФЭУ от напряжения



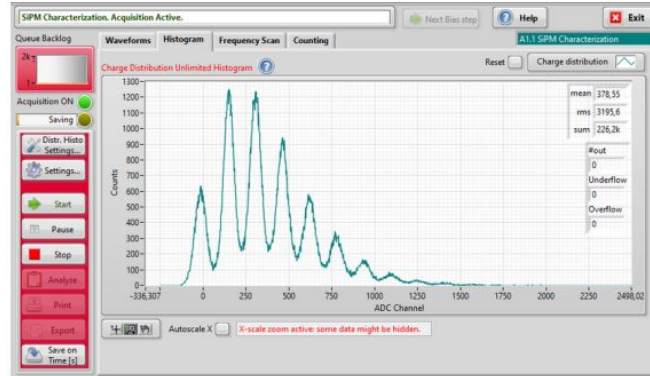
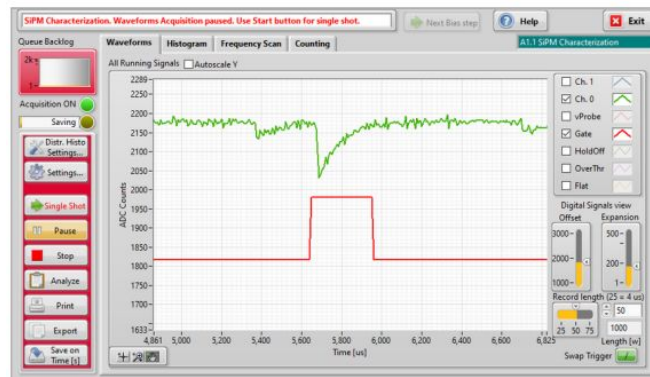
- С ростом напряжения увеличиваются амплитуда сигнала и шумы
- Существует напряжение при котором соотношение сигнал-шум наибольшее - **рабочая точка**

- Эффективность регистрации фотонов
- Коэффициент усиления
- Шумы
- Оптическая связь и послеимпульсы
- зависят от приложенного напряжения.

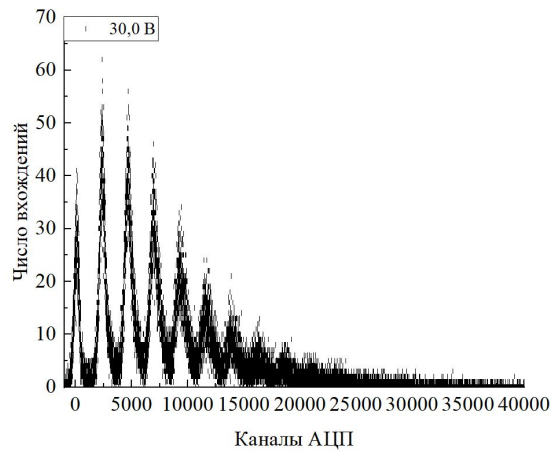
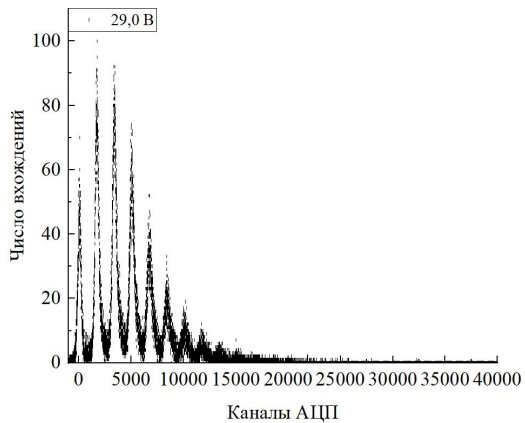
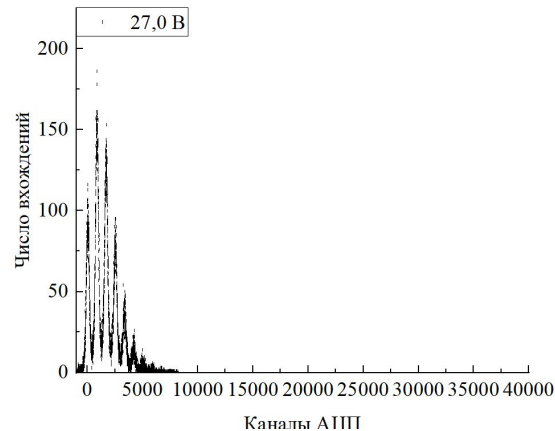
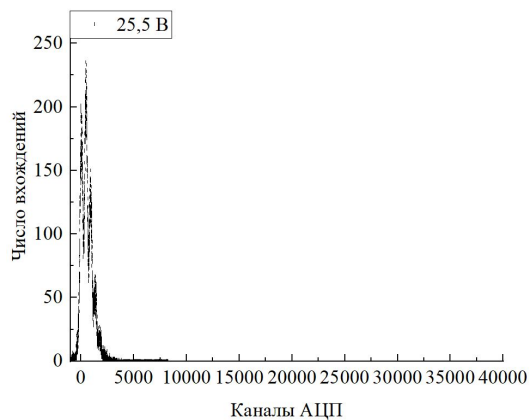
Схема установки и одноэлектронные спектры



