

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»



Научно-образовательный центр

**НЕВОД**



## *Установка ПРИЗМА-36 для исследования ШАЛ и вариаций нейтронного фона*

Громушкин Д.М.\* , Волков Е.П., Киндин В.В., Коновалова А.Ю., Моргунов Е.С., Пасюк Н.А.,  
Почестнев А.Д., Стенькин Ю.В., Хомчук Е.П., Хохлов С.С., Шульженко И.А.

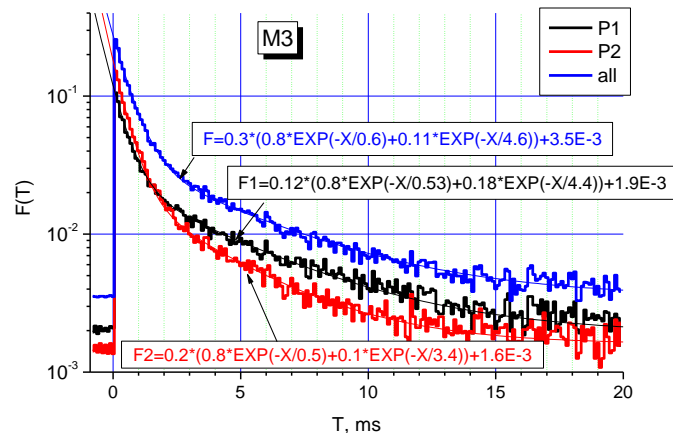
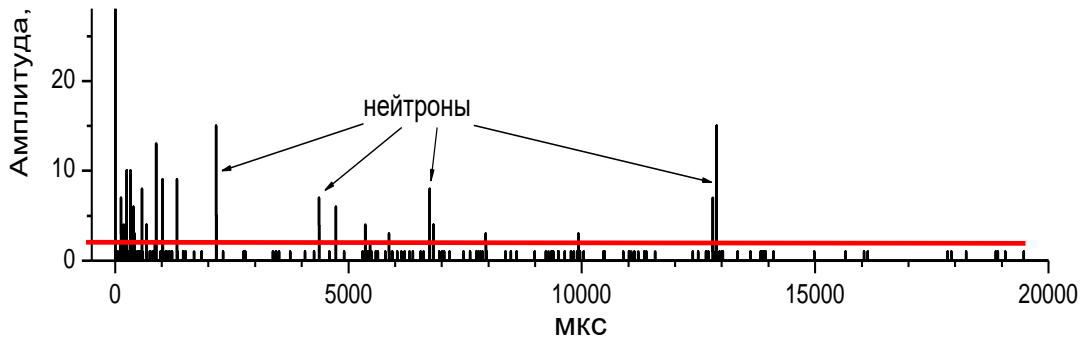
# Установка ПРИЗМА-32

В Экспериментальном комплексе НЕВОД с 2012 по 2023 год работала установка ПРИЗМА-32 для регистрации нейтронов, сопровождающих ШАЛ.

Установка была создана в рамках проекта PRISMA (PRIMary Spectrum Measurement Array) при совместном участии ИЯИ РАН и НИЯУ МИФИ.

На установке был проведен ряд исследований и получены первые результаты по регистрации нейтронов ШАЛ, что послужило началом создания установок:

- УРАН (НИЯУ МИФИ)
- ENDA-LHAASO
- PRISMA-YBJ
- ENDA-INR



Временное распределение нейтронов ШАЛ (несколько временных компонент)

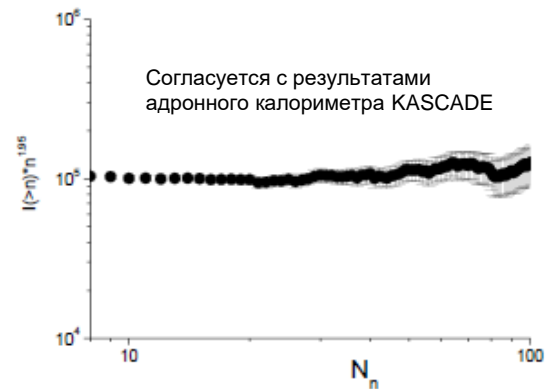


Figure 5: Experimental integral distribution  $I_2$  in the number of thermal neutrons.

# Модернизация установки

Установка ПРИЗМА-32 - четвертый этаж здания ЭК НЕВОД (НИЯУ МИФИ, 170 м над уровнем моря), вокруг черенковского водного детектора.

Два кластера по 16 эн-детекторов.

Диапазон измерений:

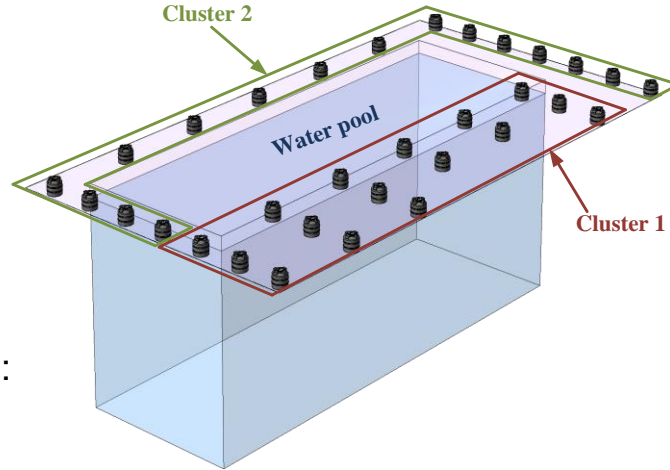
- по заряженным частицам:

20 - 75000/дет.;

- по нейтронам:

1 - 1000/дет.;

- по первичной энергии:  
(0.3 – 30 ПэВ).



