



Система обеспечения однородности отклика детекторов в 32-канальной ПЭТ системе

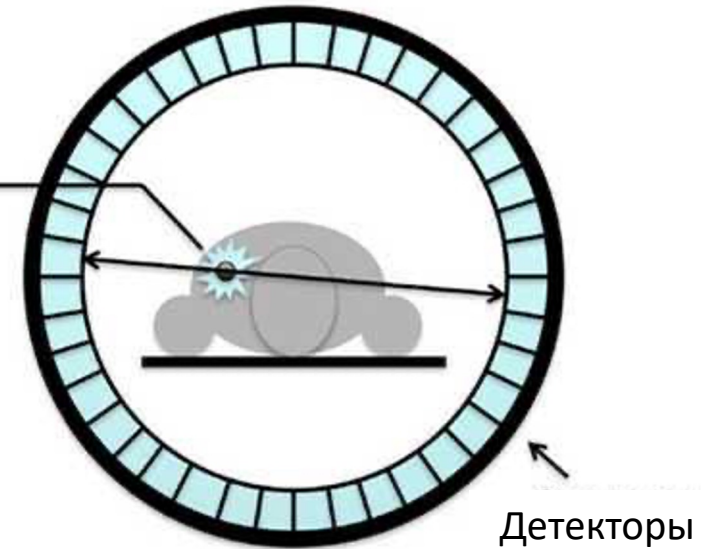
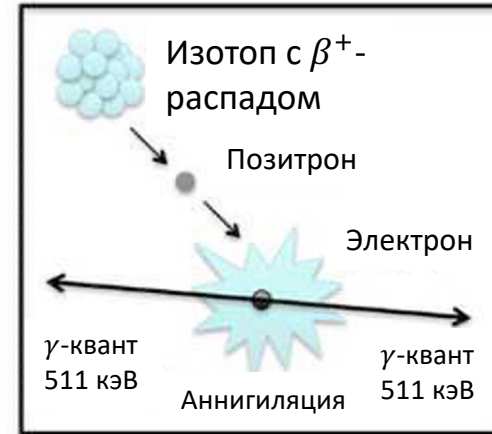
Студент: Конотоп Алексей Давидович, студент группы Б20-102 кафедры №40 «Физика элементарных частиц и космология» ИЯФит НИЯУ МИФИ, лаборант-исследователь ЛФРП ОФН НИЦ «Курчатовский институт»

Научный руководитель: Мачулин Игорь Николаевич, старший преподаватель кафедры №40 «Физика элементарных частиц и космология», старший научный сотрудник ЛФРП ОФН НИЦ «Курчатовский институт»

Научный консультант: Дубинин Филипп Андреевич, старший преподаватель кафедры №40 «Физика элементарных частиц и космология», лаборант-исследователь ЛФРП ОФН НИЦ «Курчатовский институт»

Принципы ПЭТ-сканирования

- Радиоактивный распад
- Аннигиляция позитрона, рождение двух гамма-квантов
- Детектирование гамма-квантов
- Восстановление изображения



Фтордизоксиглюкоза (FDG)

FDG является наиболее часто используемым радиофармпрепаратом в ПЭТ-визуализации. Он содержит радиоактивный изотоп F-18 и имитирует глюкозу. Из-за высокого потребления глюкозы раковыми клетками и некоторыми другими активными тканями, FDG-ПЭТ широко используется для диагностики, определения стадии и мониторинга рака.

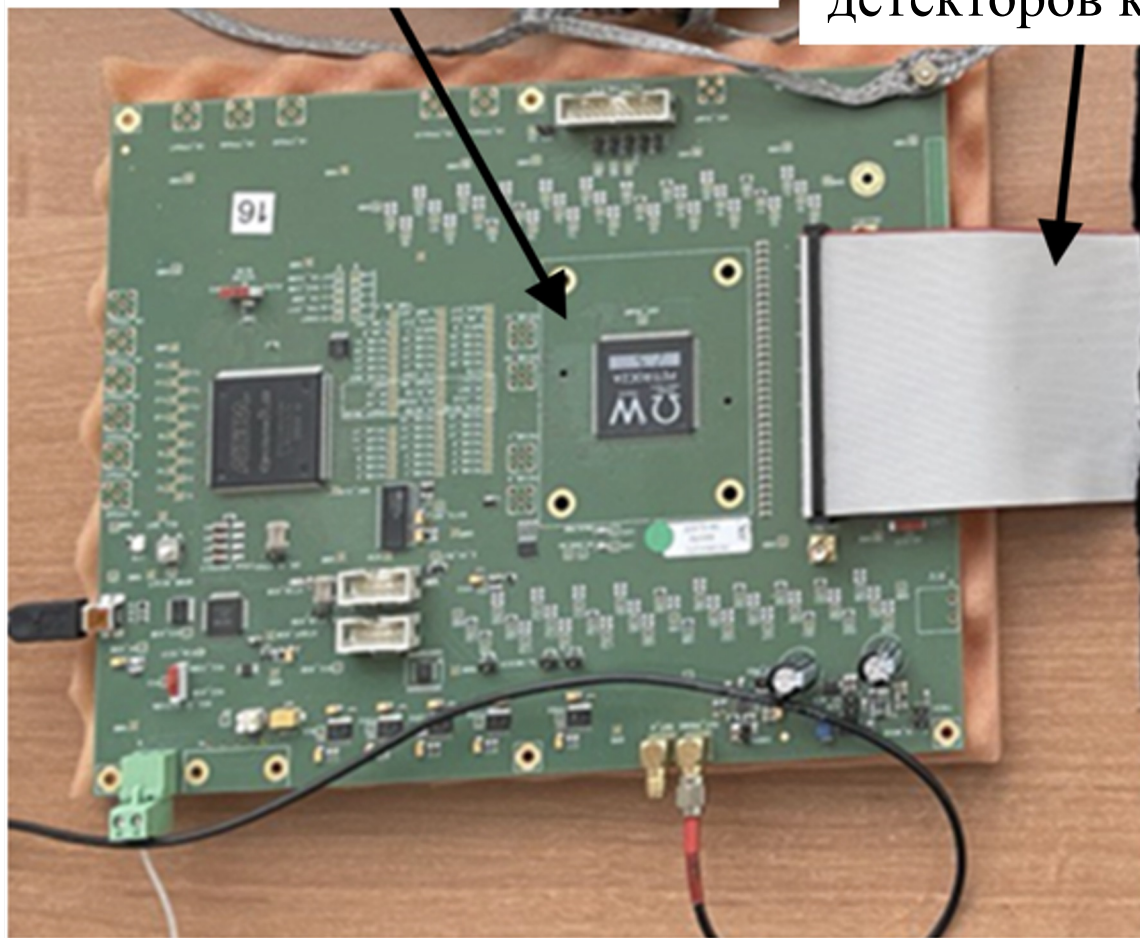
Радионуклид	Полураспад	Тип распада	E_{\max} , МэВ
^{11}C	20,4 мин	$\beta^+(100)$	0,970
^{13}N	10 мин	$\beta^+(100)$	1,2
^{15}O	2 мин	$\beta^+(100)$	1,74
^{18}F	110 мин	$\beta^+(97)$	0,64
^{68}Ga	68 мин	$\beta^+(89)$	1,9
^{82}Rb	72 с	$\beta^+(95)$	3,25
^{124}I	4,2 дней	$\beta^+(23)$	2,14

Макет ПЭТ

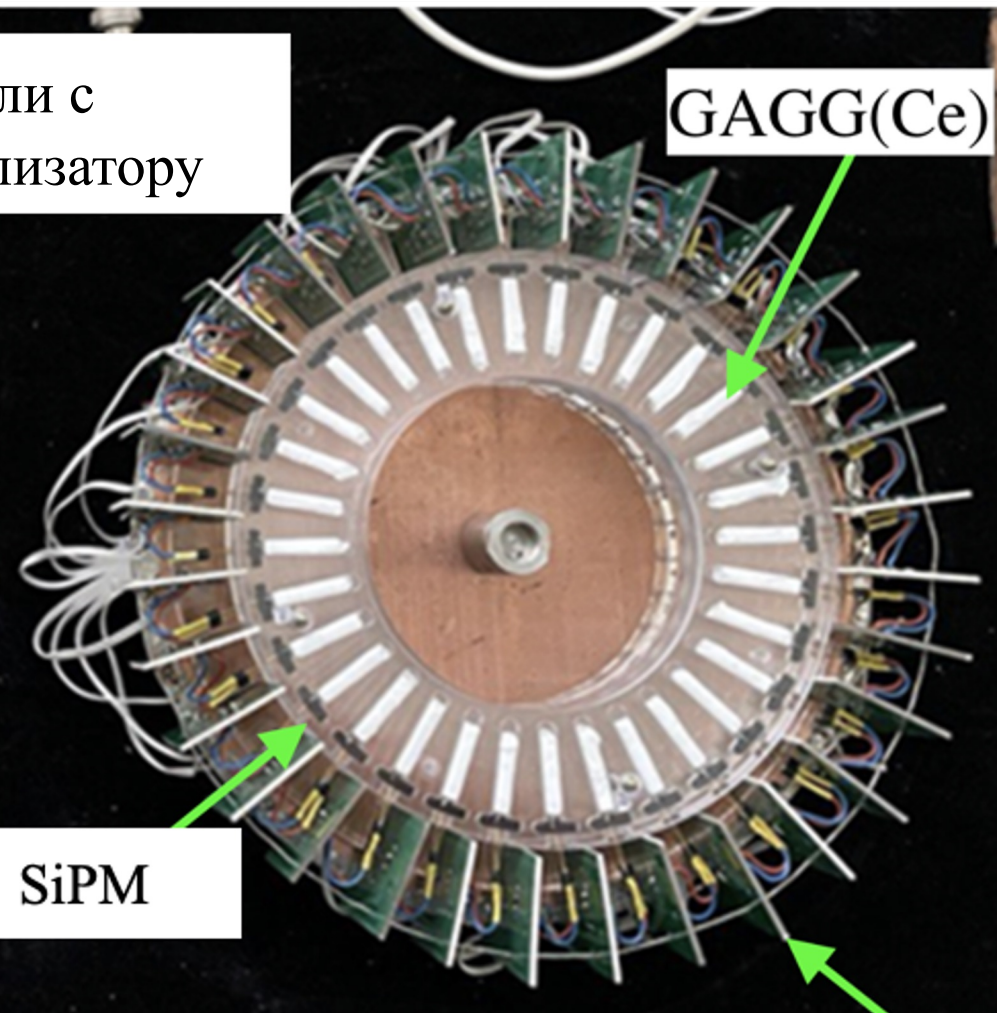
32-канальная плата Retiros2A

Сигнальные кабели с детекторов к анализатору

GAGG(Ce)



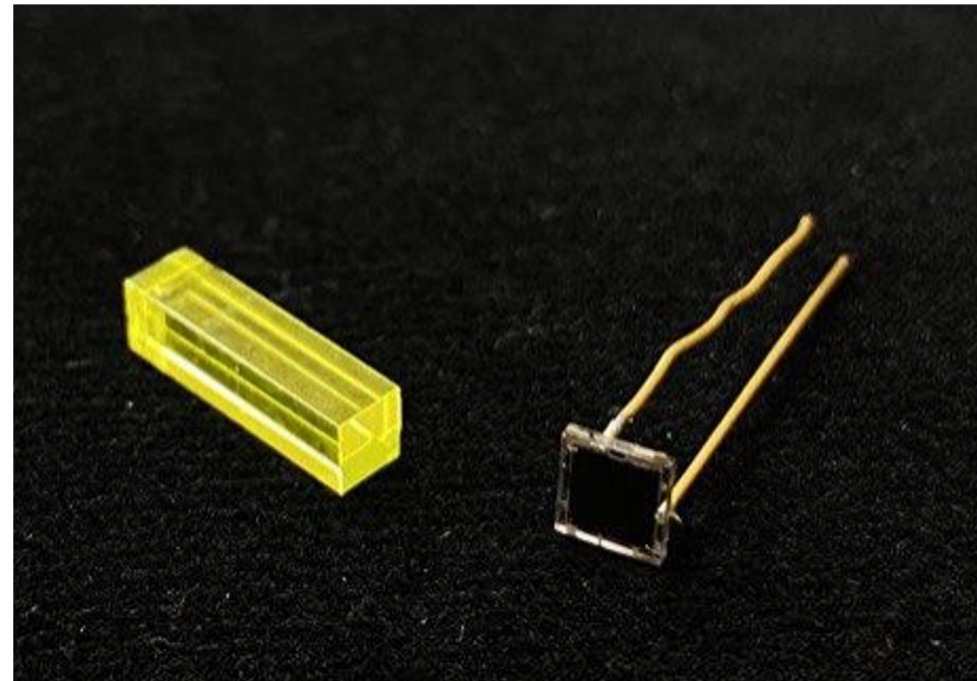
SiPM



Плата питания

Материалы детекторов

	LYSO(Ce)	BGO	NaI(Tl)	GAGG(Ce)
Плотность, г/см ²	7.1	7.13	3.67	6.63
Z _{eff}	63	73	50	54.4
λ _{max} , нм	420	480	415	520
t, нс	40	300	230	87(90%) 255(10%)
Световыход, фотон/кэВ	30	10	38	46
Гигроскопичность	Нет	Нет	Да	Нет
Радиоактивность	Да	Нет	Нет	Нет



Неорганические сцинтилляторы GAGG(Ce) 3x3x20 мм

Фотоприёмник: SiPM Onsemi FC30035

Напряжение пробоя $V_{br} = 24.2 - 24.7$ В

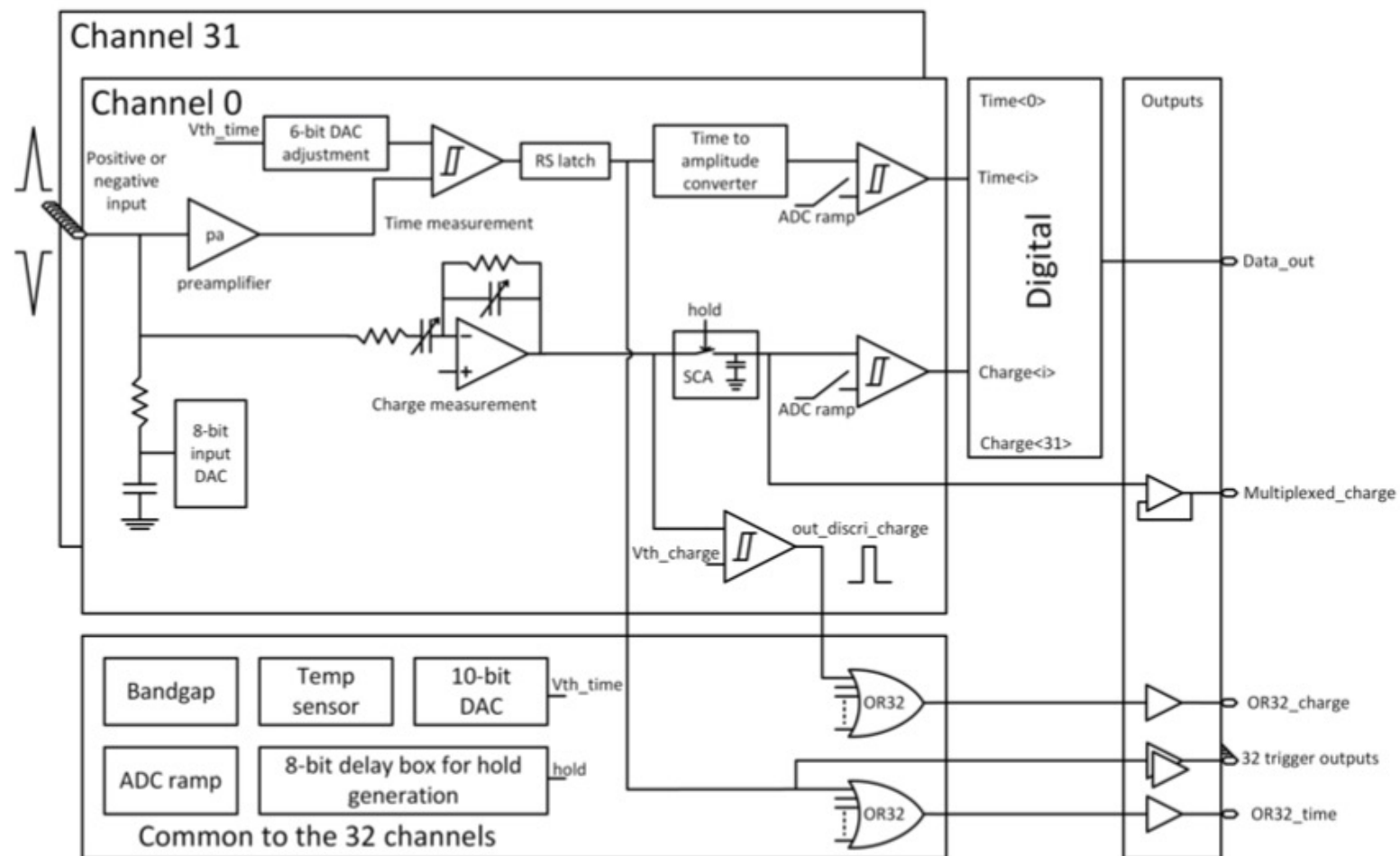
При длине волны 520 нм и перенапряжении 3 В:

Эффективность регистрации (PDE) = 17%

Усиление = 3×10^6

Petiroc 2A

- Электроника на 32 канала
- Каждый канал – два тракта
 - Измерение времени
 - Измерение заряда
- Срабатывание одного канала вызывает запись информации со всех каналов
- Возможность подстройки усиления по зарядовому тракту

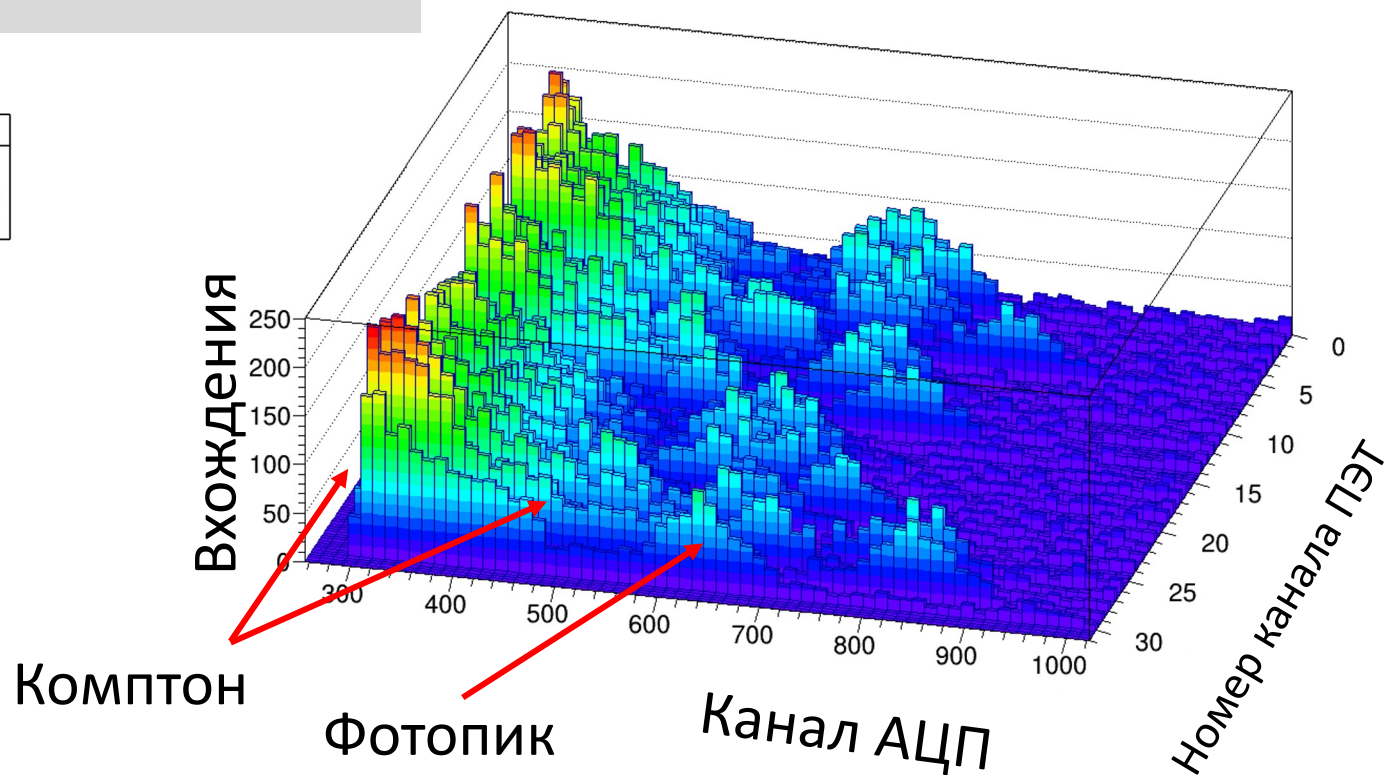
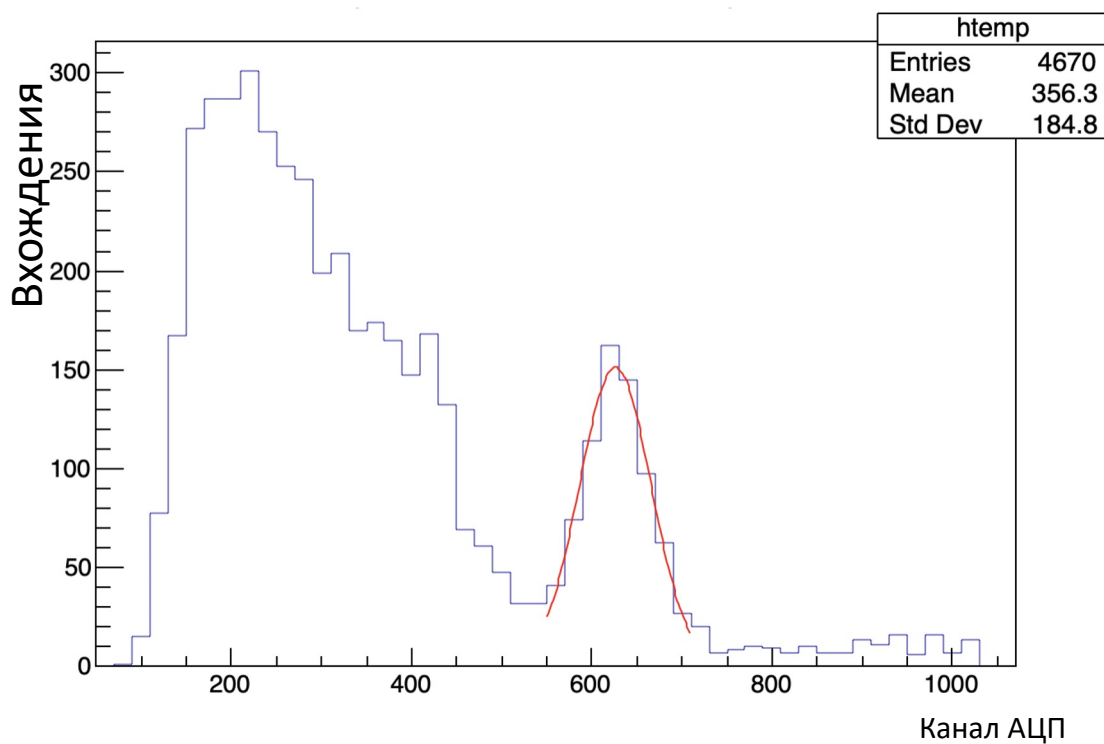


Характеристики модели ПЭТ

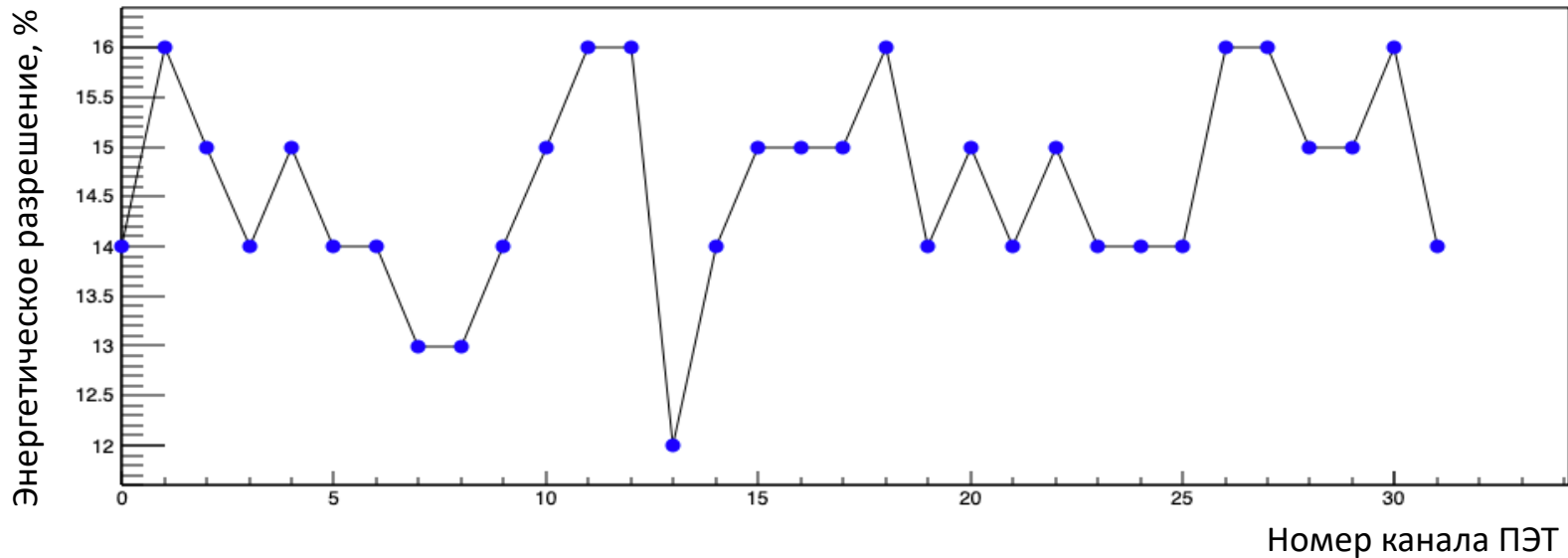
Лучшее энергетическое разрешение (511 кэВ) - 14 %

Лучшее ЭР одиночного детектора (662 кэВ) - 8%

Временное разрешение - 1.80 ± 0.07 нс (одиночный)

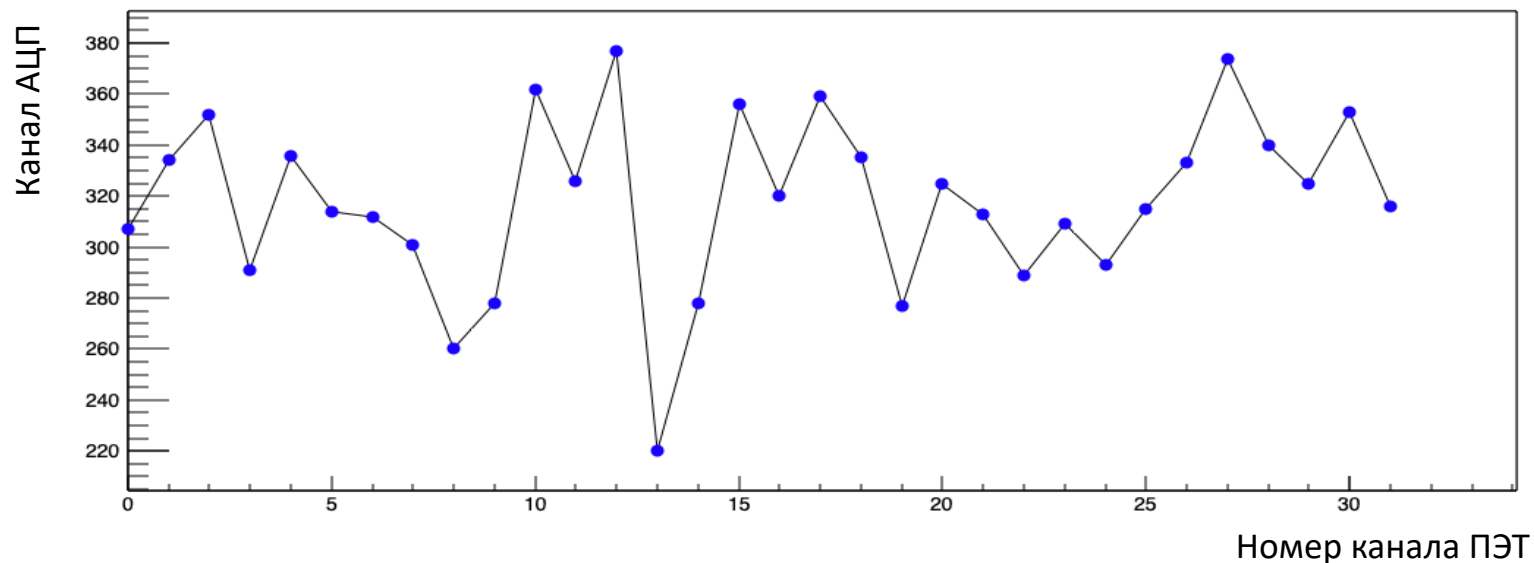


Неоднородность установки



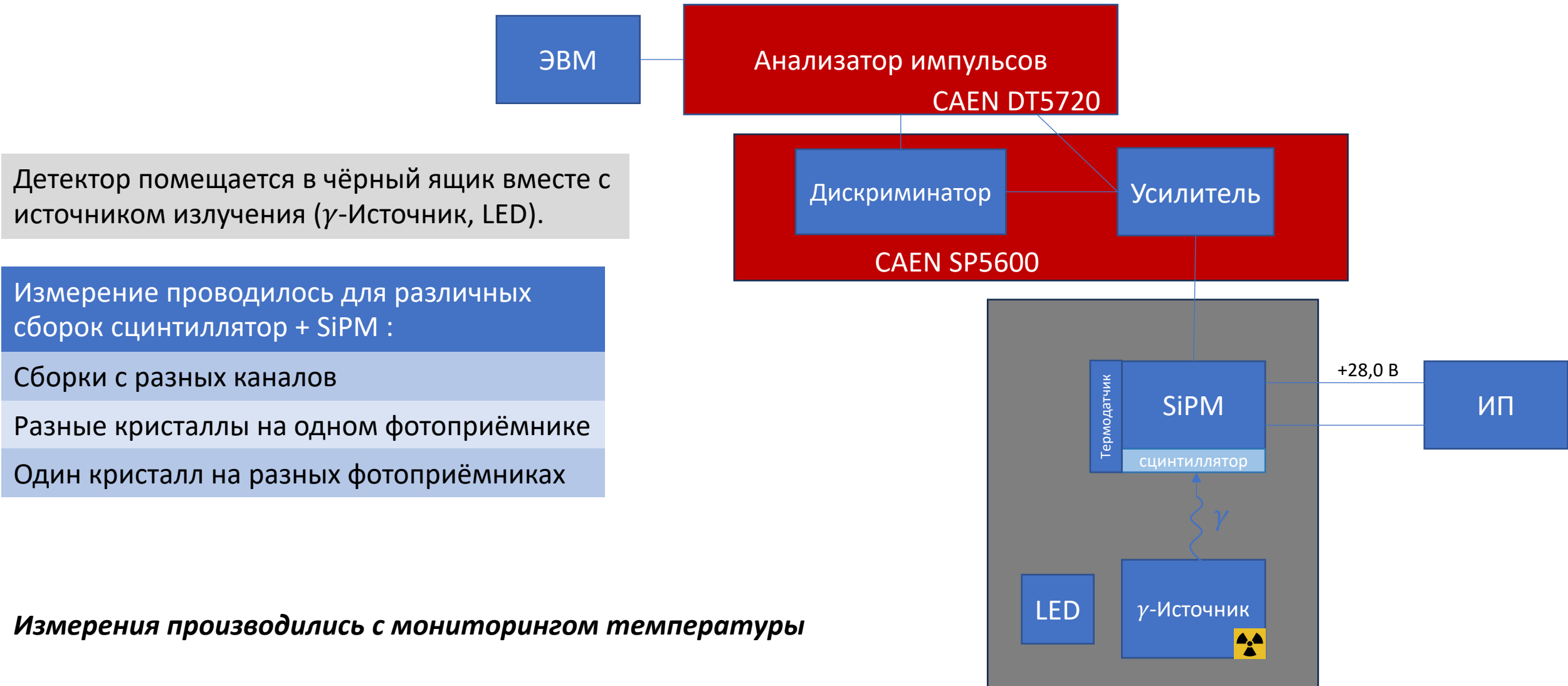
Ср. энергетическое разрешение = 15%
Разброс значений = 9%