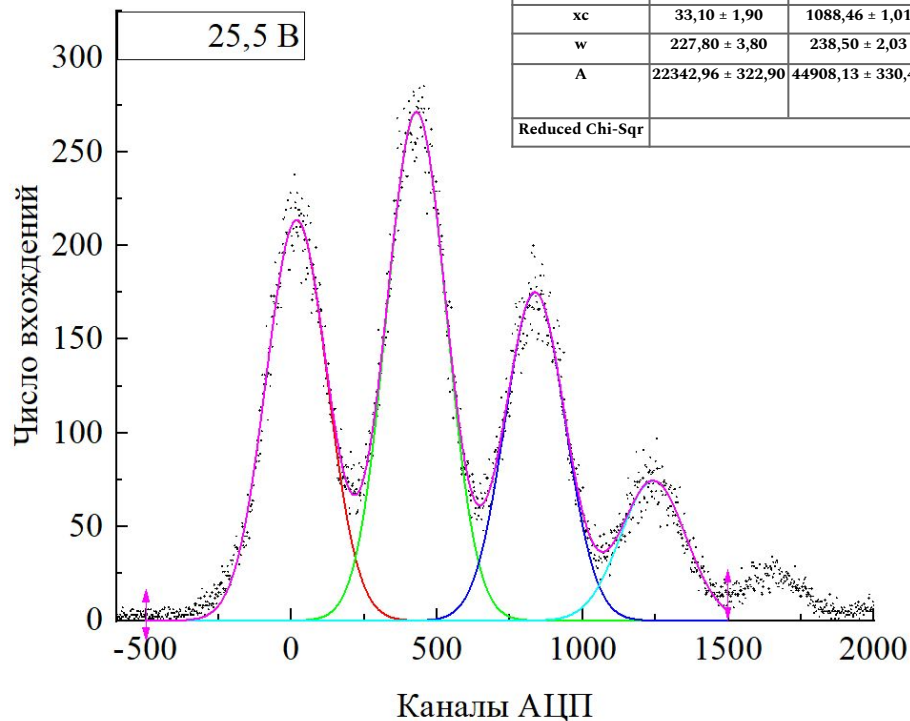
- **LED драйвер** - генератор импульсов + светодиод (длительность импульса 8 нс)
- Зарядочувствительный **усилитель** (коэф. усил. 100)
- **Оцифровщик** формы сигнала/цифровой осциллограф



Примеры одноэлектронных спектров



Метод расчета рабочей точки



Model	Gauss			
Equation	$y=y0 + (A/(w*\sqrt{\pi/2}))*\exp(-2*((x-xc)/w)^2)$			
Plot	Peak1(B)	Peak2(B)	Peak3(B)	Peak4(B)
xc	33,10 ± 1,90	1088,46 ± 1,01	2134,57 ± 1,06	3184,96 ± 1,62
w	227,80 ± 3,80	238,50 ± 2,03	258,09 ± 2,11	290,96 ± 3,24
A	22342,96 ± 322,90	44908,13 ± 330,40	48461,81 ± 343,70	37840,84 ± 364,93
Reduced Chi-Sqr	86,08			

$$R = \frac{\Delta_{pp}}{\sigma_{gain}}$$

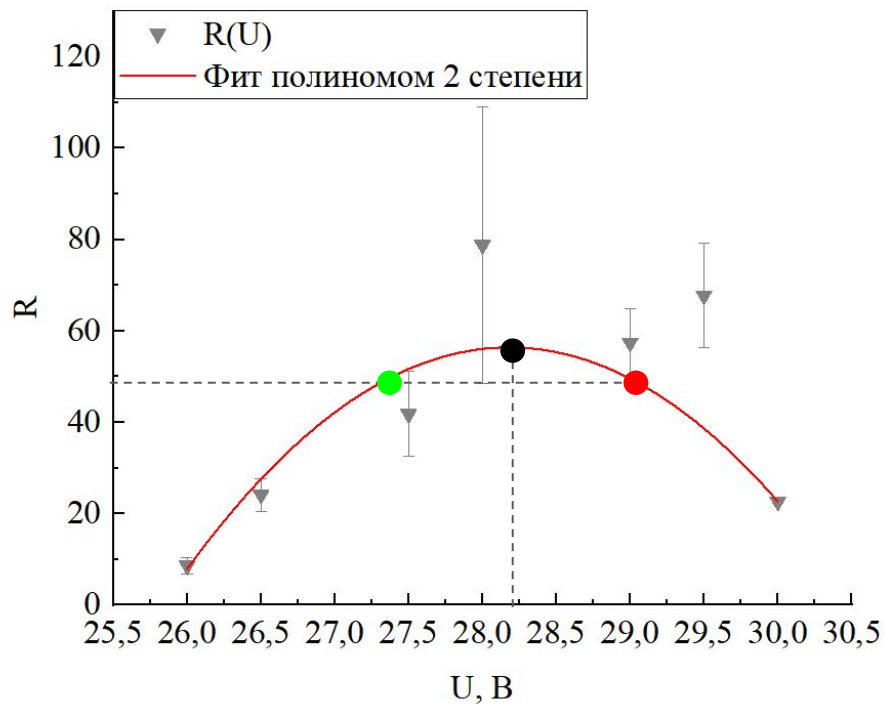
$$\sigma_{gain} = (\sigma_1^2 - \sigma_0^2)^{1/2}$$



