



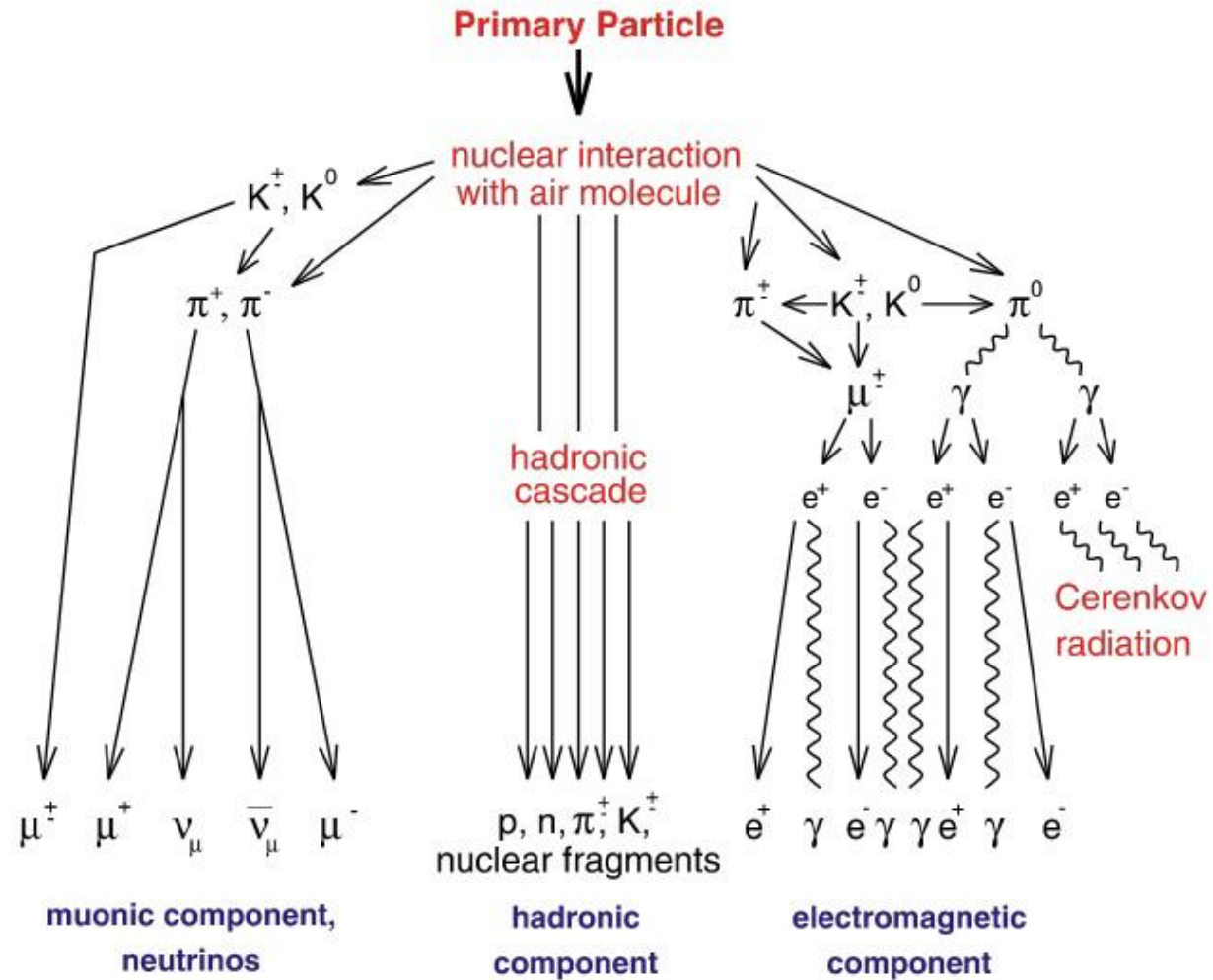
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Исследование отклика установки ПРИЗМА-32 при регистрации широких атмосферных ливней

Работу выполнил: студент бакалавриата Почестнев А.Д.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Громушкин Д.М.

Актуальность



Широкий атмосферный ливень (ШАЛ) образуется в результате множественных каскадных реакций, происходящих в земной атмосфере, при попадании в нее первичной частицы из космоса.

Основные свойства ШАЛ формируются адронной компонентой.

Одним из возможных методов регистрации адронов является регистрация нейтронов, образованных при взаимодействии адронной части ШАЛ с ядрами вещества.