Ср. положение фотопика = 318 канал АЦП
Разброс значений = 20%



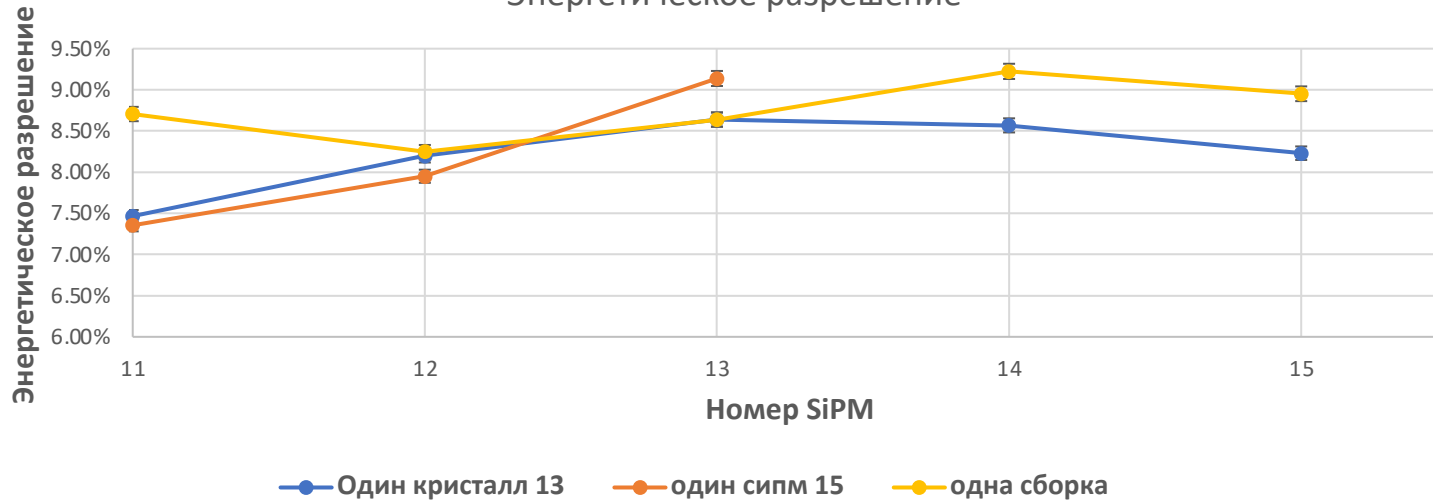
Вывод: необходимо разобраться в причинах и минимизировать разброс

Установка для изучения неоднородности отклика



Результаты измерений

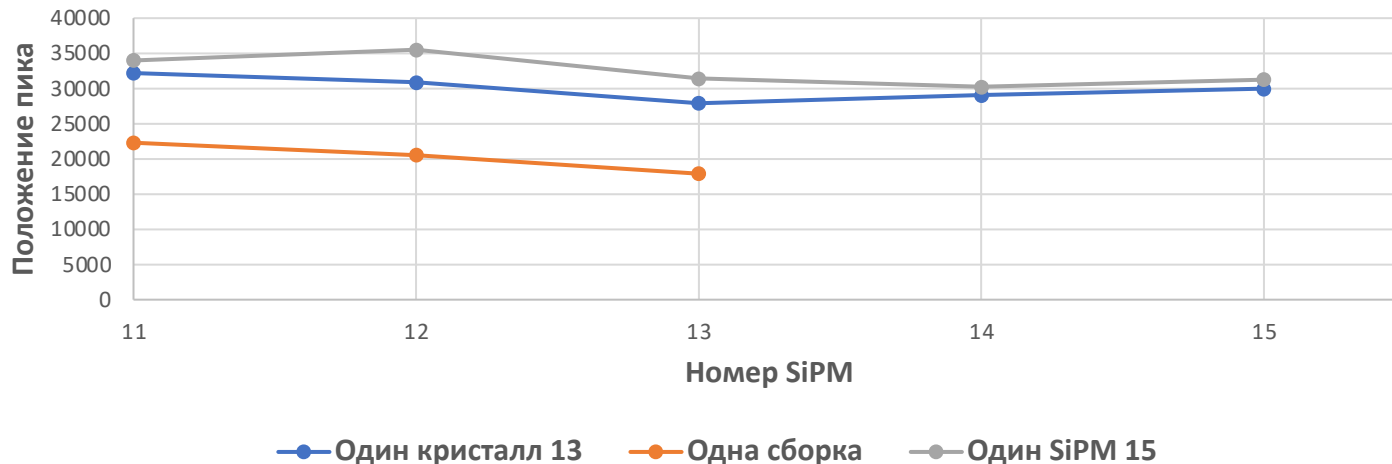
Энергетическое разрешение



Разброс значений энергетического разрешения = 4%

Разброс значений положения фотопика = 9%

Положения фотопика



Вывод: помимо оптического контакта, неоднородность вносят различия световых выходов сцинтилляторов, а также SiPM имеют разное напряжение пробоя

Со сцинтилляторами мы ничего сделать не можем, но управлять перенапряжением SiPM возможно

Подстройка напряжений на SiPM

Резистивный делитель



- простота исполнения
- надёжность
- компактность



- узкий диапазон подстройки
- дополнительный высокоомный резистор в цепи питания
- отсутствие обратной связи
- грубая настройка

Дифференциальный каскад

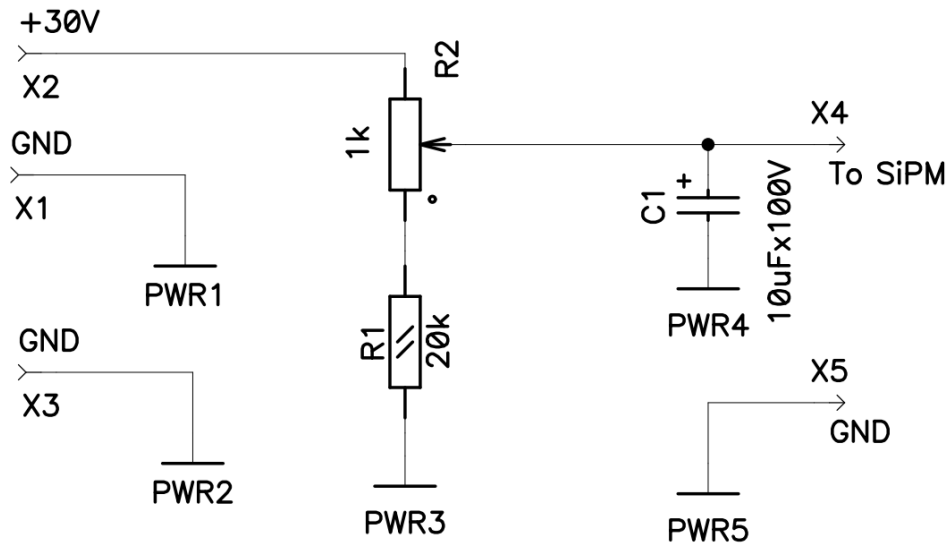


- высокая линейность
- широкий диапазон подстройки
- устойчивость к помехам
- более точная подстройка
- возможность программного управления
- возможность обратной связи



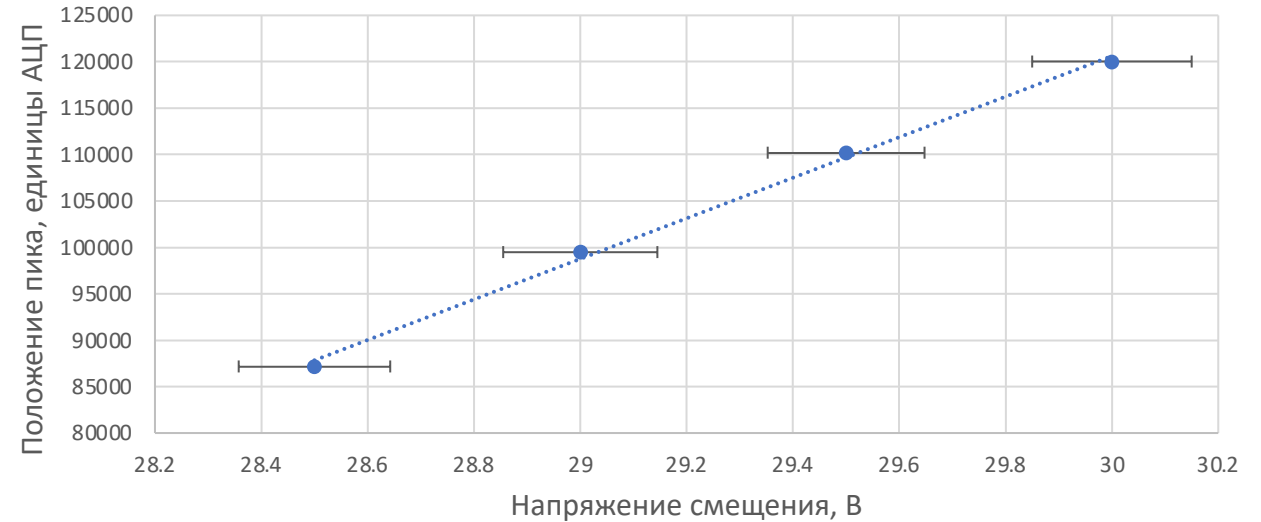
- необходим источник опорного напряжения
- громоздкость
- стоимость

Резистивный делитель

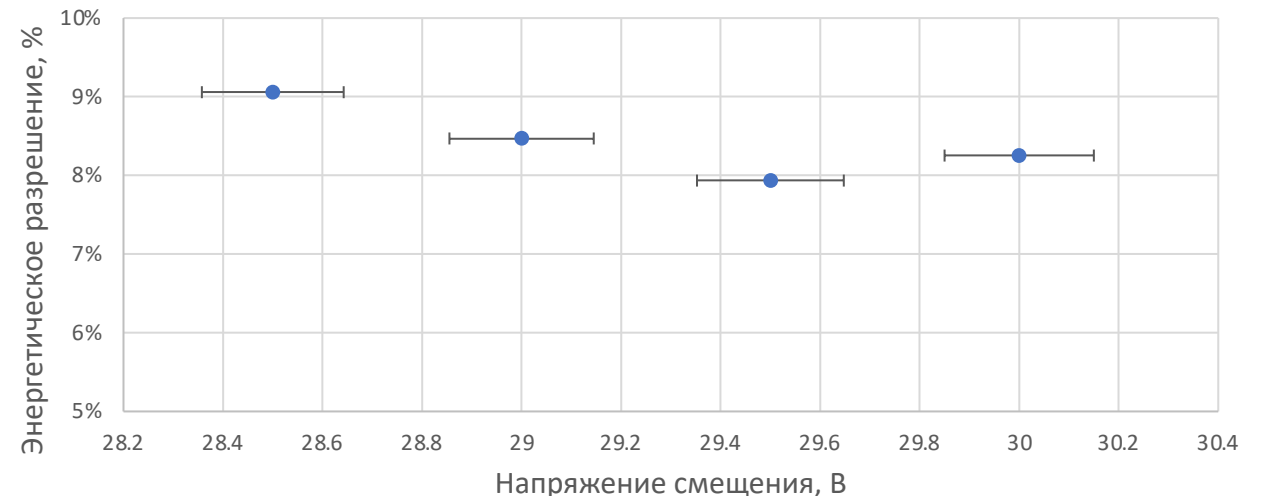


1. Амплитуда линейно зависит от напряжения
2. Зависимость энергетического разрешения (ЭР) от напряжения имеет минимум (оптимальный режим работы SiPM при $V = 29.5$ В)
3. Применение схемы не ухудшает ЭР