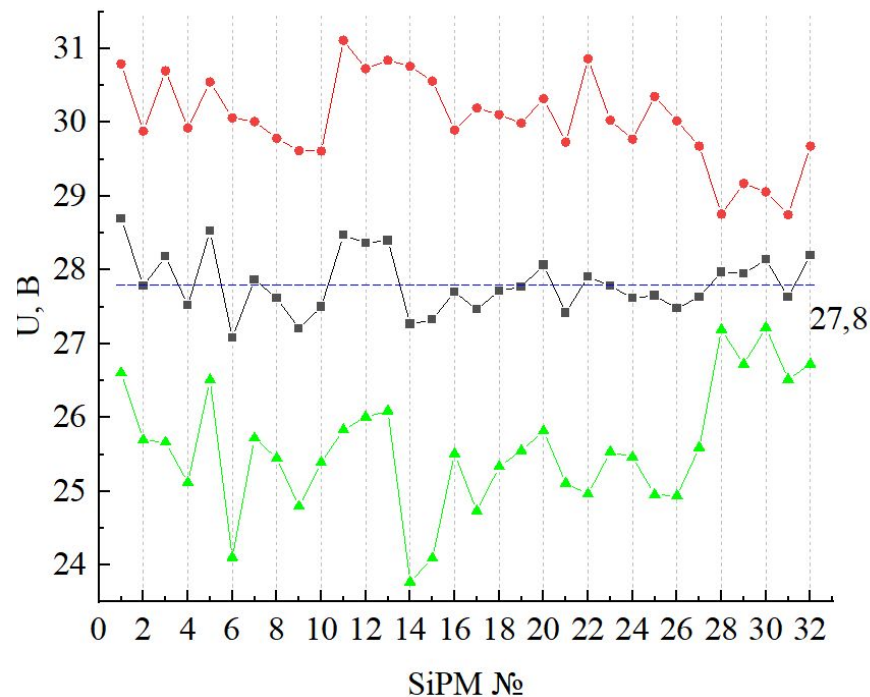
$$\sigma_{gain} = (\sigma_3^2 - \sigma_0^2)^{1/2}$$

Δ_{pp} - расстояние между пиками

Результаты



Рабочее напряжение детекторов: $27,80 \pm 0,07$ V



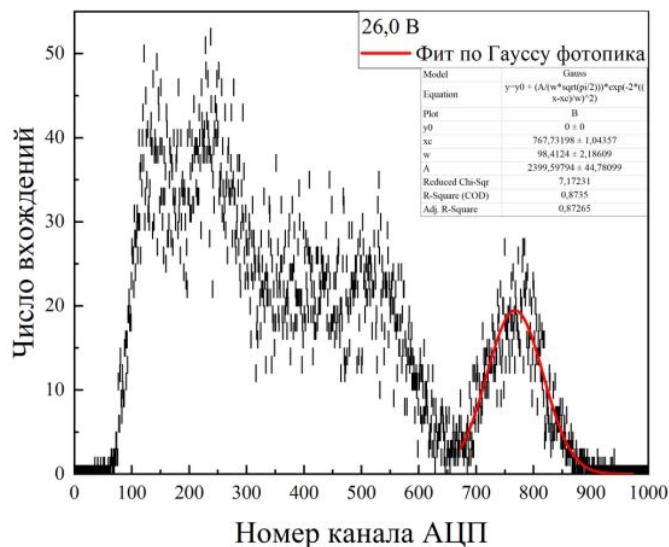
На рис. отражены измеренные рабочие точки для 32 Si-ФЭУ, а также значения отклонения от рабочего напряжения на 10% с стороны уменьшения и увеличения напряжений. Синим построено усредненное значение напряжения.