Основные проблемы:

- выход из строя ФЭУ-200
- устаревание электроники
- интегрирование в СГВС ЭК НЕВОД
- неравномерная структура кластеров

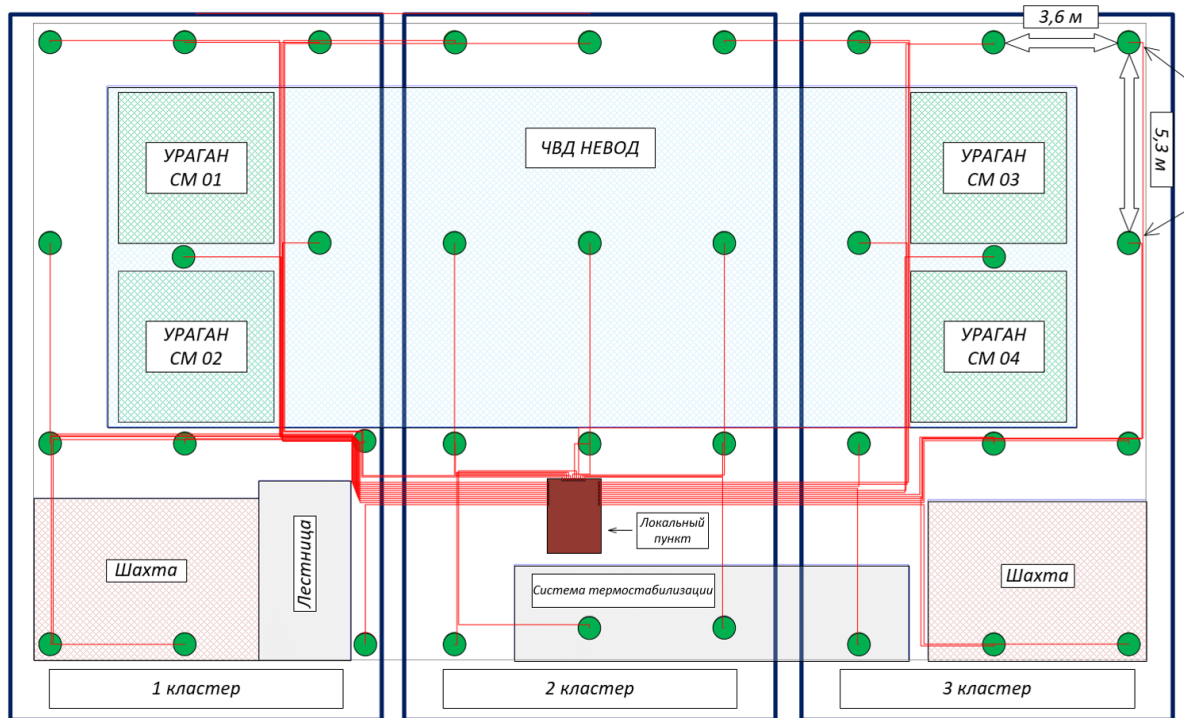
С целью продолжения работы установки в 2023-2024 году разработан проект и проведена **глобальная модернизация установки**, в рамках которой:

- заменены ФЭУ;
- увеличено число детекторов;
- изменена структура;
- обновлена регистрирующая электроника;
- заменена система питания;
- создан отдельный канал для регистрации нейтронного фона.

# Установка ПРИЗМА-36

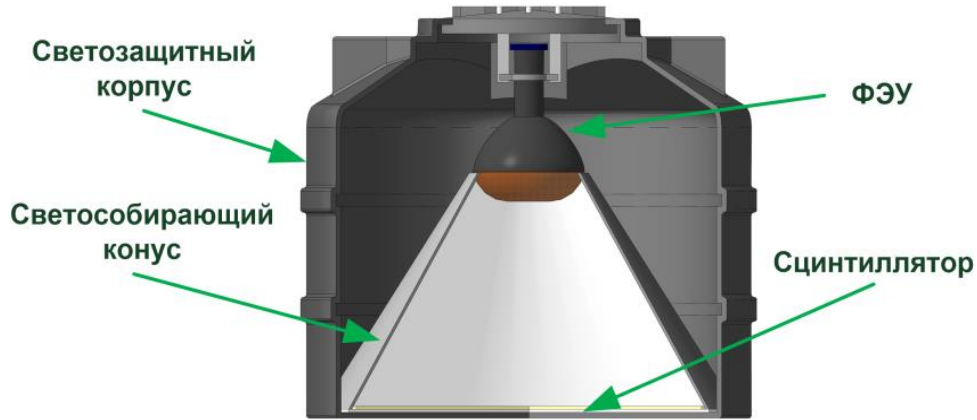
## Основные задачи:

- Регистрация электронно-фотонной и адронной компонент ШАЛ
- Исследование вариаций нейтронного фона