Зависимость положения пика от напряжения смещения

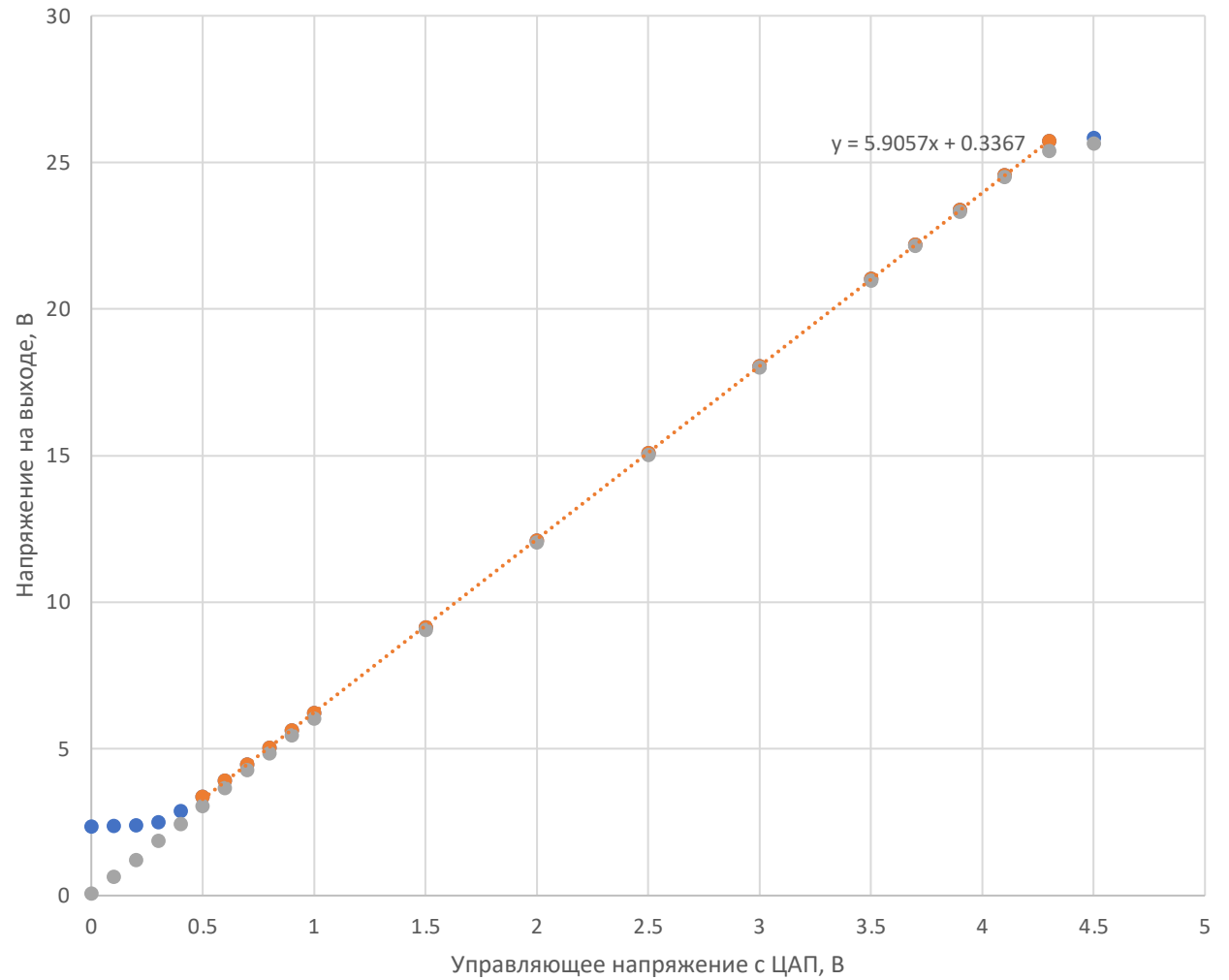
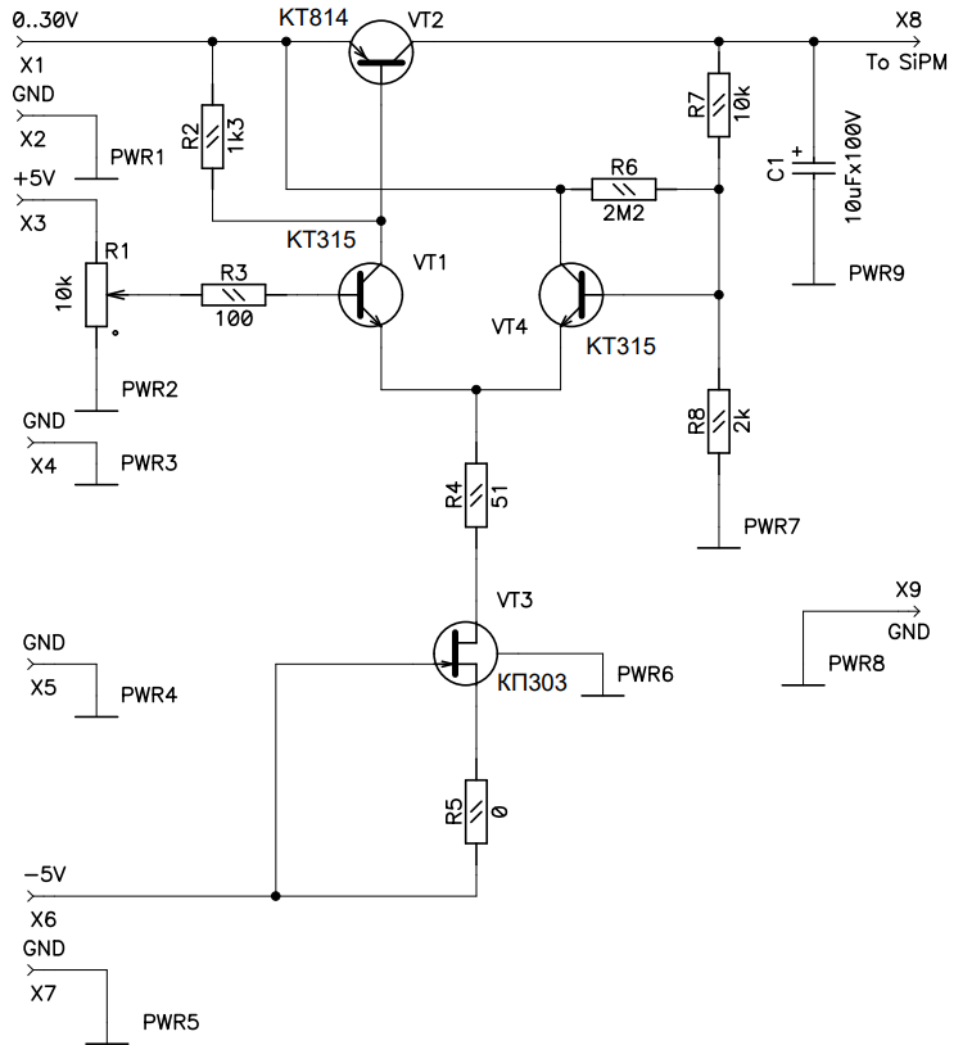


Зависимость энергетического разрешения от напряжения смещения



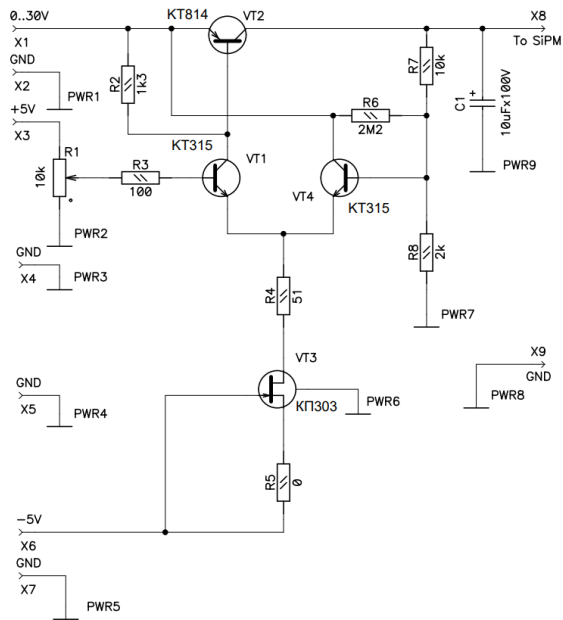
Дифференциальный каскад

Напряжение на выходе от напряжения на ЦАП



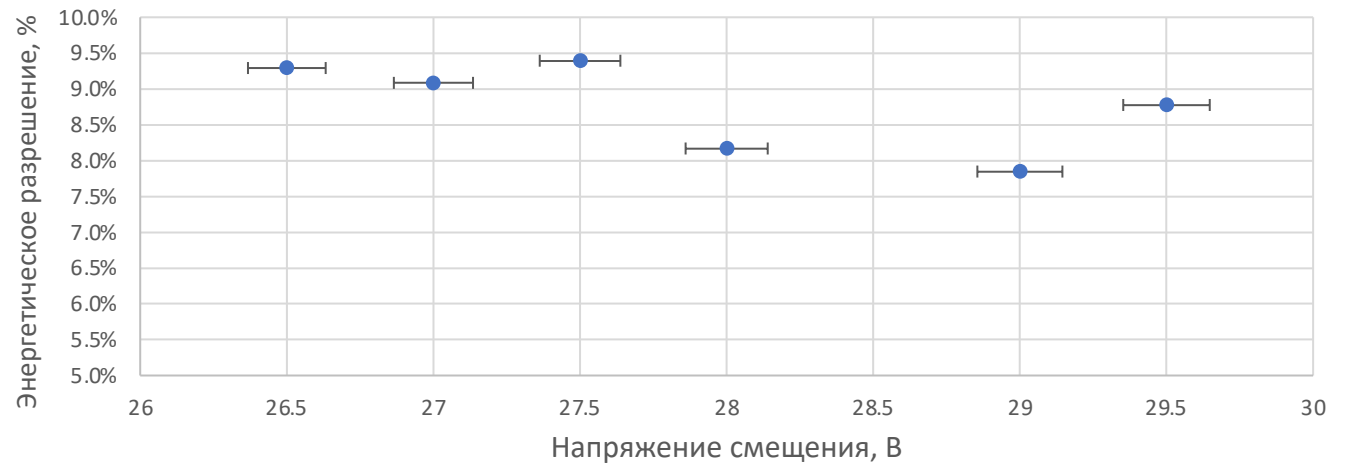
- Германиевый ГТ403
- Кремниевый KT814B
- Аппроксимация
- Линейная (Аппроксимация)

Дифференциальный каскад. Результаты.

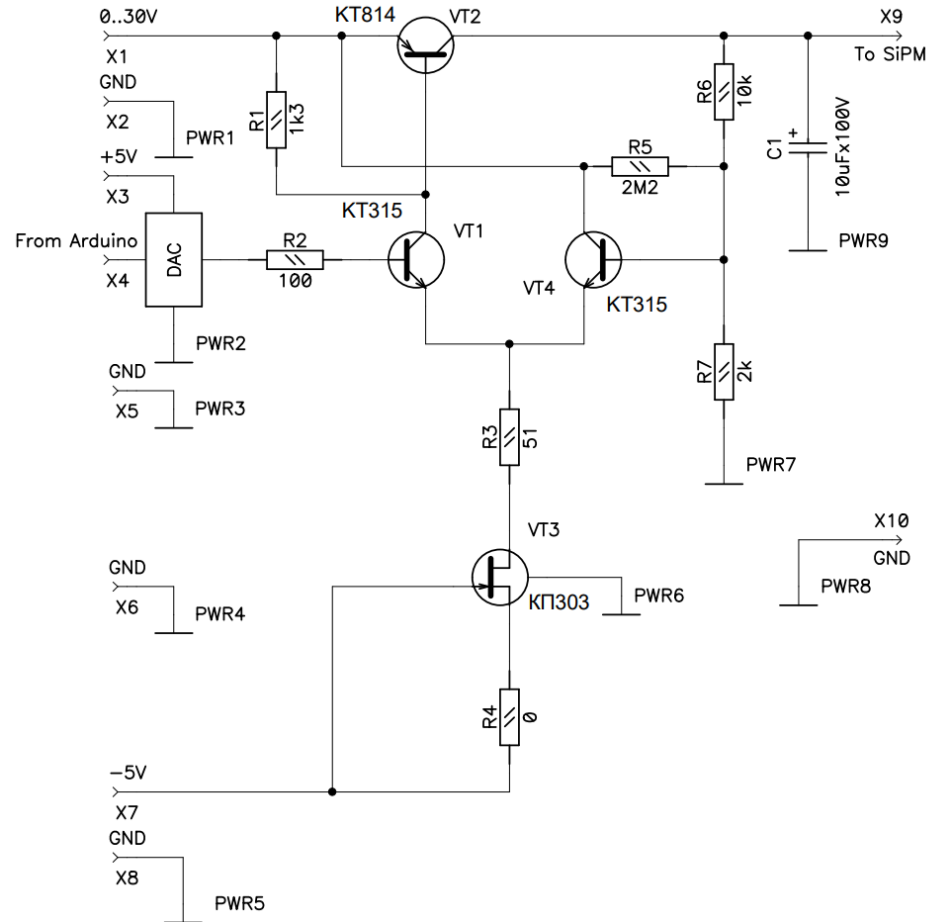


1. Наблюдается линейность положений пика
2. Значительно больший диапазон регулирования
3. Зависимость ЭР от напряжения имеет минимум (оптимальный режим работы SiPM при $V = 29.0$ В); в данных измерениях температура была повышена на 7 °С

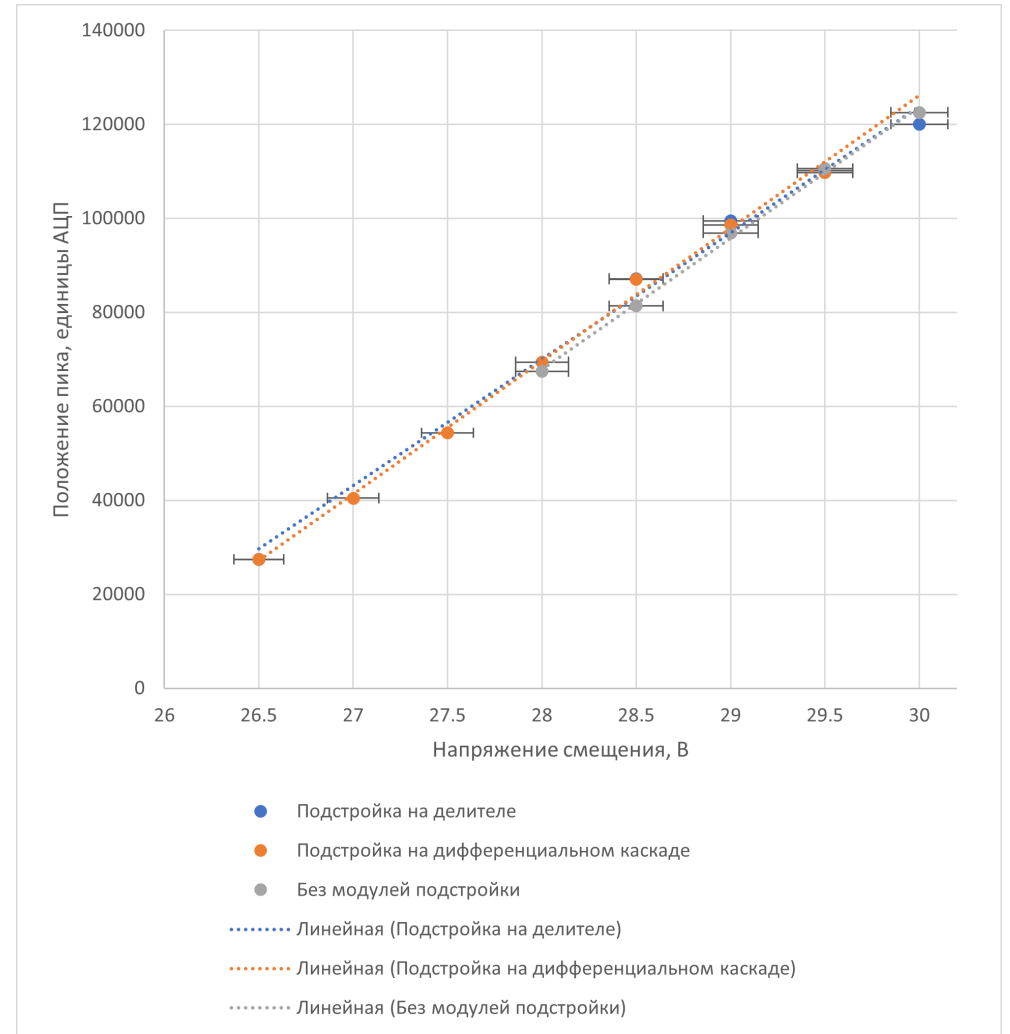
Зависимость положения пика от напряжения смещения



Общие результаты подстройки. Пути улучшения.