Заключение

- Собрана экспериментальная установка для измерения одноэлектронных спектров (пред. сем.);
- Получены одноэлектронные спектры для 32 Si-ФЭУ на различных напряжениях (в пределах 25,5 - 30,0 В, с шагом 0,5 В);
- Были **найжены рабочие точки для 32 Si-ФЭУ**;
- Определено общее рабочее напряжение детекторов **$27,80 \pm 0,07$ В.**

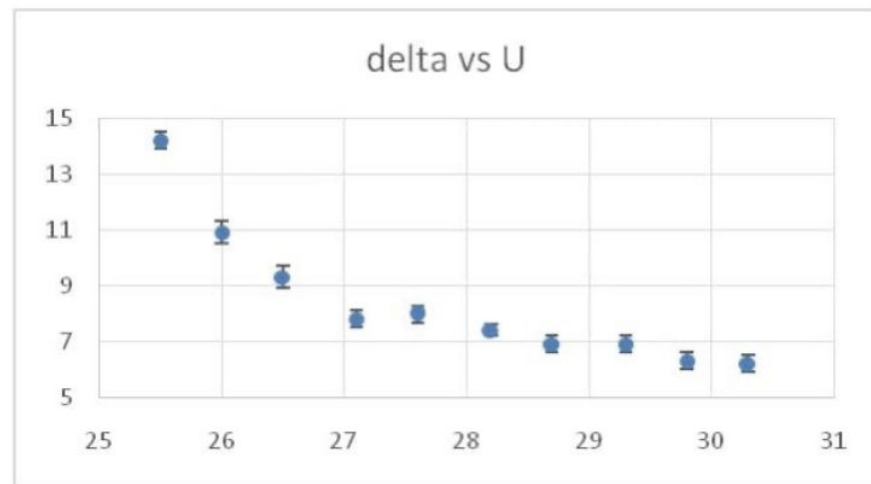
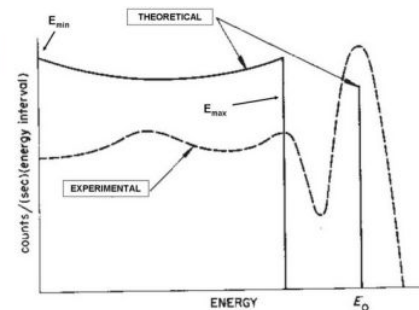
Спасибо за внимание

Ещё один метод расчета рабочей точки



Спектр Cs-173, снятый с Si-ФЭУ. Фотопик фитирован по Гауссу

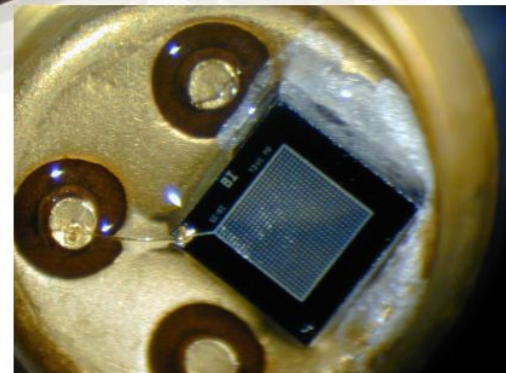
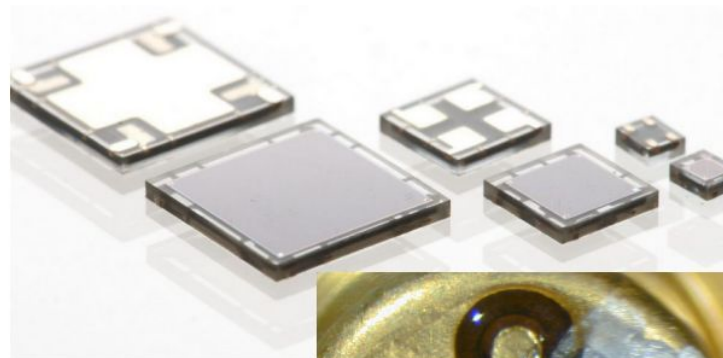
$$\Delta = \frac{FWHM}{Mean}$$



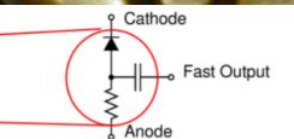
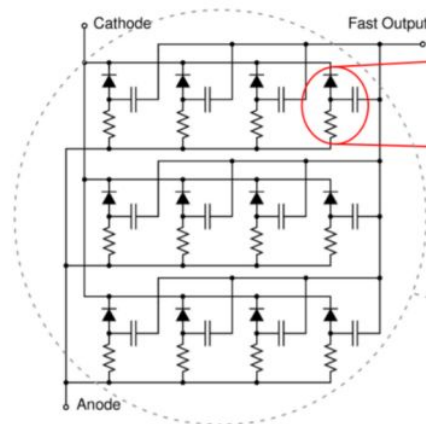
Полученная зависимость разрешения от напряжения

Устройство и основные характеристики Si-ФЭУ

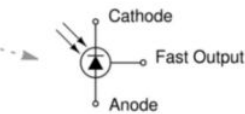
Датчики низкой освещенности серии С от Sensl (на сегодняшний день производятся компанией Onsemi) отличаются лучшим в отрасли наименьшим значением темнового тока в сочетании с высоким PDE.