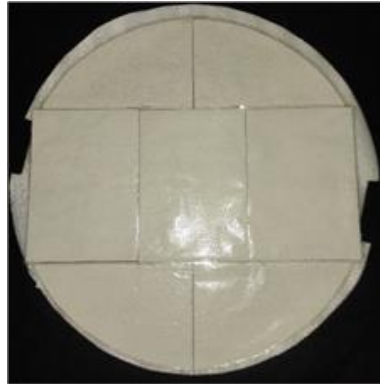
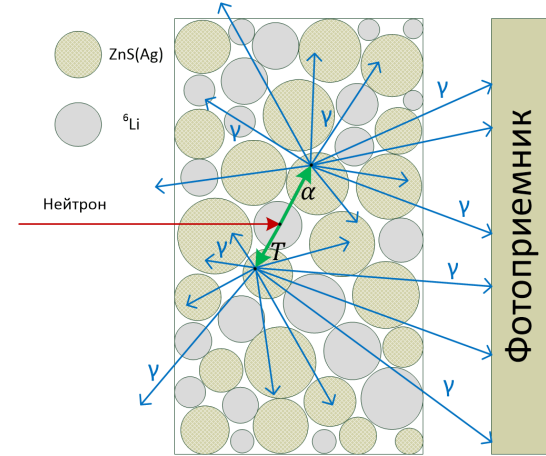


- Три кластера по 12 эн-детекторов
- Сцинтиллятор  $ZnS(Ag)+{}^6LiF$
- Шаг размещения 3.6 м x 5.3 м
- ФЭУ ЕМІ 9350КА
- Делитель с тремя ИУ
- Внутренний триггер
- Единый локальный пункт
- Управление из ЦП

# Конструкция эн-детектора



Светосостав СЛ6-5 на основе неорганического сцинтиллятора ZnS(Ag) и LiF, обогащенного до 90% изотопом  ${}^6\text{Li}$  ( ${}^6\text{Li} + n = {}^3\text{H} + \alpha + 4.8 \text{ МэВ}$ )



При регистрации нейтрона образуется  $\sim 160000$  фотонов.

Медленная компонента позволяет проводить отбор по форме импульса.

Толщина регистрирующего слоя  $\sim 30 \text{ мг/см}^2$ .  
Эффективность захвата тепловых нейтронов около 20%.

# Детектирующий блок

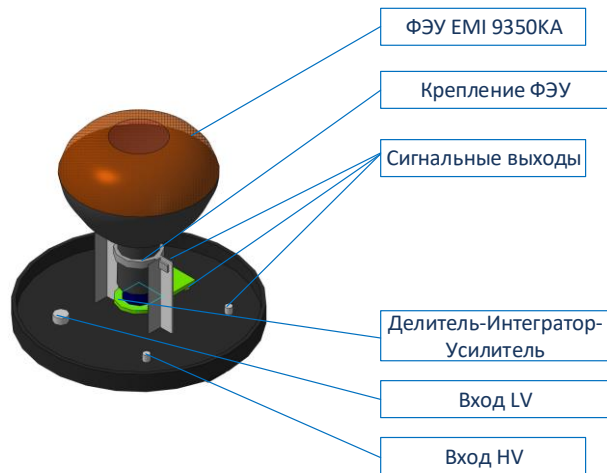
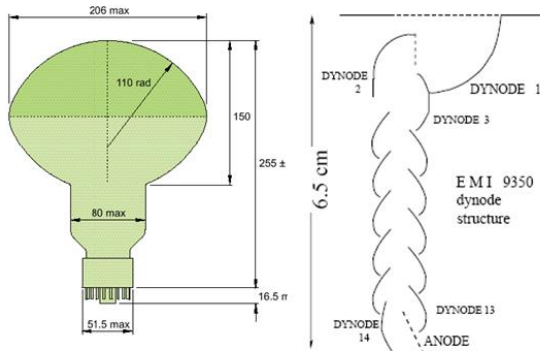
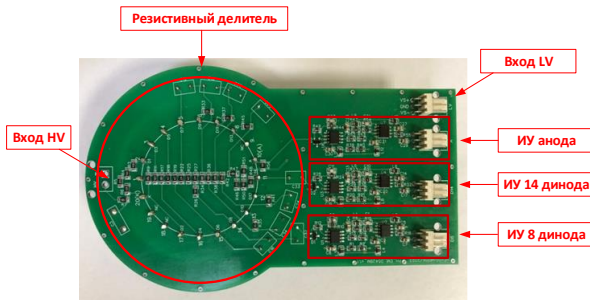