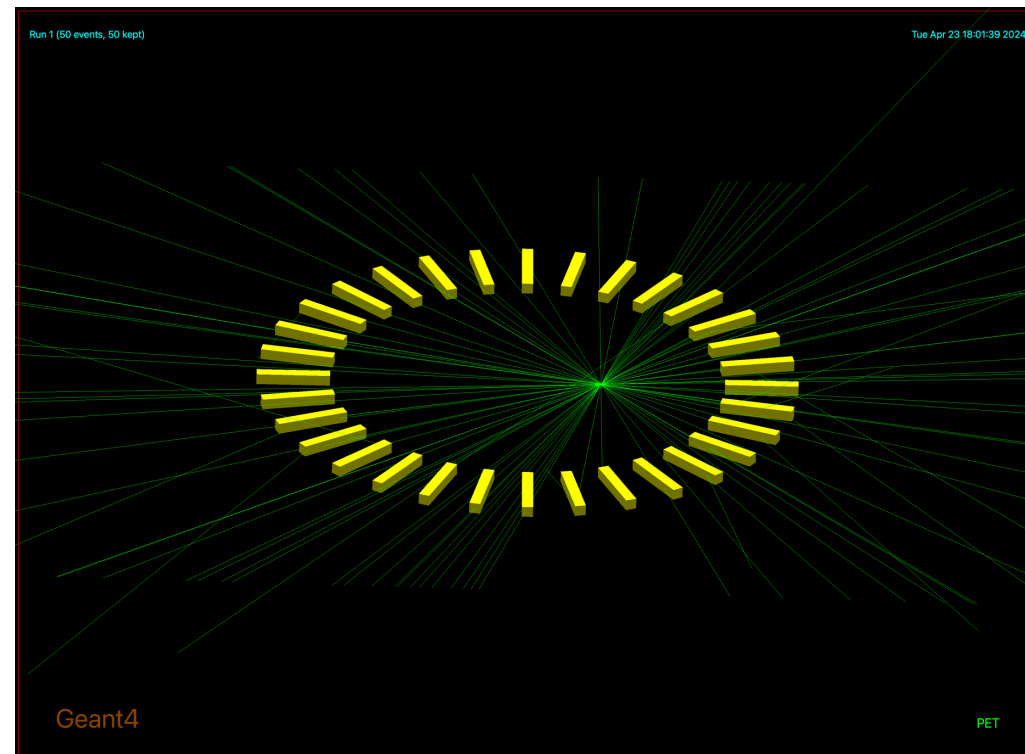


Схемы подстройки напряжения не ухудшают энергетическое разрешение каналов!



Модель в Geant4

- Получение референсных изображений для проверки неоднородностей
- Тестирование различных неорганических сцинтилляторов
- Обработка большего числа каналов
- Быстрый набор большой статистики
- Обработка алгоритмов формирования синограмм и восстановления изображений



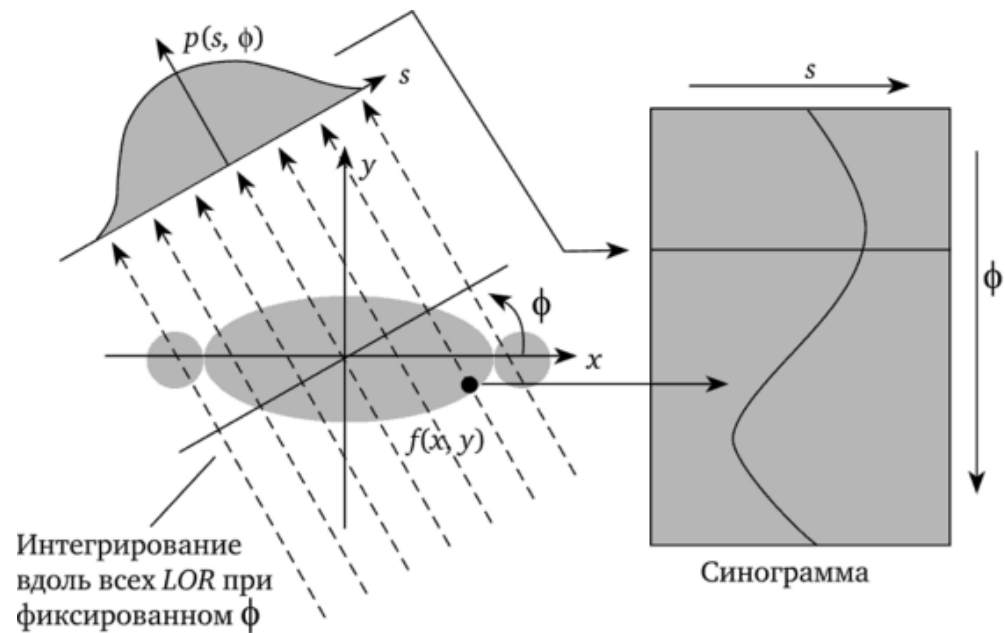
Модель ПЭТ на 32 канала

Генерация аннигиляционных гамма-квантов проводилась в плоскости

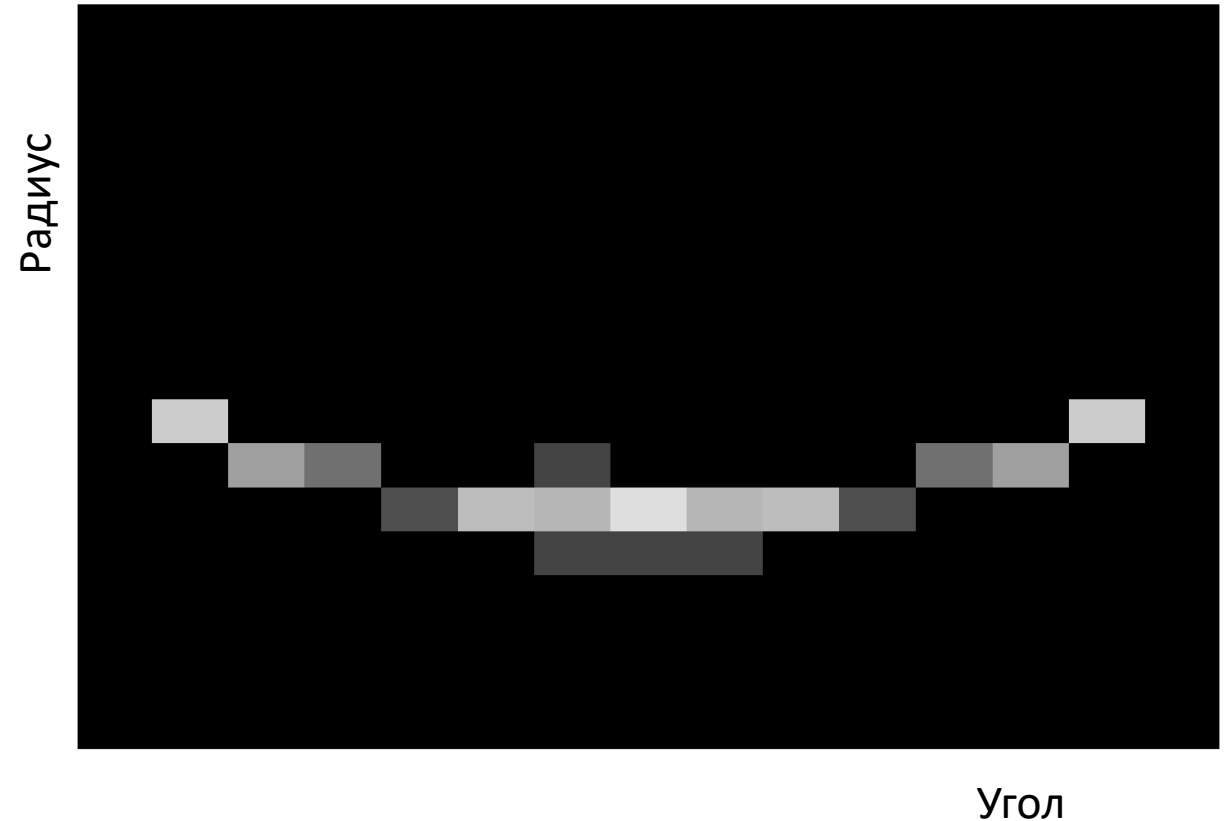
Синограмма

Выборка:

$E = 511$ кэВ



Построение синограммы



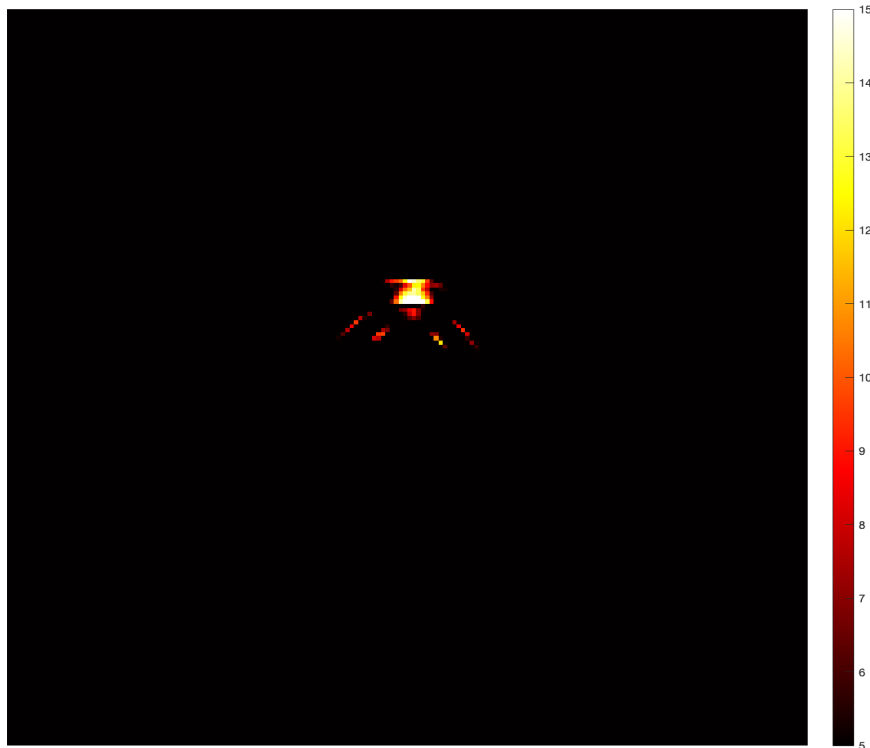
Синограмма из модели ПЭТ на 32 канала

Восстановленное изображение

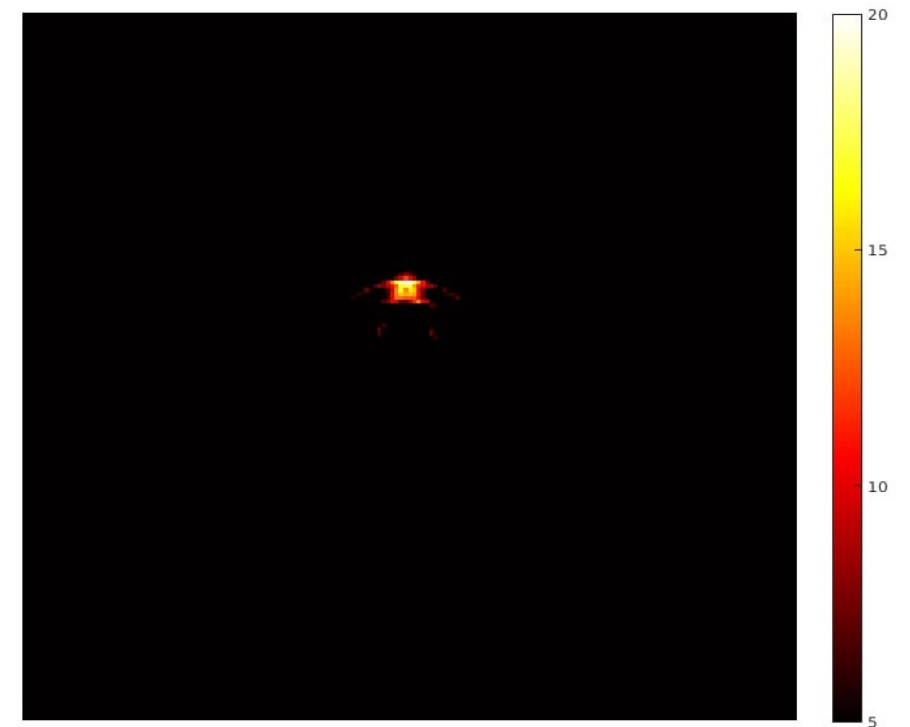
Для восстановления использован пакет MATLAB и встроенная функция `iradon()`

`iradon()`

На вход подаётся синограмма в виде изображения и применяется обратное преобразование радона



Изображение из реальных данных



Изображение из моделирования

Моделирование различных сцинтилляторов

GAGG(Ce)

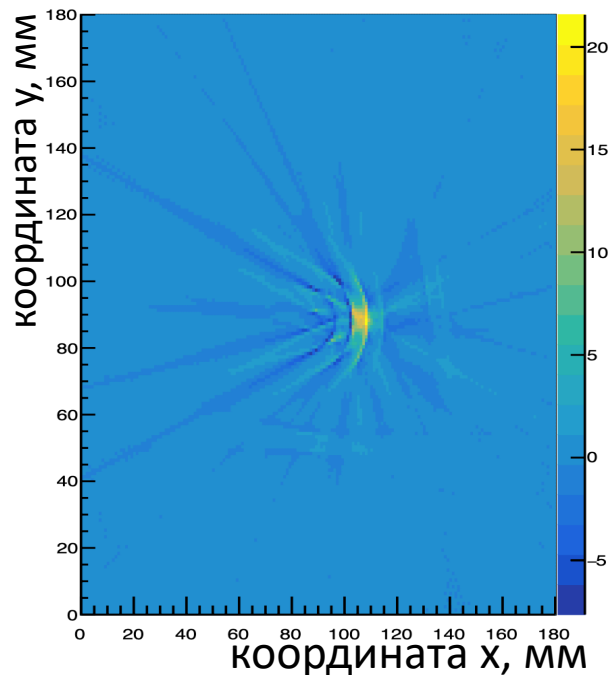
используем в нашей
установке, генерирование
референсных
изображений

BGO
LYSO(Ce)

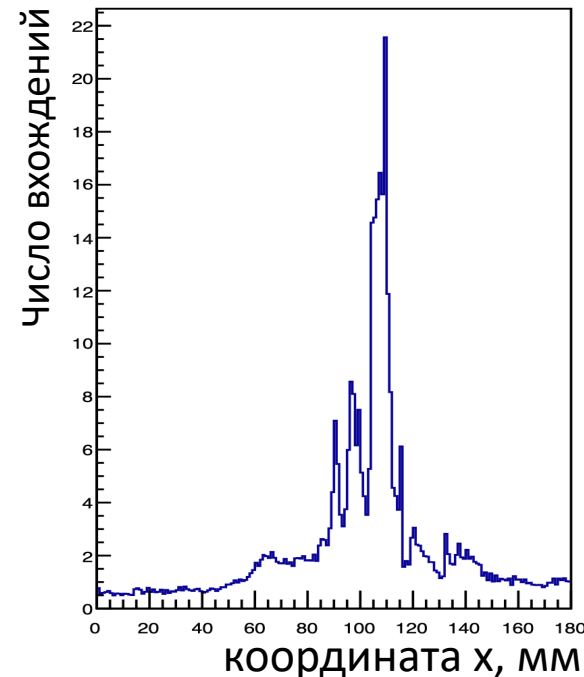
исторически
используются, высокая
плотность и зарядовое
число