Размер элемента	Размер ячейки	Параметр	Min.	Тур.	Max	Ед. измерения
3 mm	35μ	Напряжение пробоя (V_{br})	24.2		24.7	V
		Пиковая длина волны (λ_p)		420		нм
		Эффективность регистрации фотонов (PDE)		$31(V_{br}+2.5V)$		%
		Усиление		$3 * 10^6$		
		Скорость темнового счета (DCR)		300	860	кГц

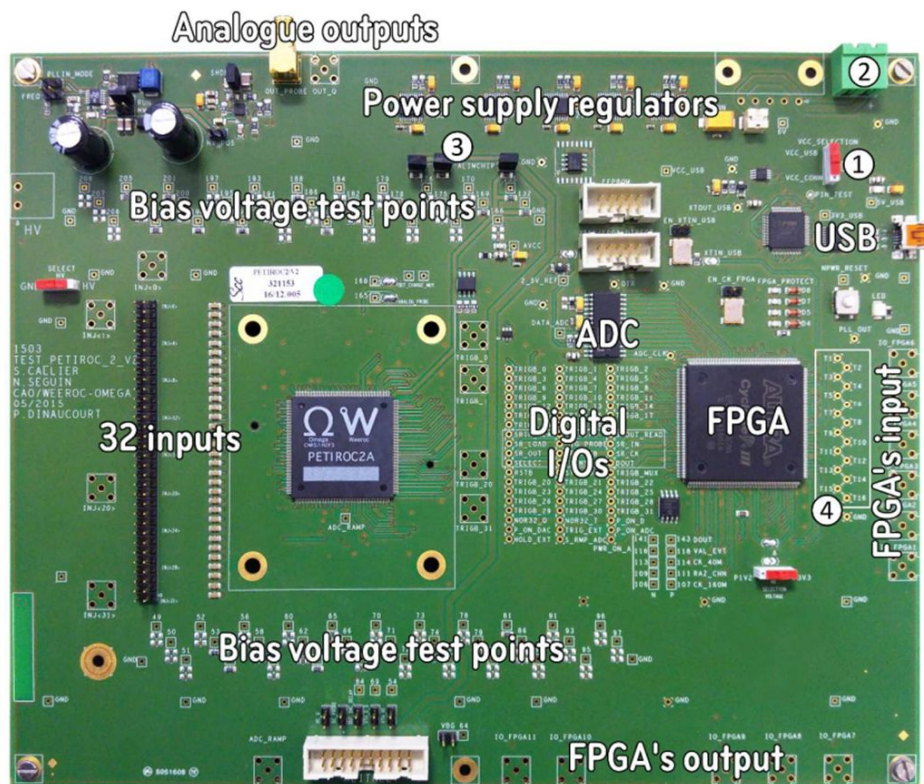


Circuit schematic of the Sensl SiPM microcell, showing details of the Fast Output.



Sensl SiPM component symbol.

Многоканальный анализатор Petiroc2A



Система сбора временной и амплитудной информации:

- Быстрый усилитель
- Формирующий усилитель (з.ч.у.)
- Предназначена для работы с SiPM

10-бит ВЦП → 36 пс/канал

10-бит АЦП → 2 мВ/канал

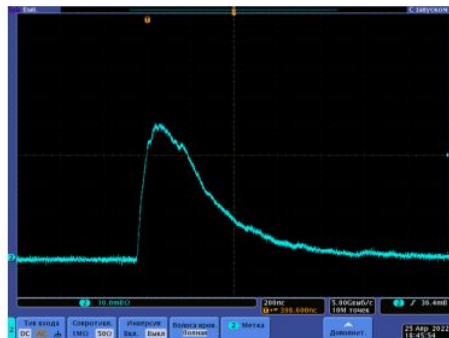
Система отбора полезных событий:

- Дискриминатор временного канала
- Точная амплитудная дискриминация
- Совпадения каналов из 2 групп (окно - 10 нс)

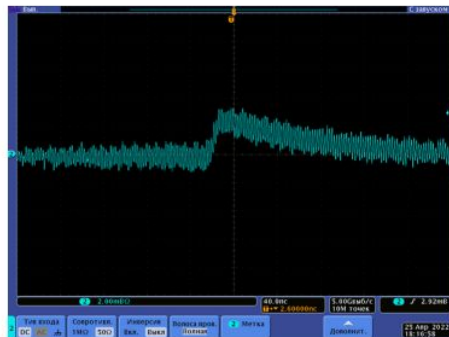
32 канала

Общий и индивидуальный порог

Особенности сигнала Si-ФЭУ



Сигнал Si-ФЭУ



Шумы Si-ФЭУ

С увеличением напряжения, подаваемого на Si-ФЭУ, шумы растут.