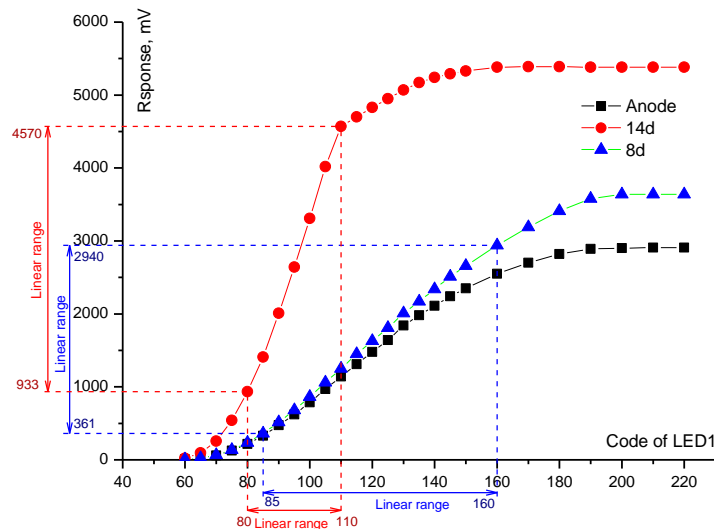
Схема детектирующей сборки



Габаритные размеры и структура  
динодной системы ФЭУ EMI 9350KA

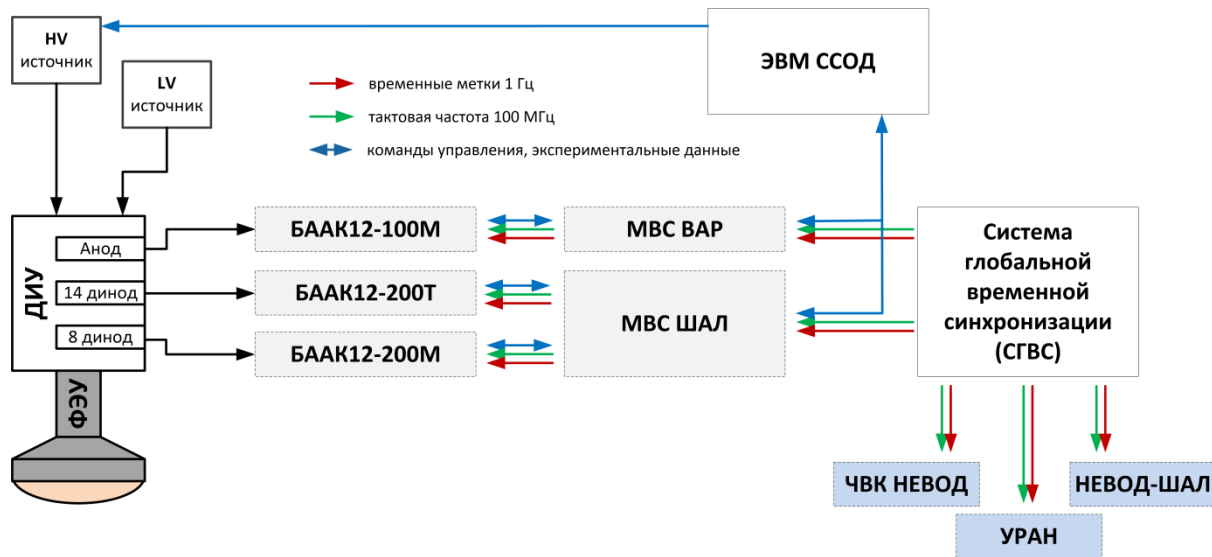


Канал	Инт., мкс	К, мВ/пКл
8 динод	1.5	172.1 ± 6.6
14 динод	1.5	22.2 ± 0.3
Анод	2.7	4.0 ± 0.1



Зависимость отклика каналов детектирующей сборки от  
кода светодиодной подсветки

# Система регистрации



## БААК-12:

12 каналов по 12 бит

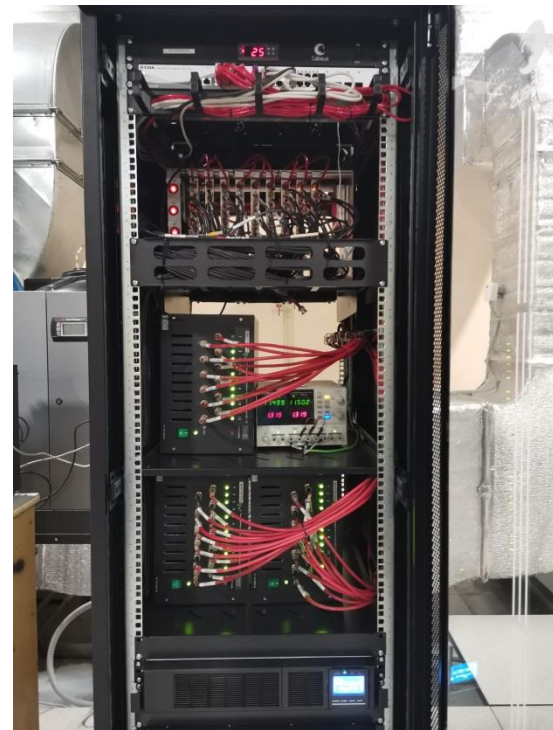
диапазон амплитуд от -3.5 до + 3.5 В

- 100М - 2048 точки по 10 нс
- 200Т - 1024 точки с шагом 5 нс и 20000 точек с шагом 1 мкс
- 200Т - 1024 точки с шагом 5 нс



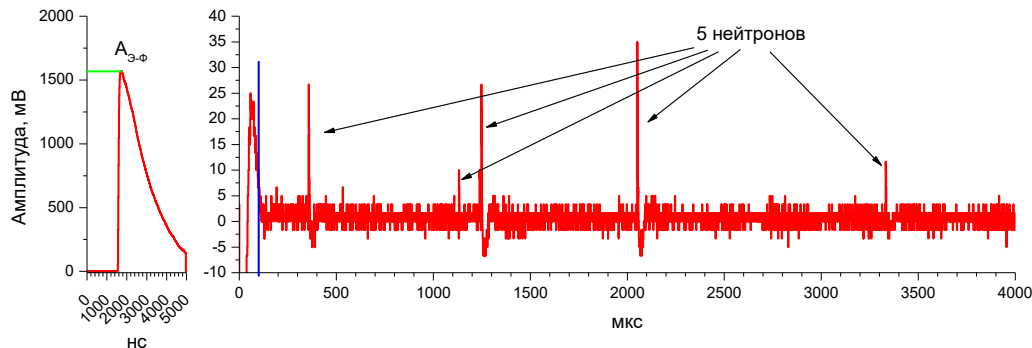
Запись каждого события с временной меткой с точностью 10 нс.

Синхронизация между кластерами и данными ЭК НЕВОД - 10 нс.