Анализ восстановленного изображения

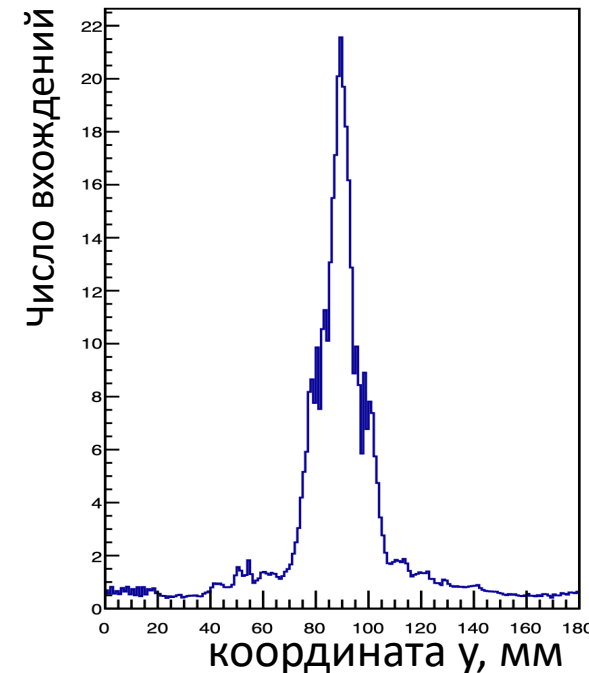
восстановленное изображение



проекция на X



проекция на Y



Уширение связано с геометрическими искажениями восстановления и требует модификации алгоритма восстановления

Ширина основного пика

BGO	4.3 мм
LYSO(Ce)	4.6 мм
GAGG(Ce)	6.3 мм

Положение источника, мм	GAGG(Ce)	LYSO(Ce)	BGO
	Eff., %	Eff, %	Eff, %
0	2.1	7.6	11.8
10	1.4	5.2	8.2
20	1.7	6.4	10.2

Эффективность установки на 64 канала

Заключение

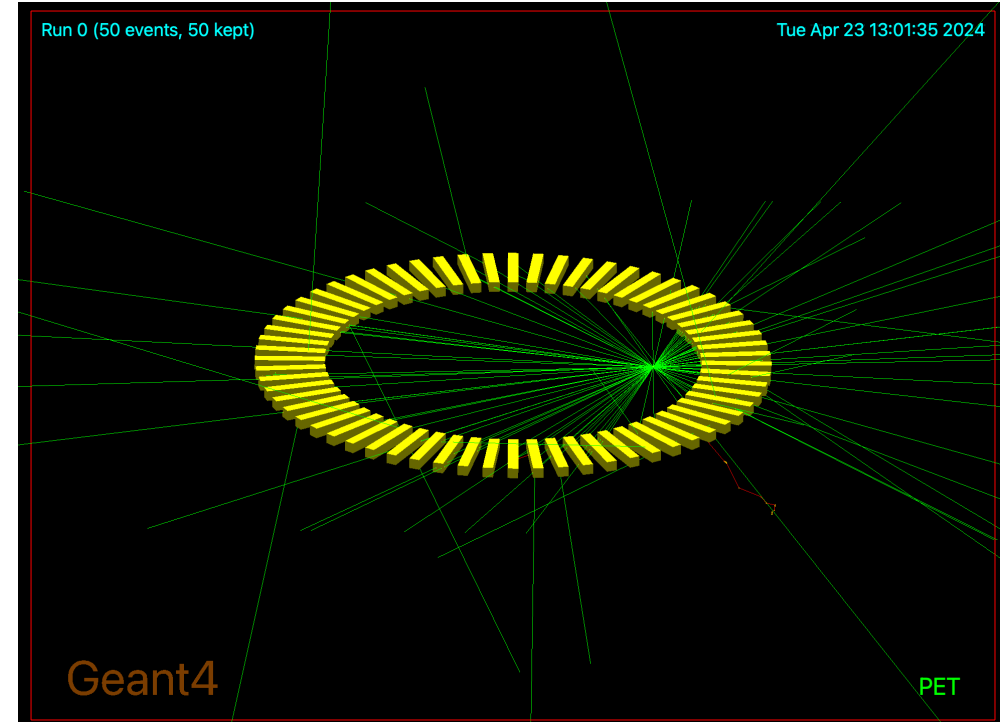
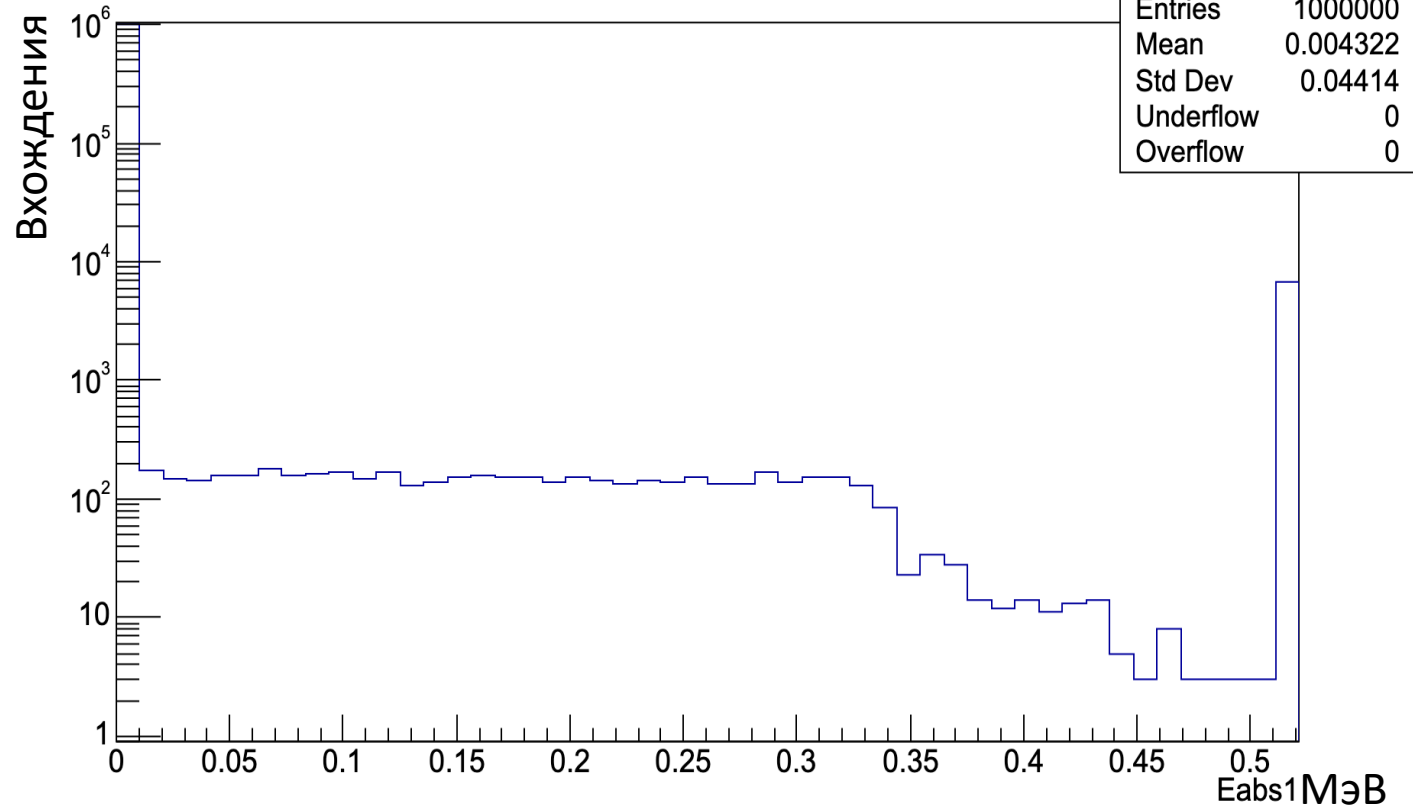
- Изучены характеристики макета: энергетическое разрешение и положение фотопика на всех каналах при постоянном напряжении 28 В. разброс по фотопику 20%; энергетическое разрешение 15% (от 12% до 16%)
- Создана установка для изучения неоднородности отклика
- Показано: разброс обусловлен различиями сцинтилляторов, разбросом напряжений пробоя SiPM, оптическим контактом
- Для снижения неоднородности созданы две схемы подстройки напряжений
- Обе схемы имеют высокую стабильность, схема на дифференциальном каскаде имеет потенциал модернизации (внедрение цифрового управления)
- Создана модель кольца ПЭТ, повторяющая геометрию установки
- Получены референсные изображения, идентичные построенным при помощи данных с реальной установки
- Показано, что кристаллы BGO имеют лучшую эффективность по фотопику среди рассмотренных сцинтилляторов

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

По вопросам обращаться: Конотоп Алексей Давидович, +7(964)522-06-69 akonotop03@mail.ru

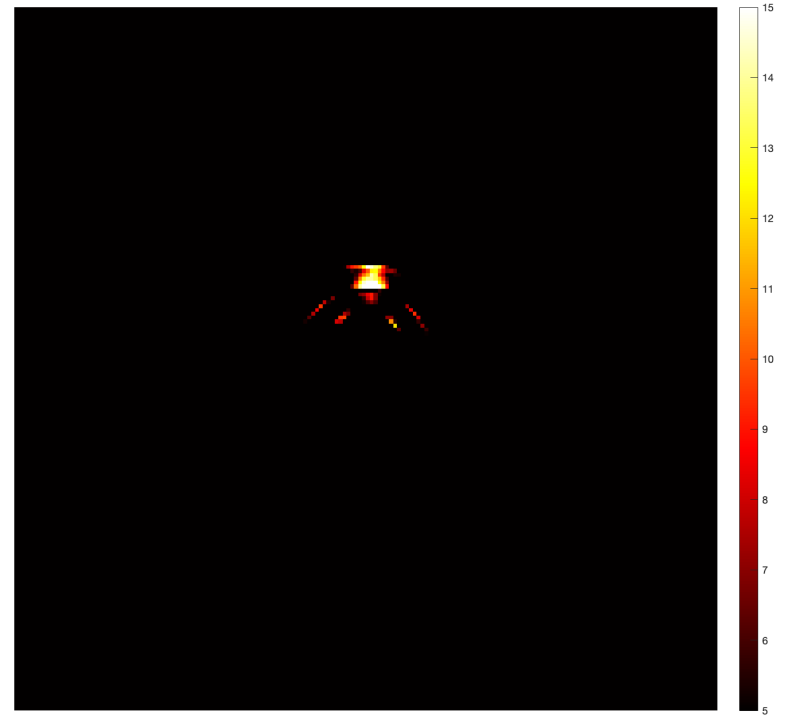
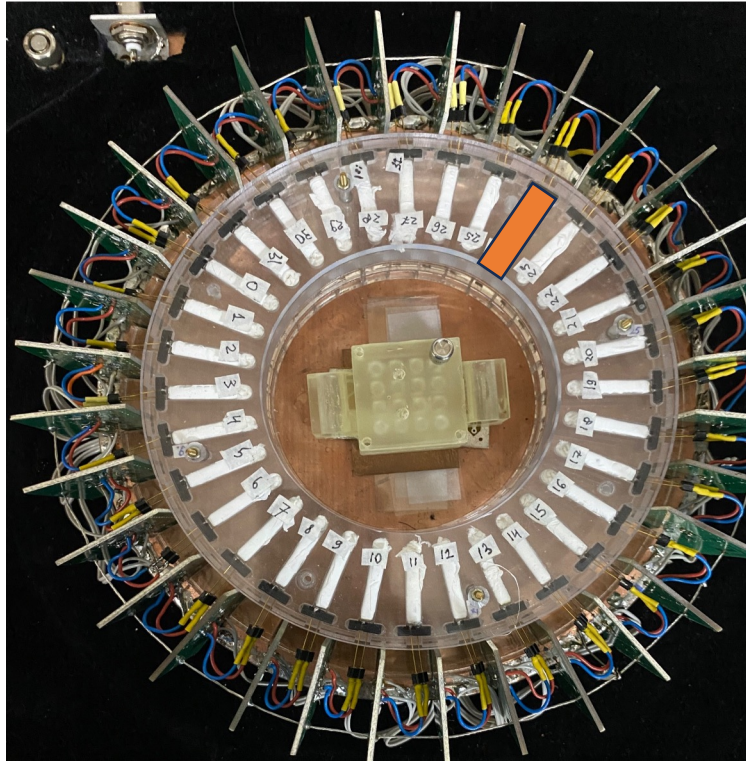
Backup 1