Шумы

Чем больше усиление, тем больше амплитуда сигнала.

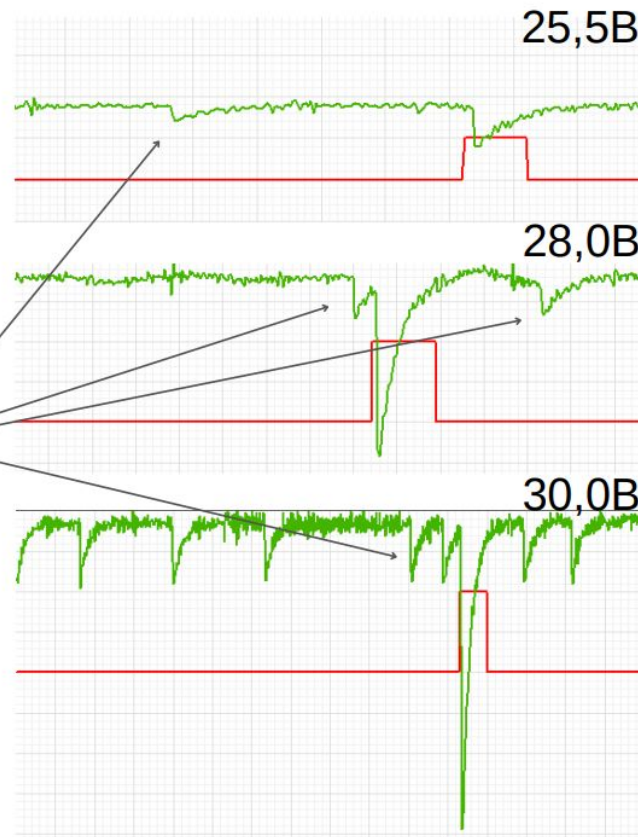
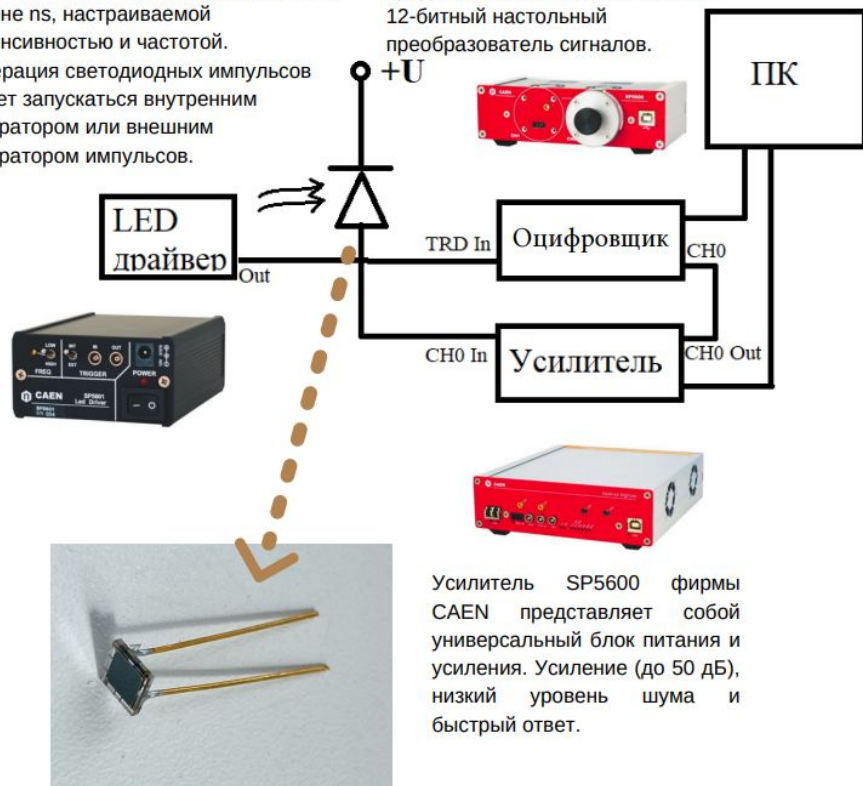