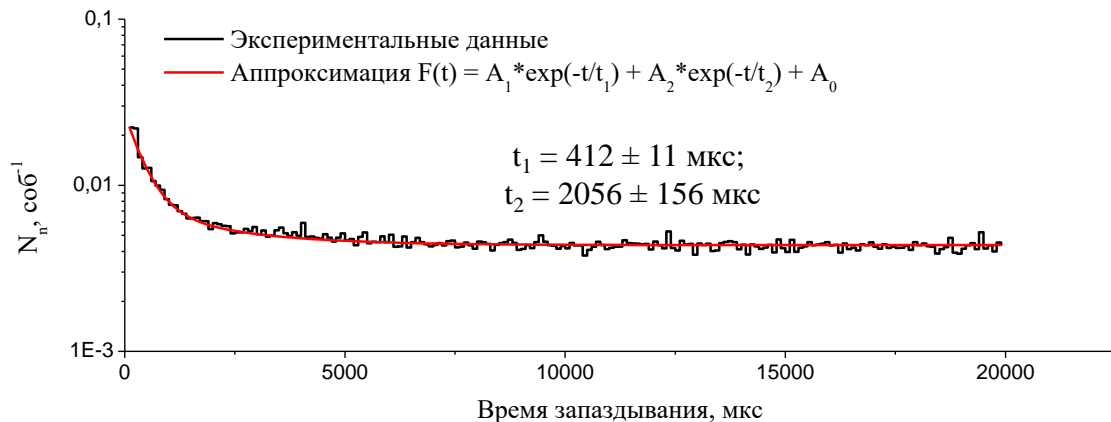


# Регистрация ШАЛ и методика отбора сигналов

Триггерные условия: больше двух детекторов с  $A \geq 10$  кодов АЦП (16 мВ)

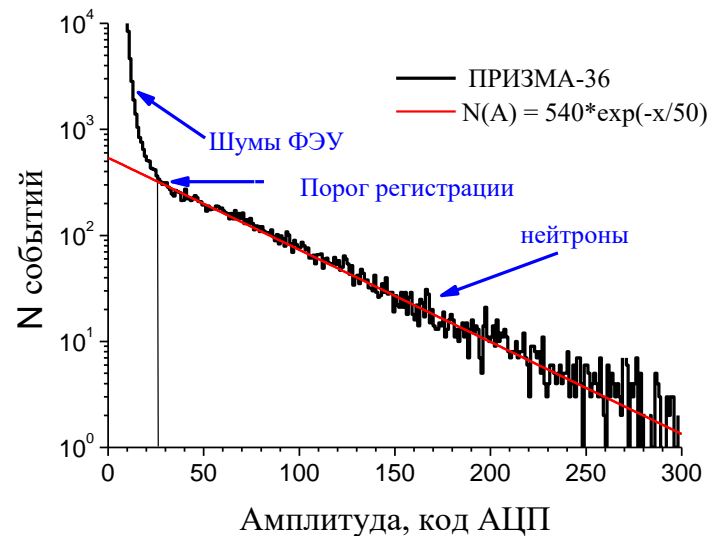


Осциллограмма: 1024 точки с шагом 5 нс и 20000 точек с шагом 1 мкс



Временное распределение тепловых нейтронов сопровождающих ШАЛ

## Оценка эффективности регистрации нейтронов

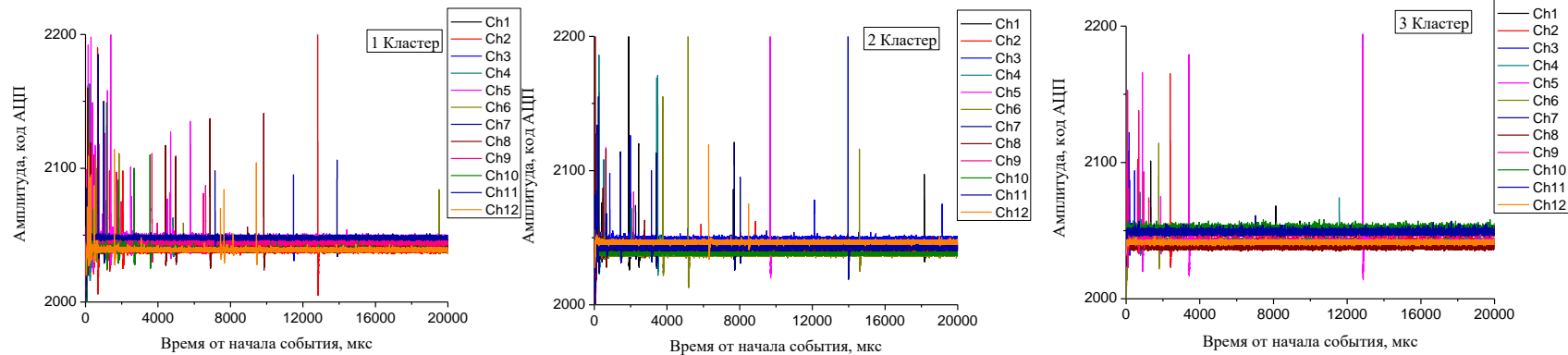


Амплитудный спектр сигналов, определенных как нейтрон ШАЛ

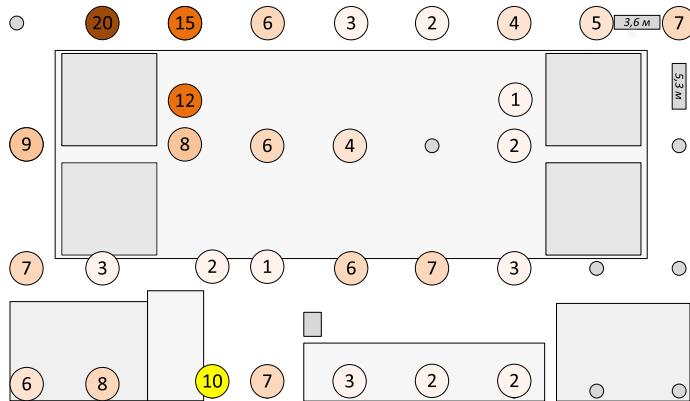
Эффективность регистрации нейтронов ~ 14.3%