Спектр с одного из каналов модели

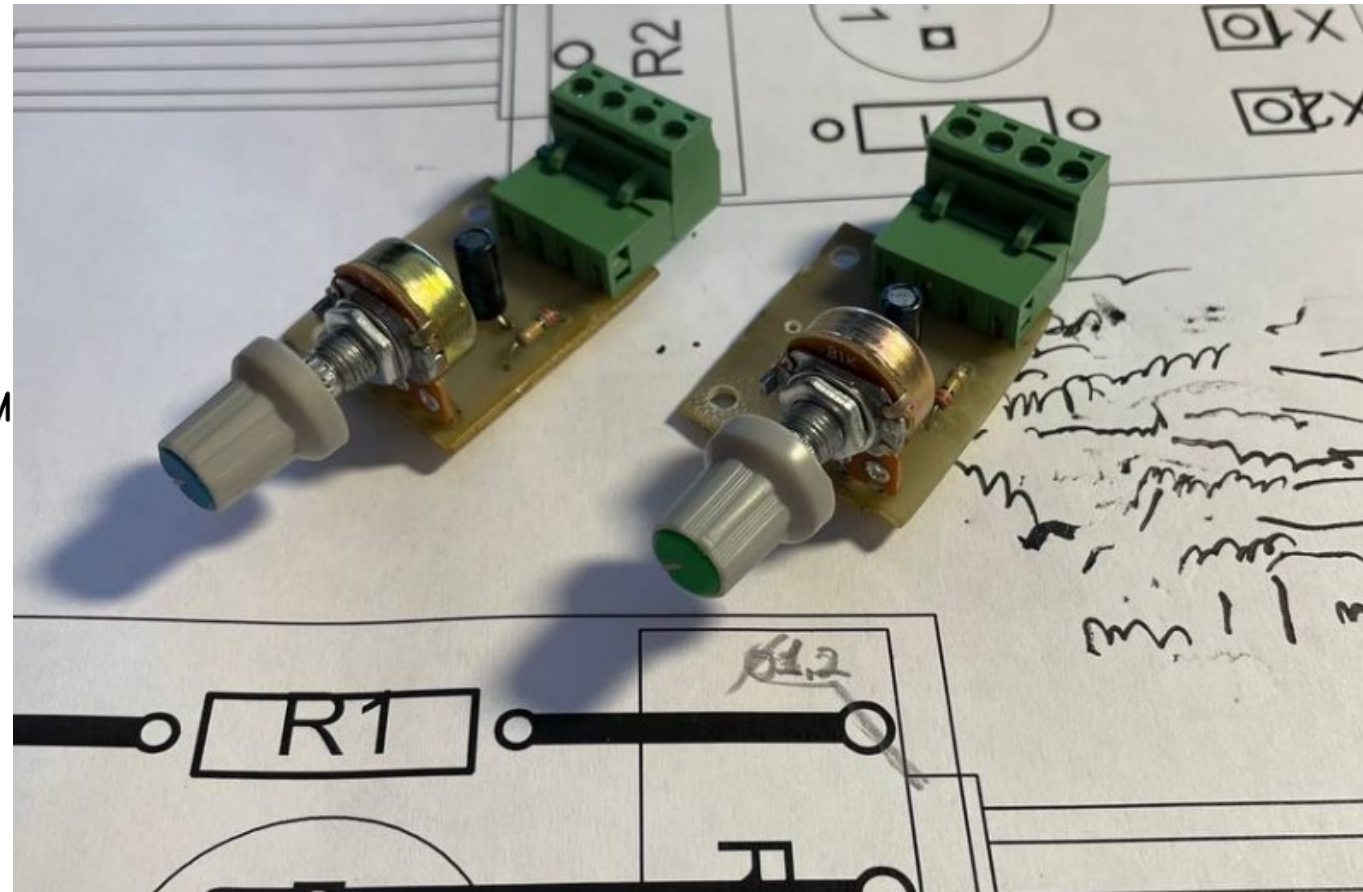
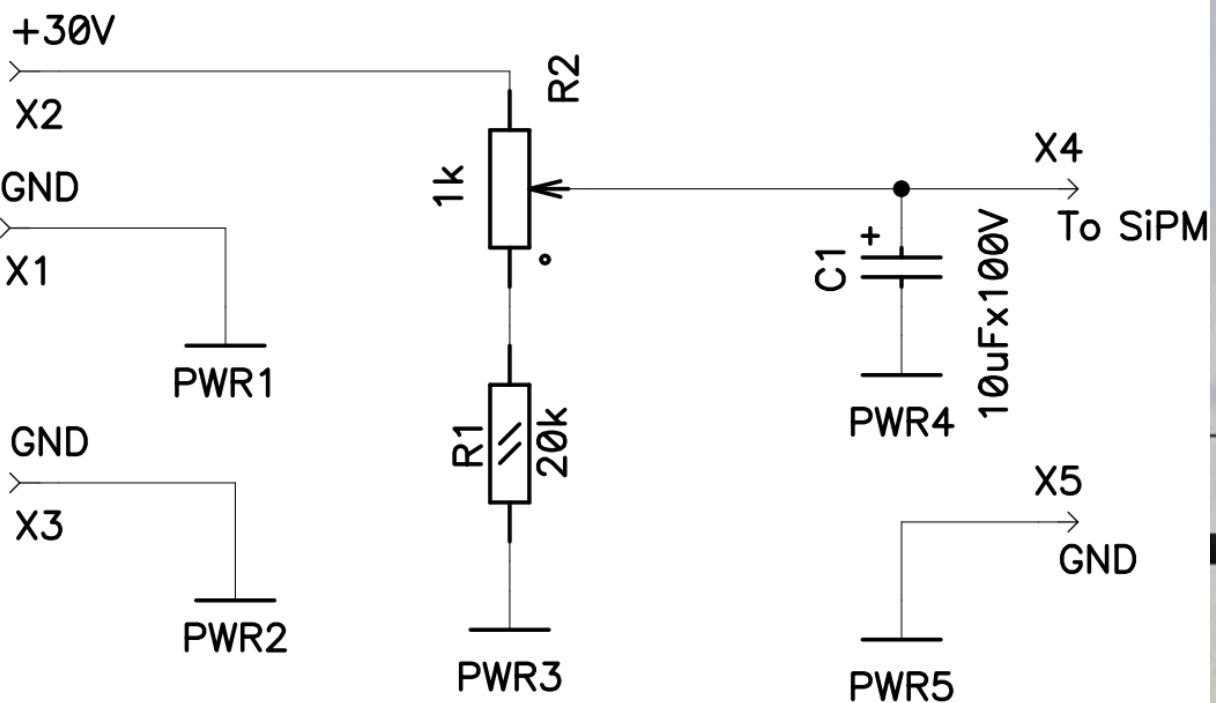
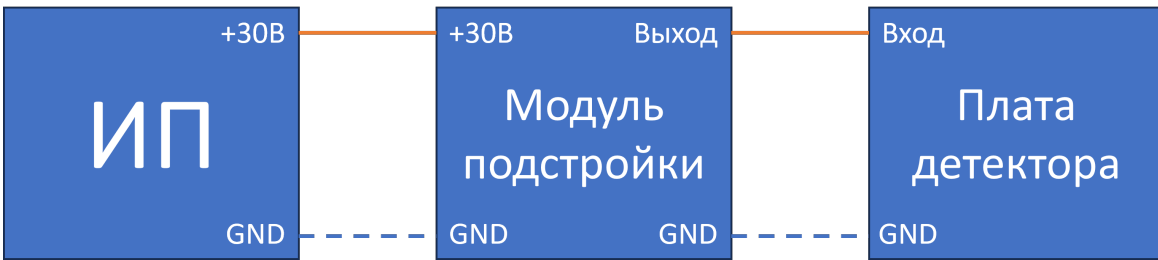


Моделирование на 64 канала

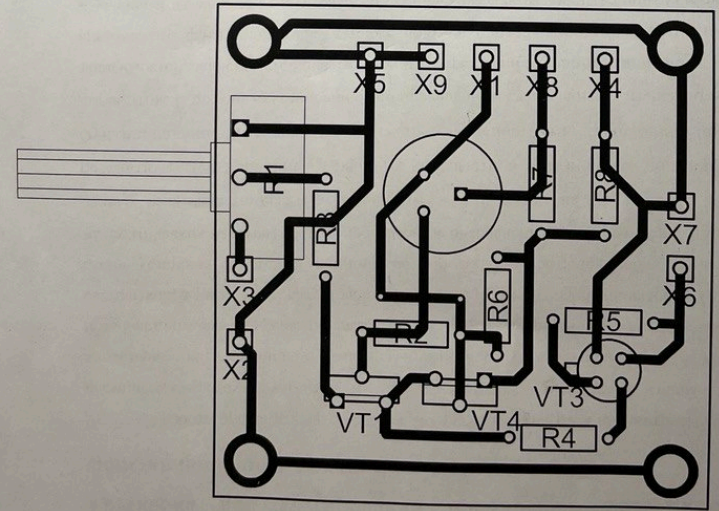
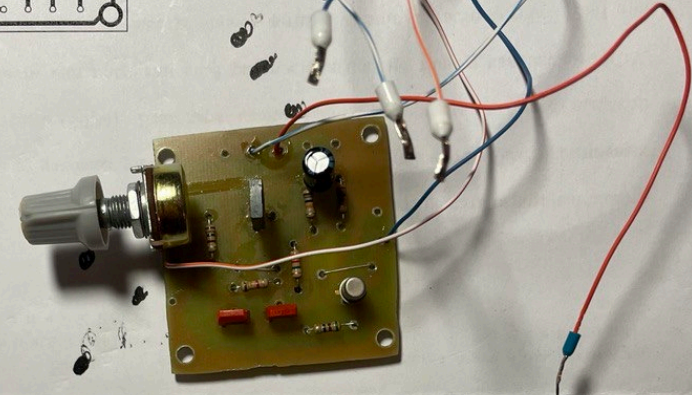
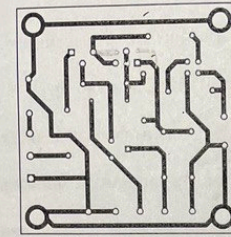
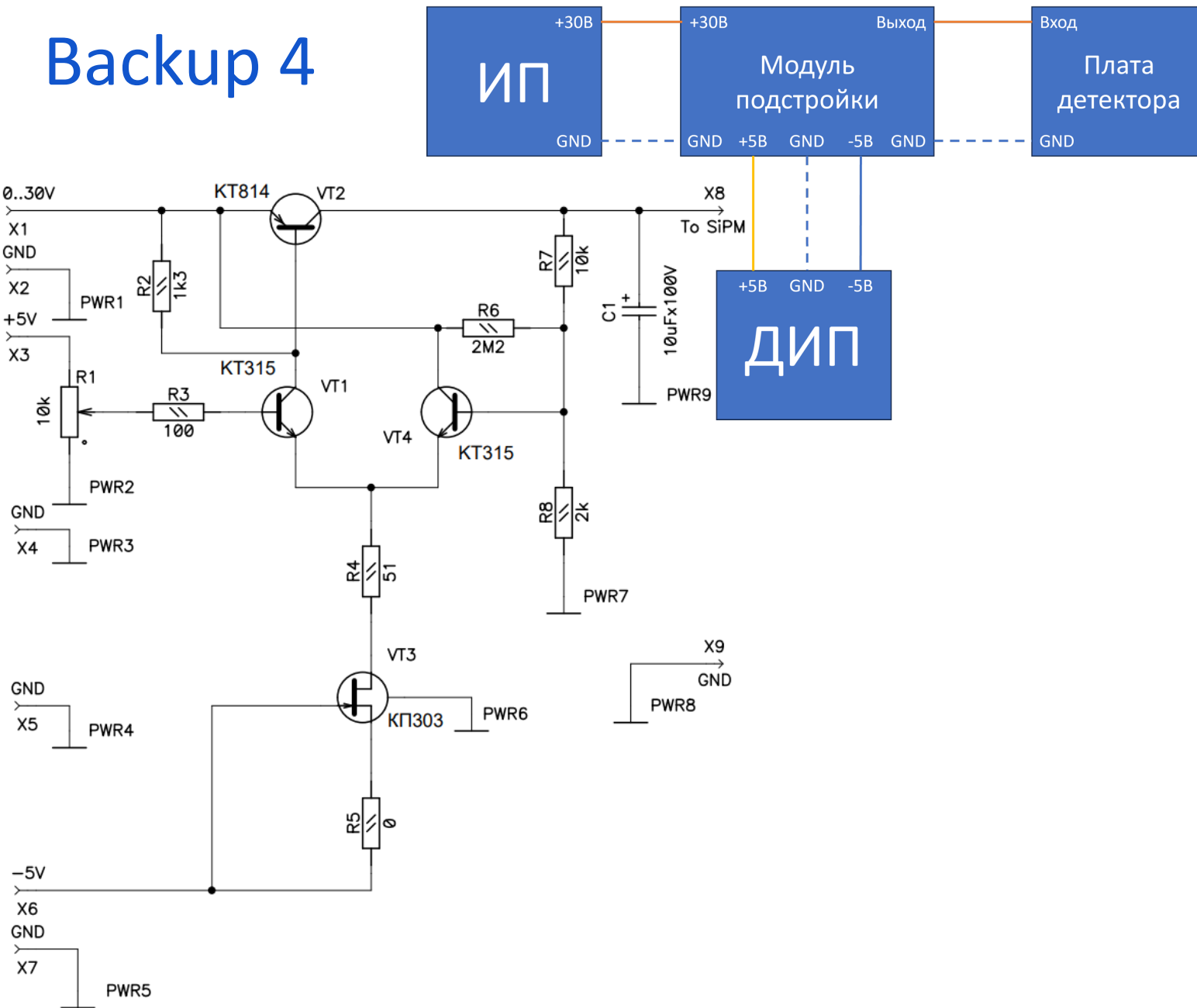
Backup 2



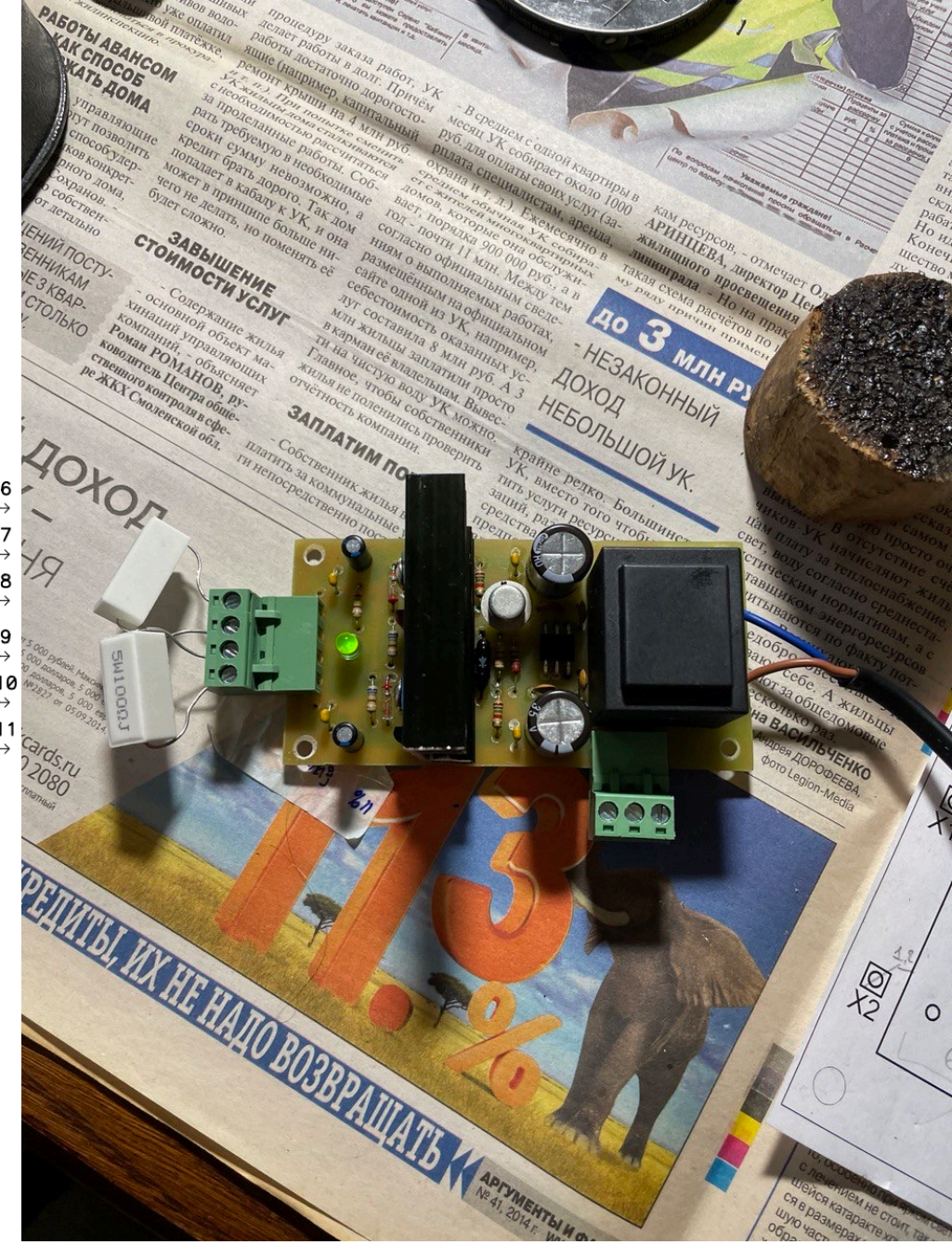
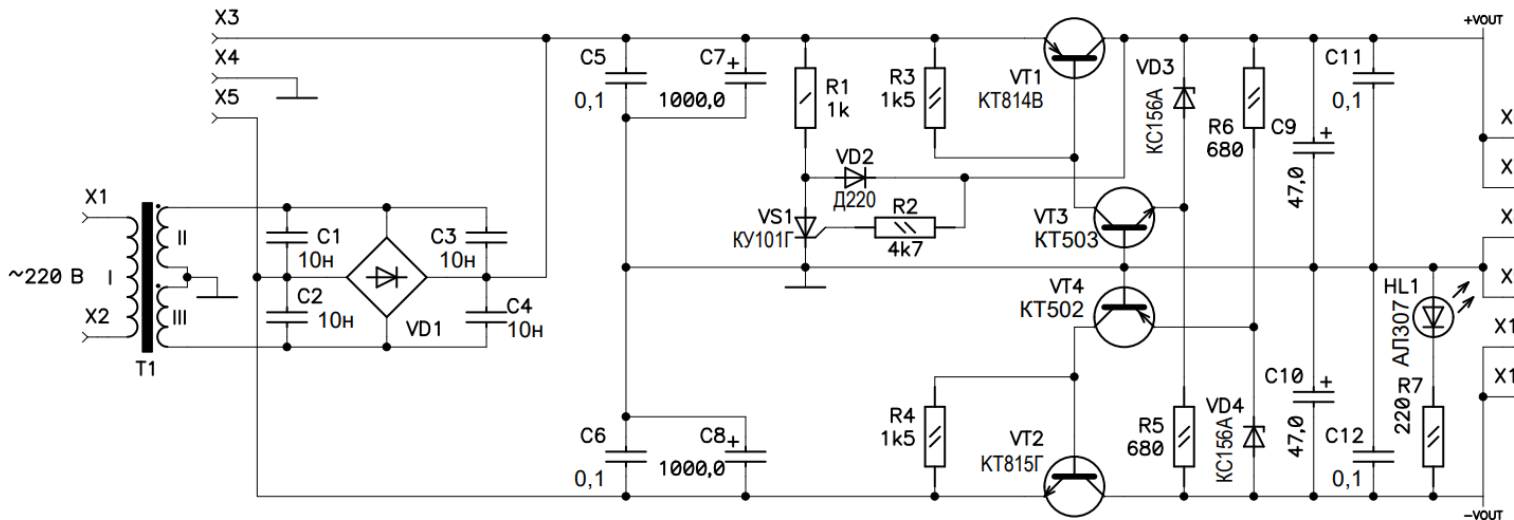
Backup 3