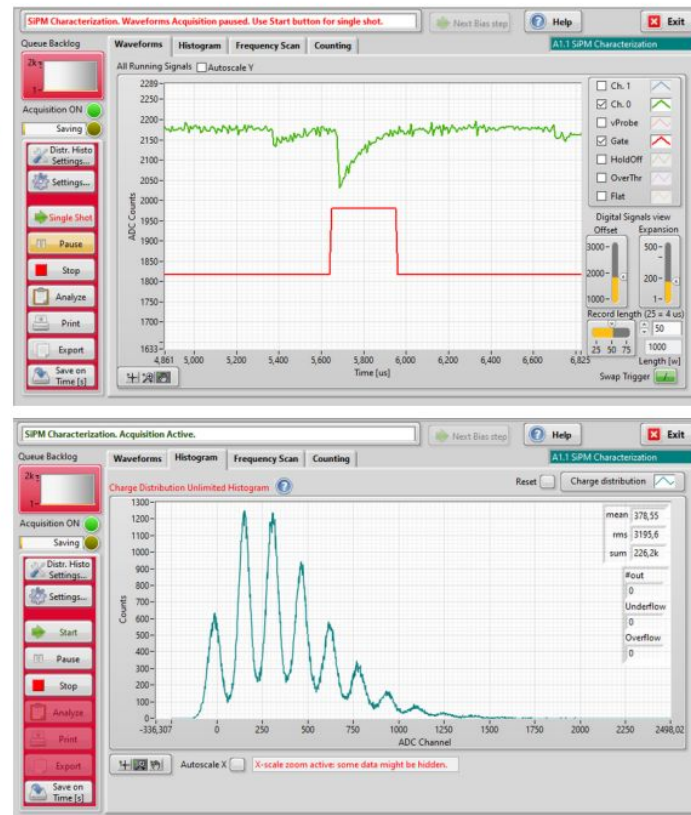
Схема экспериментальной установки

SP5601 сверхбыстрый светодиодный драйвер с длительностью импульса на уровне пс, настраиваемой интенсивностью и частотой. Генерация светодиодных импульсов может запускаться внутренним генератором или внешним генератором импульсов.

Оцифровщик DT5720A представляет собой 2-канальный 12-битный настольный преобразователь сигналов.



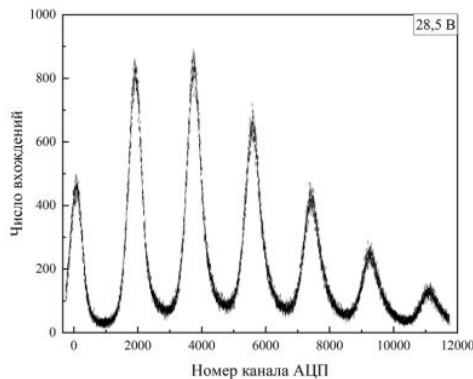
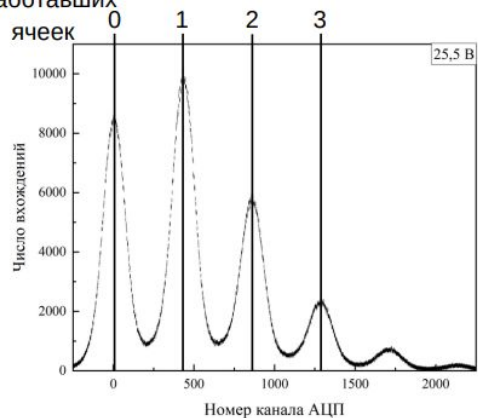
Усилитель SP5600 фирмы CAEN представляет собой универсальный блок питания и усиления. Усиление (до 50 дБ), низкий уровень шума и быстрый ответ.



Сигнал Si-ФЭУ и полученный спектр

Полученные спектры

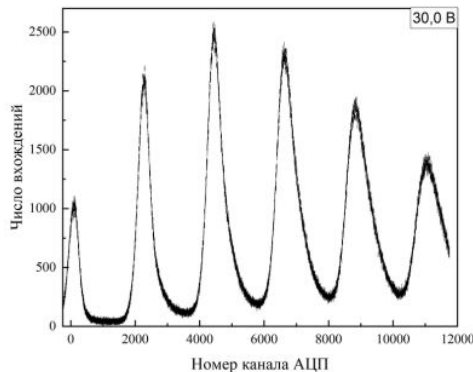
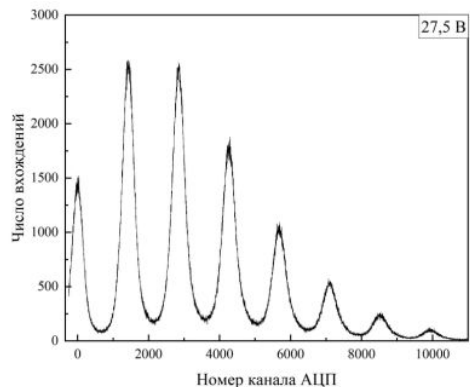
число
сработавших
ячеек



Примеры спектров, полученных в результате измерений.

Почему форма пиков отличается от Гаусса?