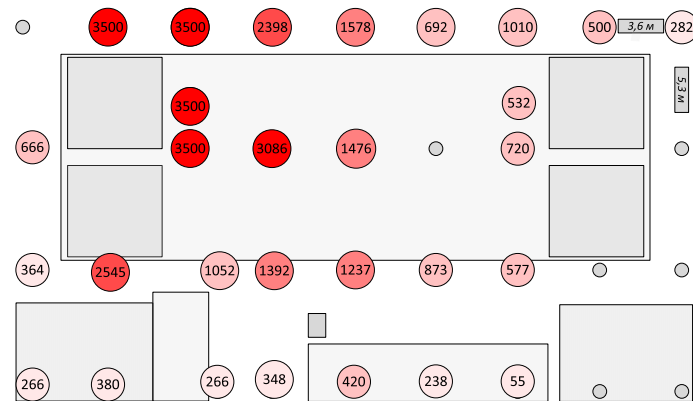
# Пример регистрации ШАЛ



Осциллограммы нейтронов в событии ШАЛ для трех кластеров установки ПРИЗМА-36



Визуализация события - число нейтронов



Визуализация события - фронт ливня

# Возможность режекции сигналов от нейтронов в ШАЛ

Стендовые измерения:

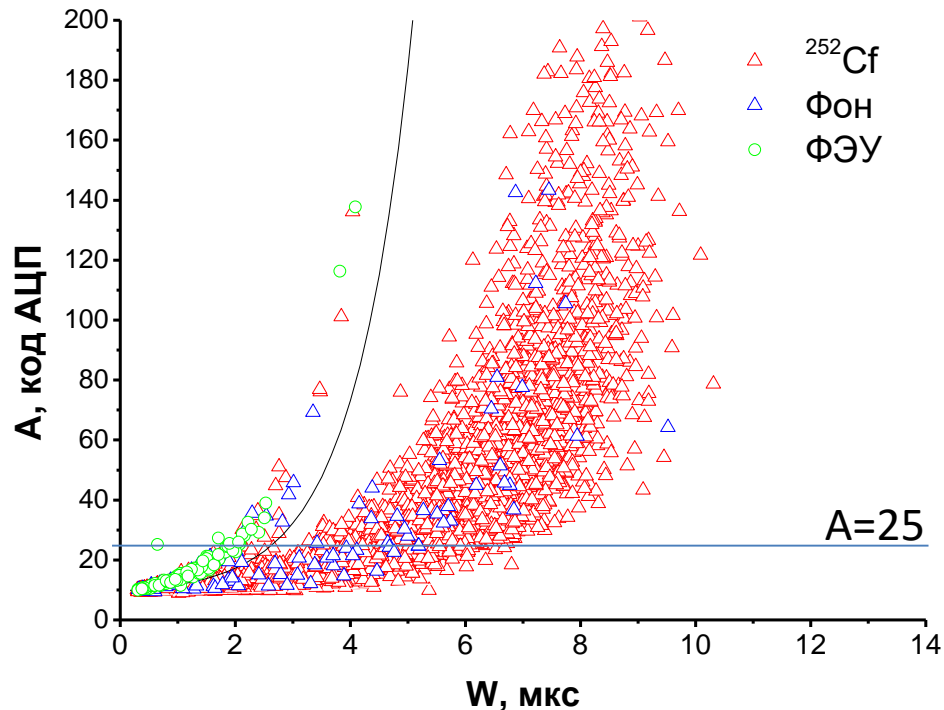
Источник нейтронов  $^{252}\text{Cf}$  ( $\sim 10^3 \text{ с}^{-1}$ )  
в замедлителе

Детектор ПРИЗМА-36

Электроника и методика  
регистрации программа ШАЛ

Преимущества:

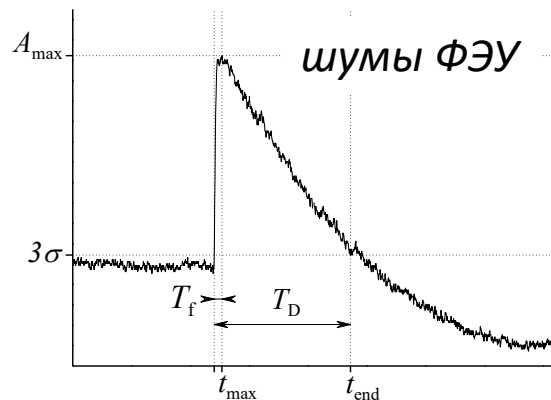
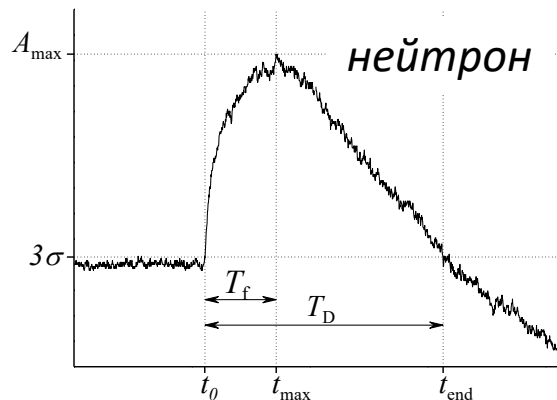
- повышение эффективности регистрации
- снижение уровня шумовых импульсов