Для изучения нейтронов, сопровождающих ШАЛ, в 2012 г. в экспериментальном комплексе НЕВОД (НИЯУ МИФИ) была создана установка ПРИЗМА-32.

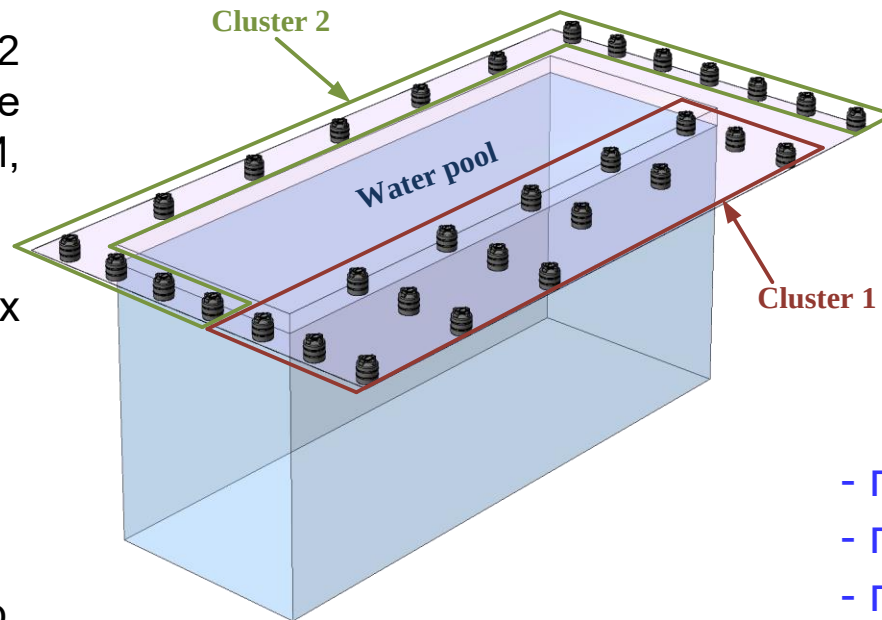
В данной работе исследован отклик установки ПРИЗМА-32 при регистрации широких атмосферных ливней за 2013-2021 гг.

Установка ПРИЗМА-32 для регистрации нейтронной компоненты ШАЛ

Установка ПРИЗМА-32 расположена на 4-м этаже здания ЭК НЕВОД (НИЯУ МИФИ, 170 м над уровнем моря).

Установка состоит из двух кластеров по 16 эн-детекторов.

Эн-детектор – детектор, способный одновременно регистрировать электромагнитную и нейтронную компоненту ШАЛ.



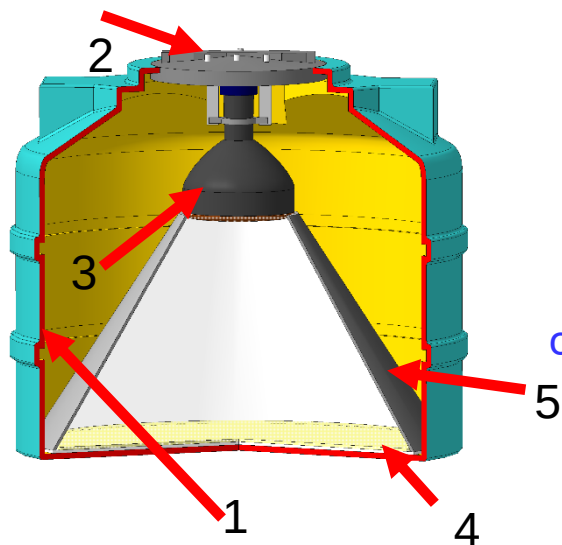
Характеристики:

- площадь эн- детектора: 0.36 м²;
- число эн-детекторов: 32;
- расположение: 2.5 × 5 м;
- охватываемая площадь: ~ 500 м².

Диапазон измерений:

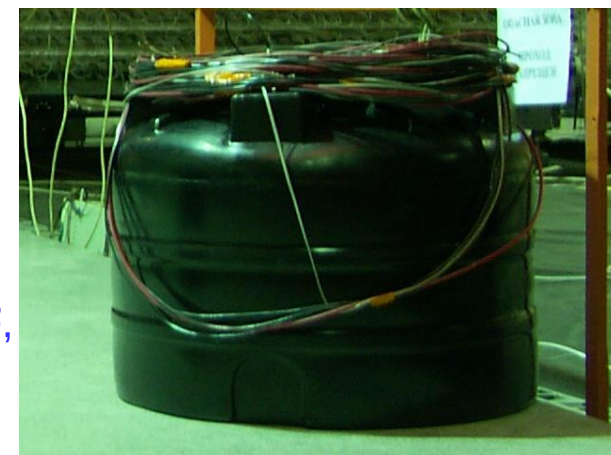
- по заряженным частицам: 20 - 75000/дет.;
- по нейтронам: 1 - 1000/дет.;
- по первичной энергии: (0.3 – 30 ПэВ).