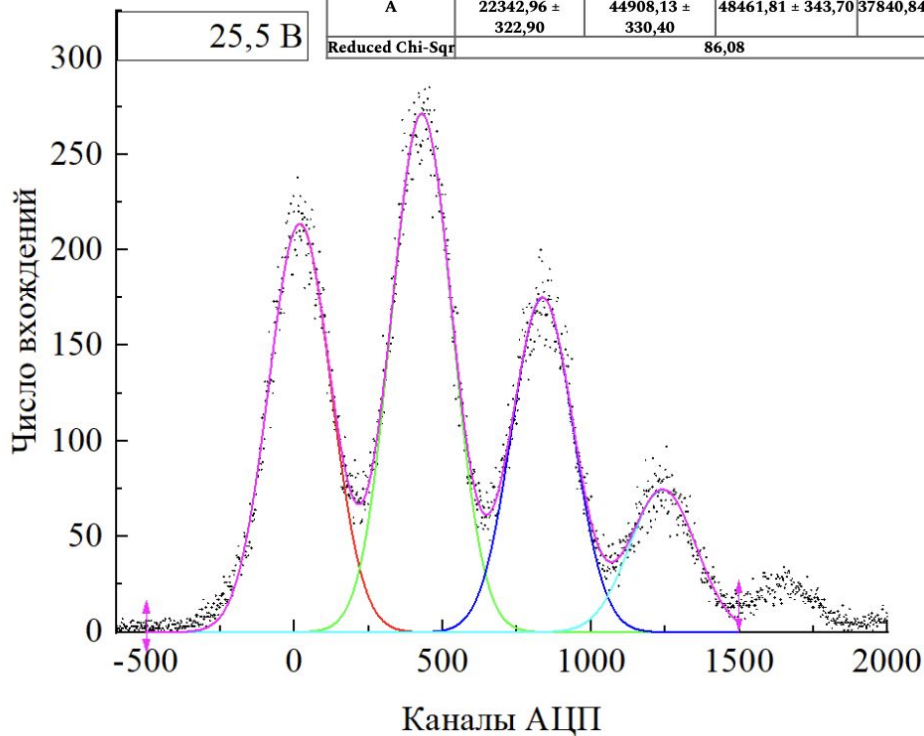
- послеимпульсы (afterpulsing),
- кросс-токи (cross-talk).



Метод расчета рабочей точки

Model	Gauss			
Equation	$y=y_0 + (A/(w*\sqrt{\pi/2}))\exp(-2*((x-xc)/w)^2)$			
Plot	Peak1(B)	Peak2(B)	Peak3(B)	Peak4(B)
xc	33,10 ± 1,90	1088,46 ± 1,01	2134,57 ± 1,06	3184,96 ± 1,62
w	227,80 ± 3,80	238,50 ± 2,03	258,09 ± 2,11	290,96 ± 3,24
A	22342,96 ± 322,90	44908,13 ± 330,40	48461,81 ± 343,70	37840,84 ± 364,93
Reduced Chi-Sqr	86,08			

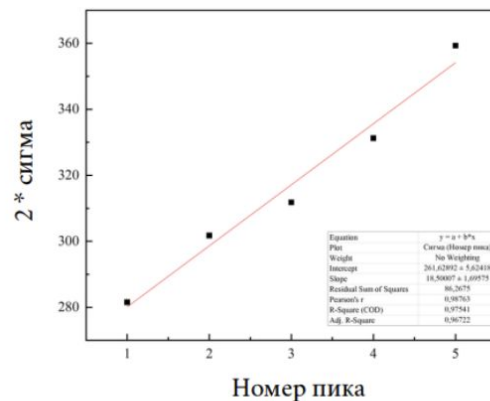
$$R = \frac{\Delta_{pp}}{\sigma_{gain}}$$



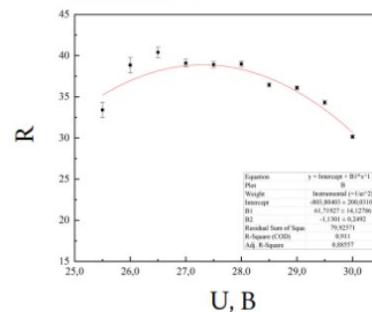
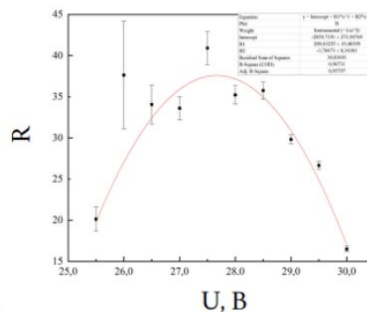
$$\sigma_{gain} = (\sigma_1^2 - \sigma_0^2)^{1/2}$$



$$\sigma_{gain} = (\sigma_3^2 - \sigma_0^2)^{1/2}$$



Зависимость среднеквадратичного отклонения пика от его порядкового номера при фитировании по распределению Гаусса



Зависимости разрешающей способности от напряжения Si-ФЭУ в случае выбора значений для первого (слева) и третьего (справа) пиков