

### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА «ВРЕМЕННОЕ РАЗРЕШЕНИЕ 32-КАНАЛЬНОГО МИНИПЭТ НА ОСНОВЕ ДЕТЕКТОРОВ GAGG-SIPM»

Научный руководитель: Дубинин Филипп Андреевич Студент: Козлов Андрей Александрович Б21-102

Москва 2025

#### Введение

Позитронно-эмиссионный томограф (ПЭТ) является современной ядерно-физической установкой, применяемой в медицине в диагностических целях. Одним из ключевых параметров ПЭТ является временное разрешение установки, позволяющее локализовать точку аннигиляции.

Для улучшения качества изображения, получаемого с 32-канального макета миниПЭТ, созданного в НИЦ «Курчатовский Институт», необходимо измерение его временного разрешения.



Рис. 1

### Цель работы



#### Измерение временного разрешения макета миниПЭТ на основе детекторов GAGG-SiPM

### Задачи:

- Определить оптимальные параметры анализатора PETIROC2A для измерения временного разрешения
- Собрать двухканальную установку для оценки временного разрешения на основе электроники макета миниПЭТ
- Получить значение временного разрешения для 32 каналов миниПЭТ

### Макет ПЭТ





Рис. 2 – Экспериментальная установка

### Определение оптимальных параметров анализатора PETIROC2A

Цель: получить наилучшее энергетическое разрешение при изменении параметров платы

К настраиваемым параметрам платы относятся:

- Порог в канале «Time»
- Ёмкости конденсаторов на усилителе-формирователе Cin и Cf
- Персональные пороги для каждого из 32 каналов



Рис.3 Схематическое изображение элементов тестовой платы Petiroc2A

нияу

NCDV

## Определение оптимальных параметров платы для GAGG-SiPM



Варьировались вручную параметры Cin и Cf, влияющие на ёмкости на усилителе-формирователе.



Charge measurement

Рис. 4 – усилительформирователь По результатам измерений различных конфигураций Cin и Cf для детекторов GAGG-SiPM были получены следующие оптимальные параметры и наилучшее энергетическое разрешение:

- Cin = 2.5 ⊓Ф
- Cf = 0.4 ΠΦ
- Time Threshold = 470 y.e.
- δE = (13.4 ± 0.4)% для 511 кэВ

Дальнейшие измерения проходили при данной конфигурации.

Измерение временного разрешения двухканальной установки с детекторами GAGG-SiPM



### Цель: определить временное разрешение двухканальной установки

Изучаемая реакция:



Рис. 5 – схема эксперимента по определению временного разрешения

Необходимо изучить распределение разности времён регистрации гаммаквантов в каналах для определения временного разрешения

### Измерение временного разрешения двухканальной установки

Десятичный логарифм числа событий Entries 602200 10<sup>5</sup> Mean 81.06 Std Dev 115.7 10<sup>4</sup> 03 10<sup>2</sup> 200 600 400 800 1000 Номер канала

Для определения временного разрешения производился отбор событий, отвечающих пику 511 кэВ на зарядовом спектре

Зарядовая гистограмма канала 5 при 29 В

Рис. 6 – зарядовая гистограмма канала 5 при 29 В

нияу

### Измерение временного разрешения двухканальной установки GAGG-SiPM



Рис. 7 – гистограмма разности времён регистрации исследуемых каналов для 29 В Цена канала – 37 пс

$TR = rac{2.35\sigma * 37  \text{nc}}{\sqrt{2}}$		
Рабочее напряжение, В	Временное разрешение, нс	
30	1.10 ± 0.05	
29	1.18 ± 0.04	
28	1.50 ± 0.04	
27	1.83 ± 0.06	

Таблица 1 – зависимость временного разрешения детекторов GAGG-SiPM от рабочего напряжения нияу

### Измерение временного разрешения



Рис. 8 – гистограмма разности времён регистрации исследуемых каналов для 28 В

При понижении напряжения наблюдается смещение и размытие пика

Рис. 9 – гистограмма разности времён регистрации исследуемых каналов для 27 В



НИЯУ

исри

Измерение временного разрешения двухканальной установки с детекторами LYSO-SiPM Аналогично были определены параметры PETIROC2A, отвечающие наилучшему энергетическому разрешению установки LYSO-SiPM

Результаты подбора параметров:

- Cin = 1.25 пФ
- Cf = 0.3 πΦ
- Time Threshold = 470 y.e.
- δE = (11.4 ± 0.5)% для 511 кэВ

Схема эксперимента



Рис. 10 – схема эксперимента по определению временного разрешения для детекторов LYSO-SiPM

нияу

CDV

### Измерение временного разрешения двухканальной установки LYSO-SiPM





Рис. 11 – гистограмма разности времён регистрации исследуемых каналов для 29 В

$TR = rac{2.35\sigma * 37  \text{nc}}{\sqrt{2}}$		
Рабочее напряжение, В	Временное разрешение, пс	
29.5	311 ± 6	
29	269 ± 6	
28	317 ± 7	
27	537 ± 12	

Таблица 2 – зависимость временного разрешения детекторов LYSO-SiPM от рабочего напряжения

### Измерение временного разрешения 32-канального макет ПЭТ





Измерения проводились при напряжении 29 В и оптимальных для детектора GAGG-SiPM параметрах PETIROC2A

> Источник титан-44 в центре кольца ПЭТ

В ходе обработки результатов измерений учитывались различия в энергетических спектрах каждого из 32 каналов

Рис. 12 – макет ПЭТ в светозащитном чехле

### Измерение временного разрешения макета ПЭТ







Рис. 13 – гистограмма разности времён регистрации гамма-квантов в противоположных каналах ПЭТ при напряжении 29 В

### TR = 1.82 ± 0.09 нс

Наблюдается увеличение ширины гистограммы в сравнении с двухканальной установкой – причиной этому могут являться отклонения в значениях среднего и ширине у разных пар каналов

#### Заключение



- Для макета ПЭТ были определены оптимальные параметры платы PETIROC2A для детектора GAGG-SiPM Onesemi FC 30035. Наилучшее энергетическое разрешение составило 13.1 ± 0.3 %
- Было определено временное разрешение двухканальной установки с детекторами GAGG-SiPM. Лучшее временное разрешение было достигнуто на напряжении в 30 В и составило:

TR<sub>GAGG</sub>= (1.10 ± 0.05) нс

 Были определены оптимальные параметры PETIROC2A для детекторов LYSO-SiPM. Для двухканальной установки с данными детекторами наилучшее временное разрешение было достигнуто при напряжении 29 В и составило:

TR<sub>LYSO</sub> = (269 ± 6) пс

 Для напряжения 29 В было определено временное разрешение 32канального макета миниПЭТ:

TR<sub>PET</sub> = (1.82 ± 0.09) HC



# Спасибо за внимание!

### Дополнительный слайд Nº1



Analogue outputs (2) 🔕 Power supply regula Bias voltage test points ISB .... Digital **FPGA** ΩW 32 inputs PETIROC2A I/Os TRIGE 2 FPGA's output

#### Тестовая плата Petiroc2A (вид сверху)

1.VCC\_Selection – переключатель режима питания микросхемы

2.Коннектор для подачи питания на плату (6 V)

3.Регуляторы питания

4.Тестовые точки подключения для ПЛИС (программируемой логической интегральной микросхемы)

### Дополнительный слайд Nº2





Метод измерения времени анализатором PETIROC2A

### Дополнительный слайд Nº3





### Дополнительный слайд №4





### Дополнительный слайд №5



	LYSO(Ce)	GAGG(Ce)	LaBr₃(Ce)
Плотность, г/см <sup>3</sup>	7.2	6.6	5.1
Эффективный Zeff (атомный номер)	54	54.4	50
Максимум спектра высвечивания, нм	410	530	380
Время высвечивания, нс	40	90 (90%) 255 (10%)	16
Световыход, фотоны/кэВ	32	>50 (заявленное значение)	61
Гигроскопичность	-	-	Значительная
Наличие собственного фона	+	-	+

Основные характеристики сцинтилляторов LYSO(Ce), GAGG(Ce), LaBr3(Ce)

### Дополнительный слайд №6



Характеристики SiPM OneSemi FC-30035		
Размер сенсора	3х3 мм	
Размер ячейки	35 мкм	
Напряжение пробоя	24.2-24.7 B	
Длина волны максимума эффективности	420 нм	
Усиление	3x10 <sup>6</sup>	
Темновой счёт	300-860 кГц	