Backup 4

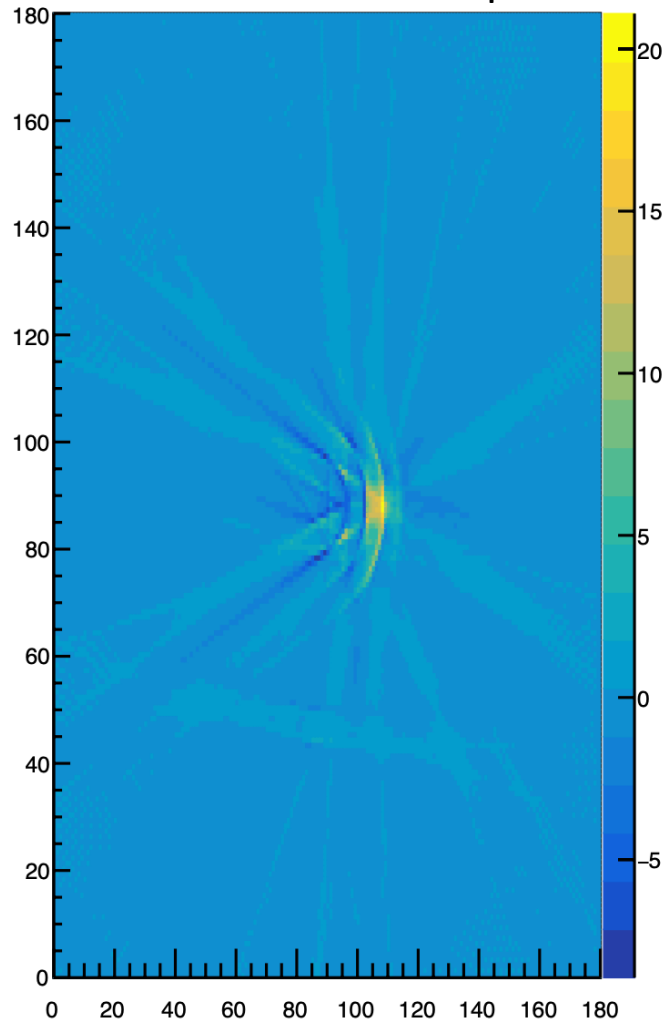


Backup 5

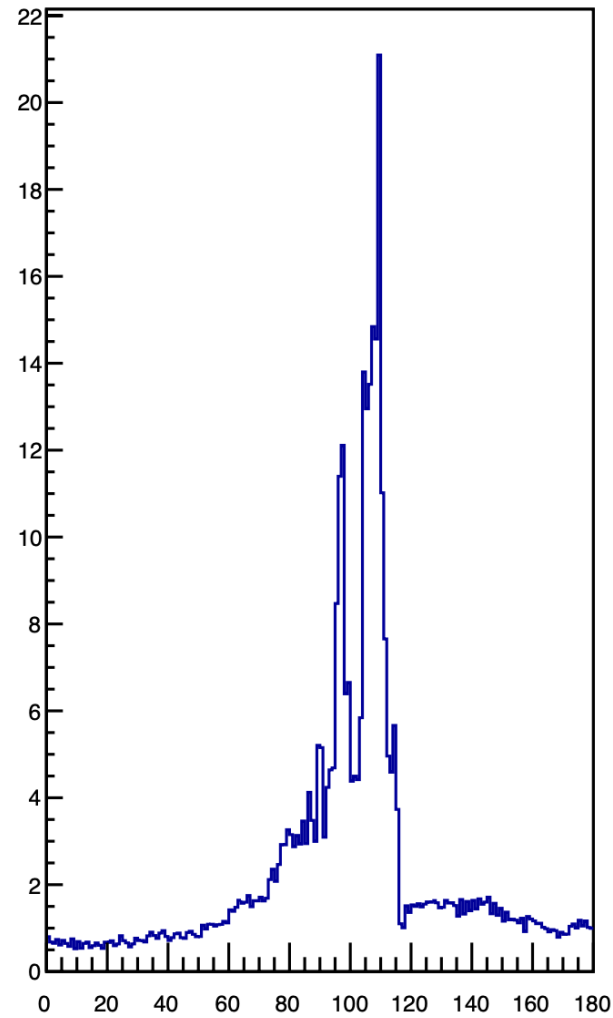


Воскуп 6

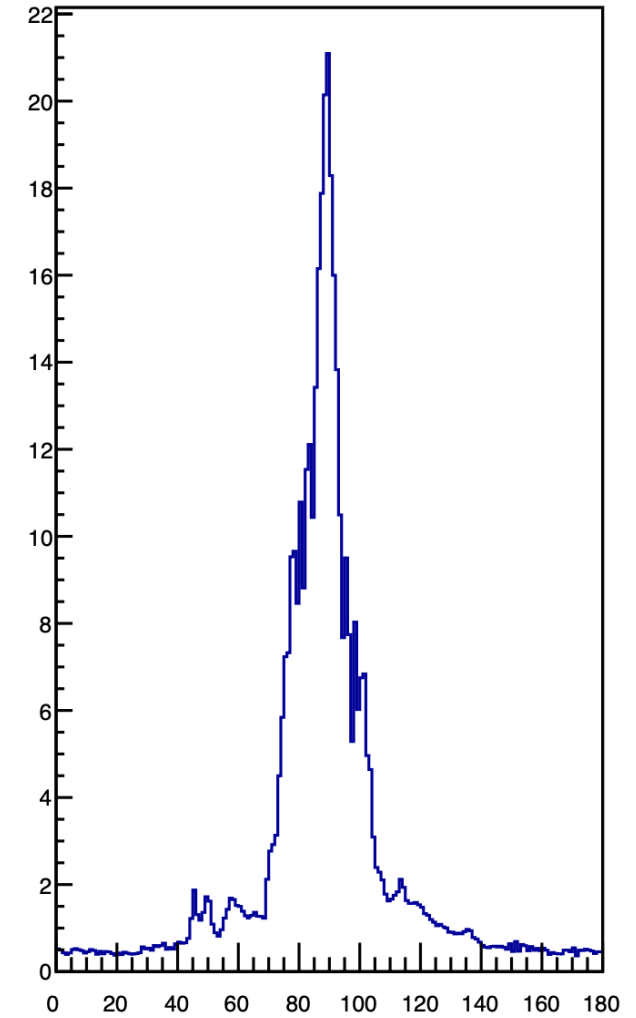
Восстановленное изображение



Проекция на X

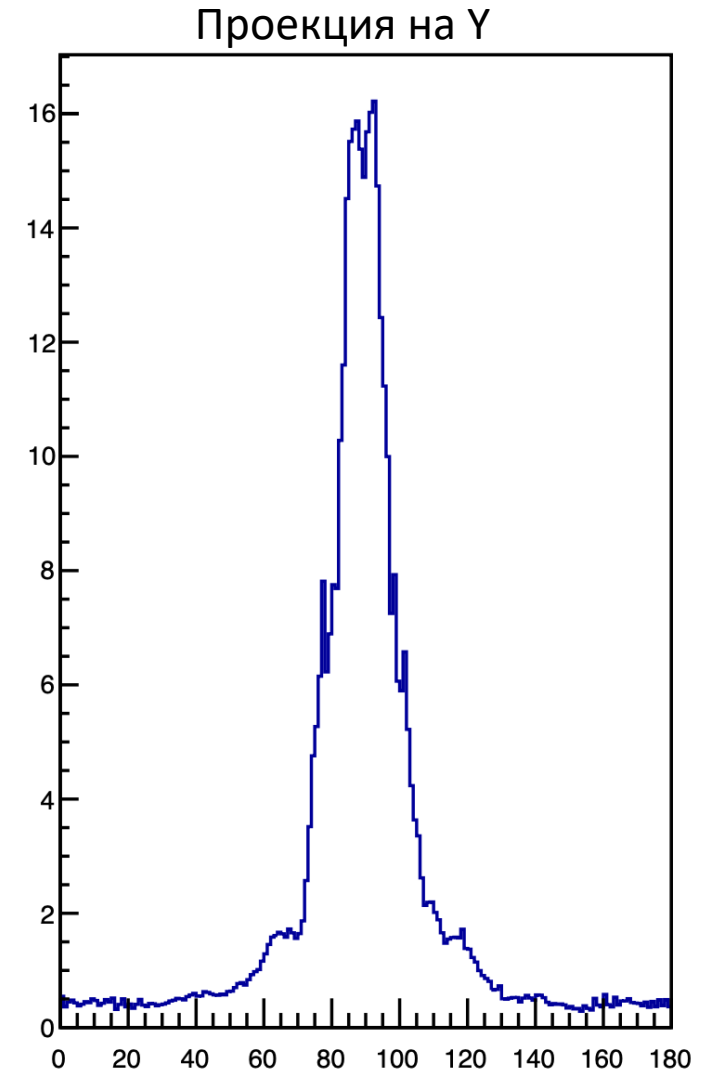
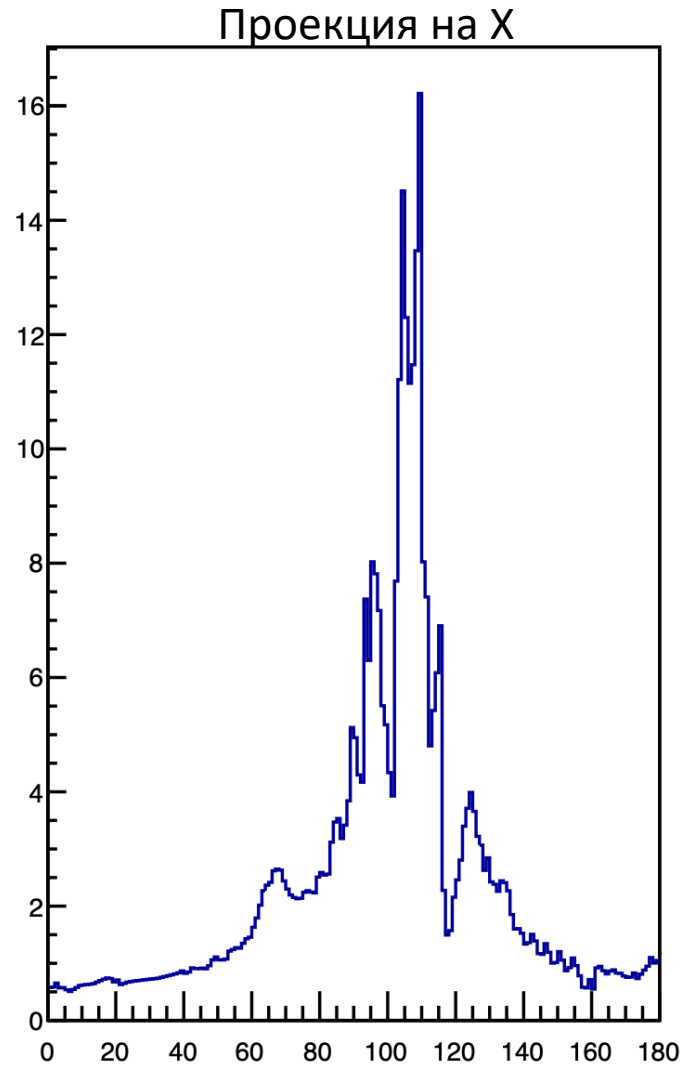
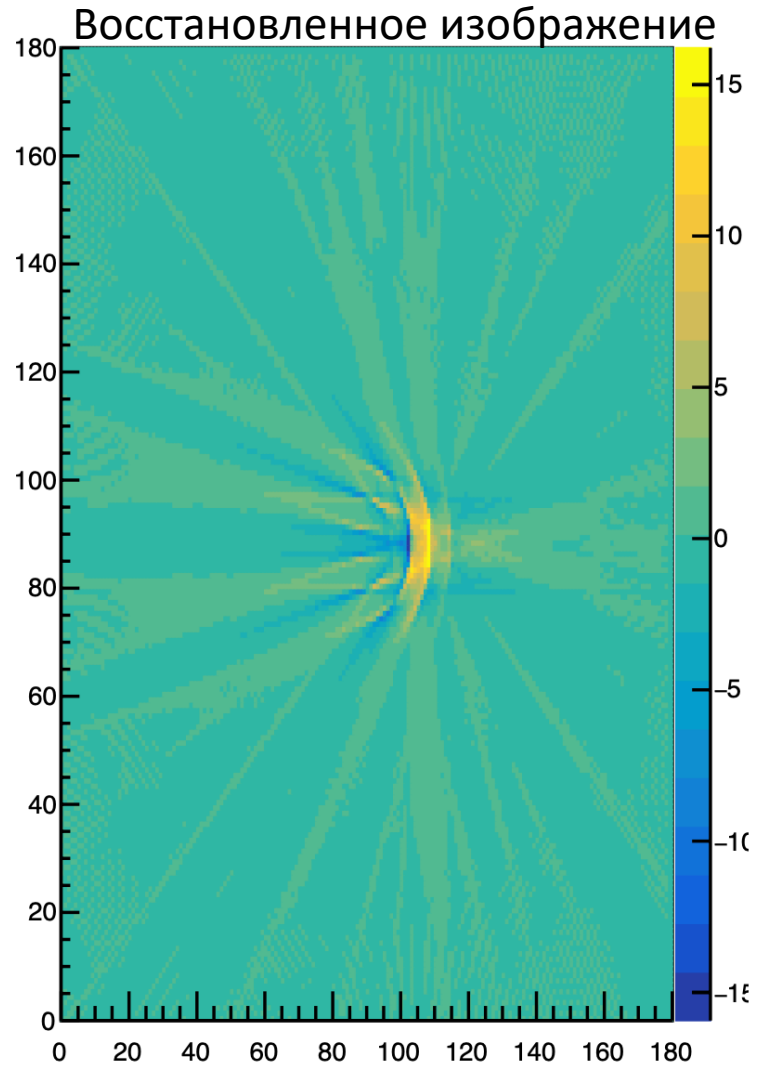


Проекция на Y



BGO

Воскуп 7



GAGG(Ce)