Эн-детектор



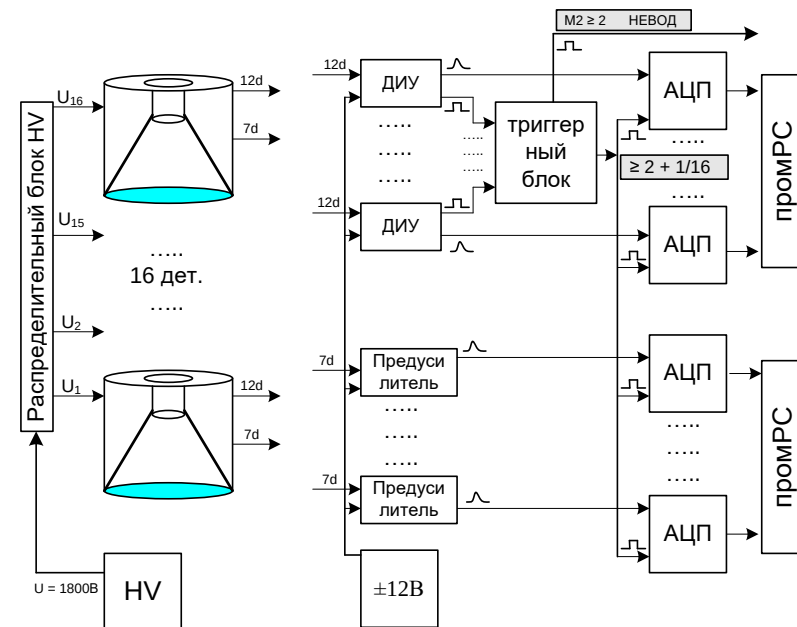
- 1 – Светоизолирующий корпус;
- 2 – Крышка;
- 3 – ФЭУ 200;
- 4 - Сцинтиллятор ZnS(Ag)+LiF
- 5 - Светособирающий конус

сцинтиллятор на основе сернистого цинка **ZnS(Ag) + LiF**, обогащенного до **90%** изотопом **⁶Li** :