Пример корреляции ширины импульса ( $W_9$ )  
от амплитуды сигнала

# Нейтронный фон и методика режекции сигналов

Триггерные условия: любой детектор с  $A \geq 10$  кодов АЦП



Время нарастания фронта:

$$T_f = t_{\max} - t_0$$

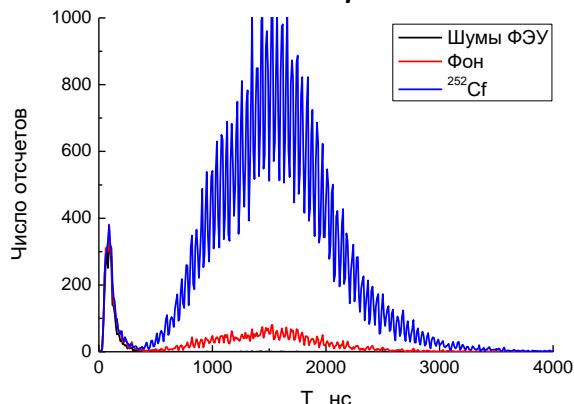
Длительность сигнала:

$$T_f = t_{\text{end}} - t_0$$

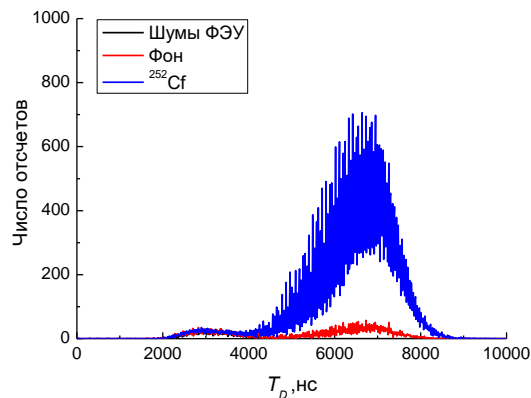
Источник нейтронов:

$^{252}\text{Cf}$  ( $\sim 10^3 \text{ с}^{-1}$ ) в замедлителе

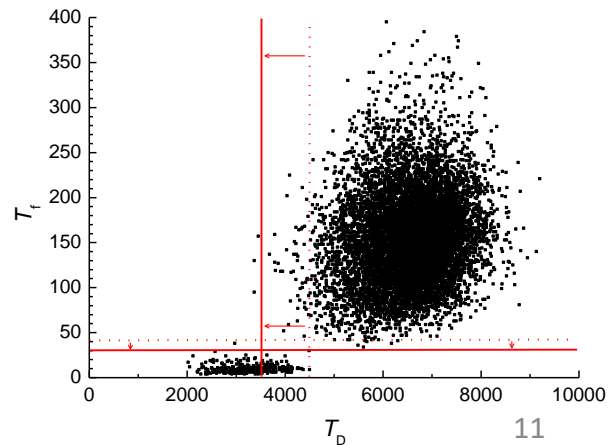
## Определение параметров сигналов



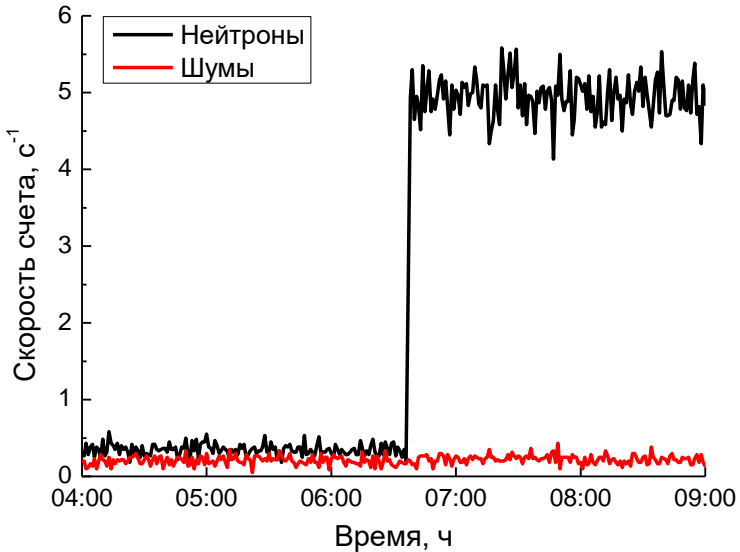
Время нарастания фронта



Длительность сигнала:

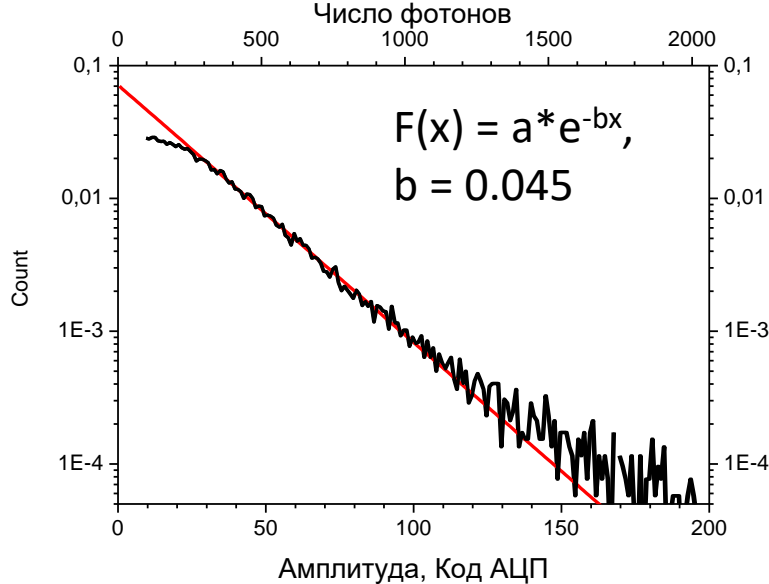


# Тестирование детектора с источником нейтронного излучения



	$N_n, \text{с}^{-1}$	$N_{ch}, \text{с}^{-1}$
Фон	0.35	0,21
$^{252}\text{Cf}$	4.95	0,22