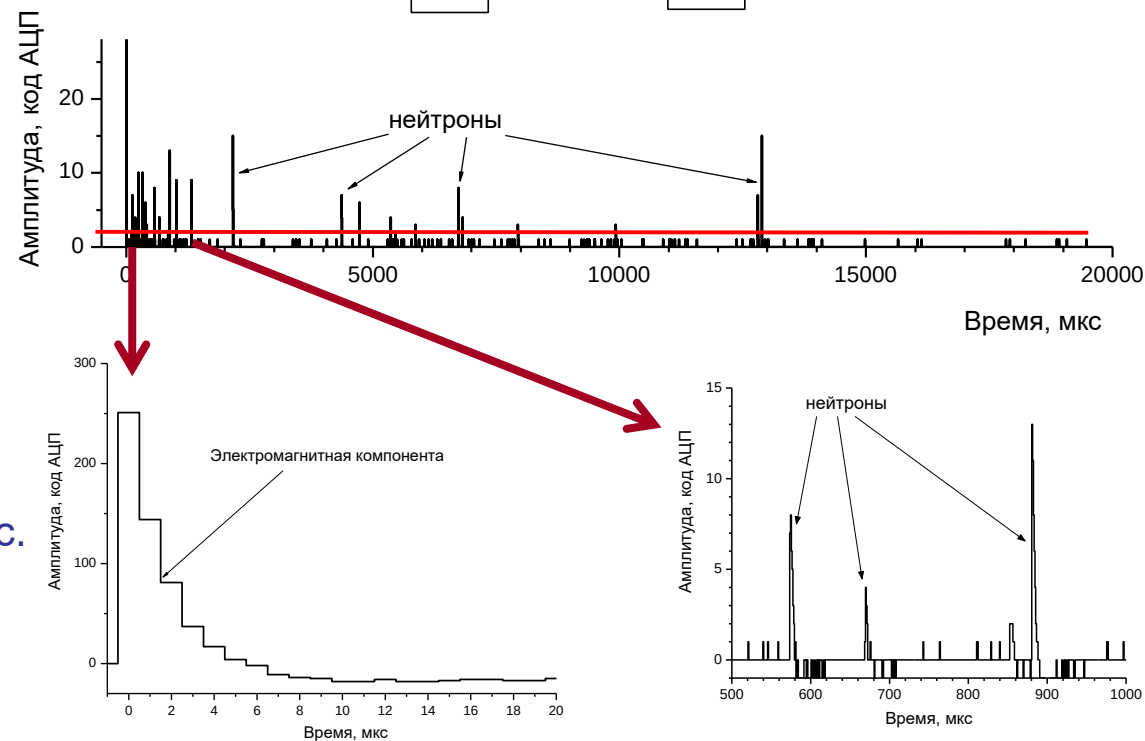
Система регистрации кластера

- Сбор информации осуществляется с 12-го и 7-го динода ФЭУ с интегрированием 1 мкс.
- Условие выработки триггера – срабатывание двух детекторов в кластере.
- Оцифровка сигналов - 20000 точек с шагом 1 мкс (FADC, ADLINK 10 bit PCI slot PCI-9810).



Регистрации электронной и нейтронной компонент ШАЛ

- Измерение отклика от энерговыделения электромагнитной компоненты.
- Определение числа нейтронов в течение 20 мс.



Время записи события

Мастер срабатывания

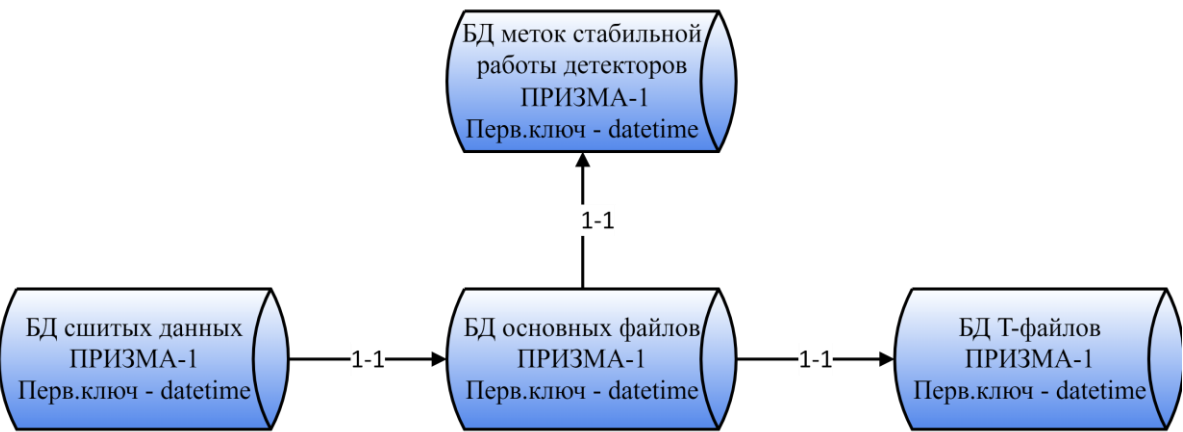
Число нейтронов в событии

Нейтрон

Время записи события	Мастер срабатывания	Число нейтронов в событии	Нейтрон
5125.84	94	5	4
0	0	0	0
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	0	0
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0
12	0	0	0
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

Пример записи файла, содержащего данные о времени регистрации нейтронов после прихода ШАЛ (шаг 100 мкс)

Создание базы данных ПРИЗМА-32



Упрощенная структура базы данных ПРИЗМА-32

Имя поля	Назначение	Тип данных
datetime	Дата и время регистрации события (уникальный идентификатор записи, первичный ключ)	DateTime
trigger	Вид условия, по которому квалифицируется событие	Integer
sum_n	Суммарное количество нейтронов, зарегистрированных кластером за одно событие	Integer
time_delay	Список с временем запаздывания для каждого зарегистрированного нейтрона	Text
detector	Список с номерами детекторов, зарегистрировавших нейтроны в событии	Text
n_per_registration	Список количества нейтронов, зарегистрированных детектором за один шаг в 100 мкс	Text