# Оценка эффективности регистрации нейтронов

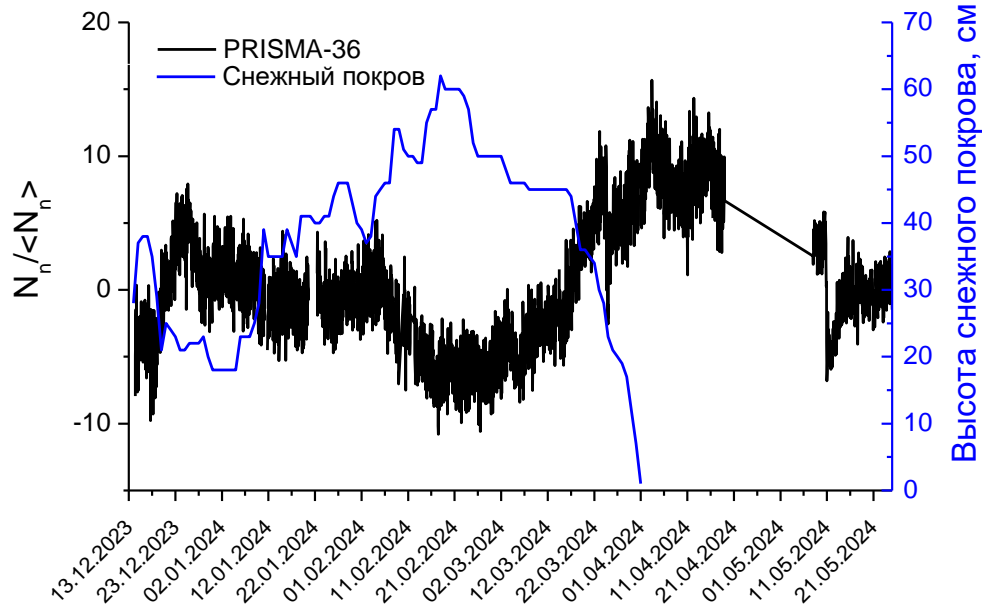


Порог отбора нейтронов ~ 100 фотонов.

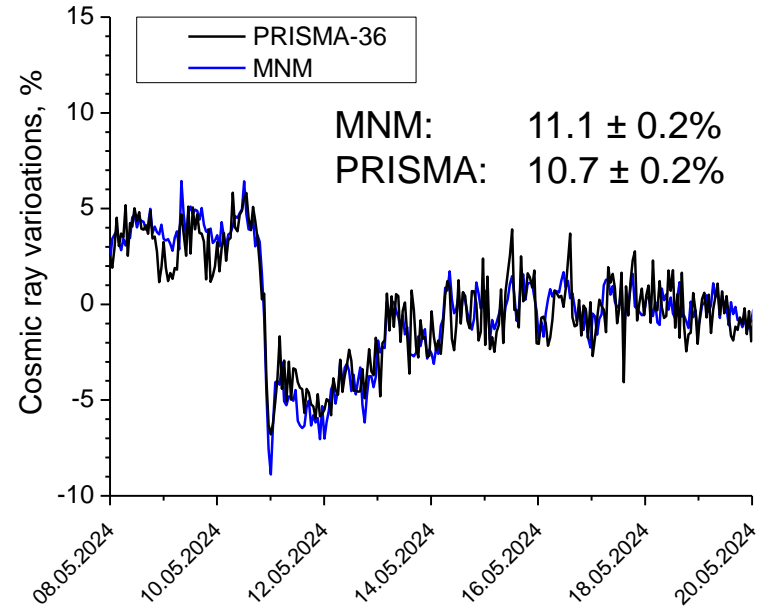
Эффективность захвата тепловых нейтронов сцинтиллятором (СЛ6-5) ~ 20%, тогда эффективность регистрации детектора ~ 12%.

# Вариации нейтронов: первые результаты

## Влияние снежного покрова



## Форбуш-понижение 10.05.2024



Доклад МОД #66 Е.П. Волков

# Заключение

Благодаря глобальной модернизации установки ПРИЗМА-32 создана установка **ПРИЗМА-36**:

- **36 эн-детекторов** на основе сцинтиллятора  $ZnS(Ag)+^6LiF$ ;
- **равномерная структура** расположения детекторов;
- **интеграция в СГВС ЭК НЕВОД**.

Продолжение регистрации **адронов в ШАЛ**, через тепловые нейтроны.

Реализован **отдельный канал для регистрации нейтронного фона** (общая площадь сцинтиллятора более  $\sim 12 \text{ м}^2$ , статистическая обеспеченность  $\sim 20 \text{ нейтронов с}^{-1}$ ).

Оценка эффективности регистрации:

- **нейтронов ШАЛ - 14%**;
- **нейтронного фона - 12%**.

Анализ первых экспериментальных данных, показал возможность регистрации:

- **широких атмосферных ливней** и сопровождающих их **нейтронов**;
- **форбуш-понижений** с амплитудой близкой к данным нейтронных мониторов.

**Спасибо за внимание!**