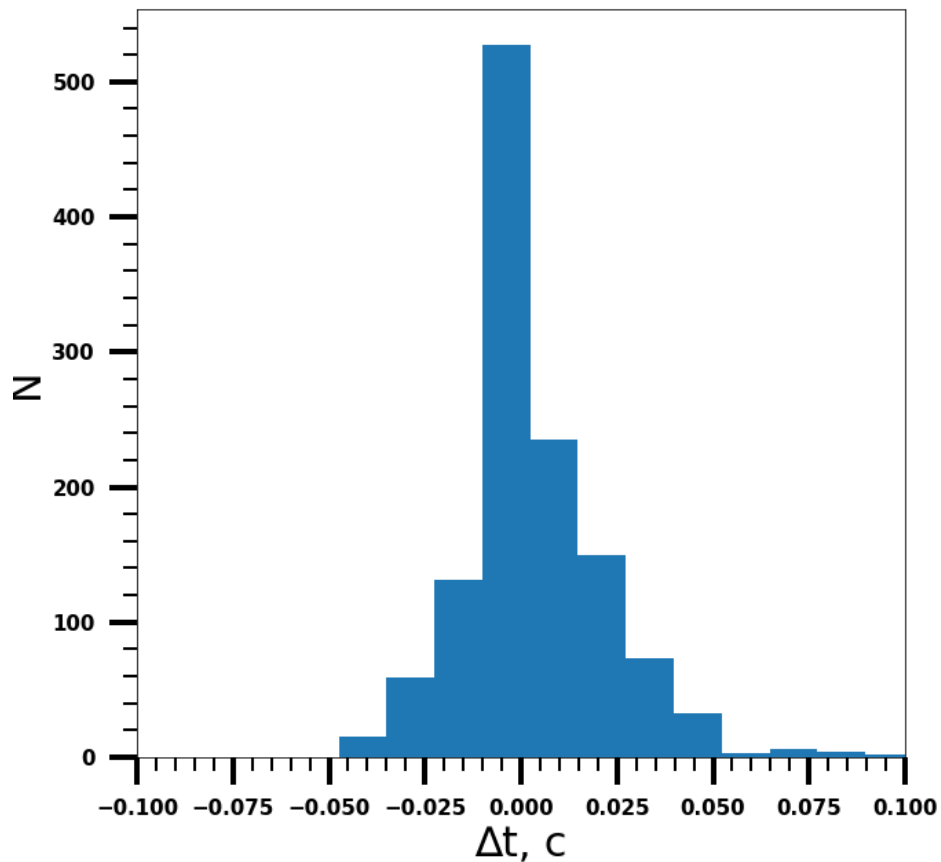
Структура таблицы t-файлов в базе данных

Преимущества БД:

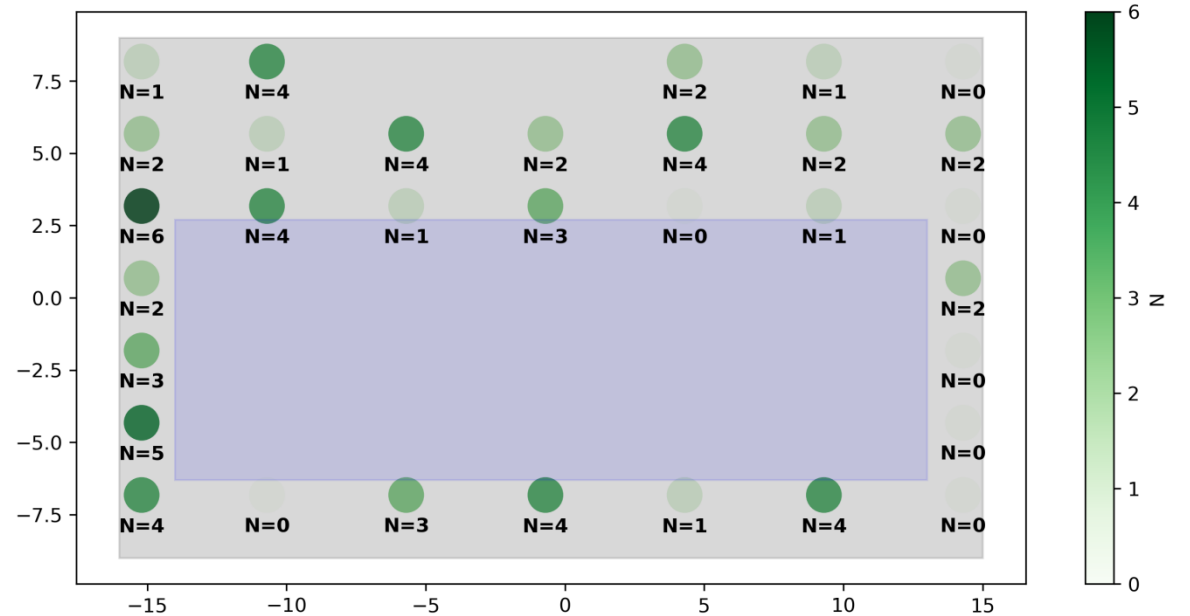
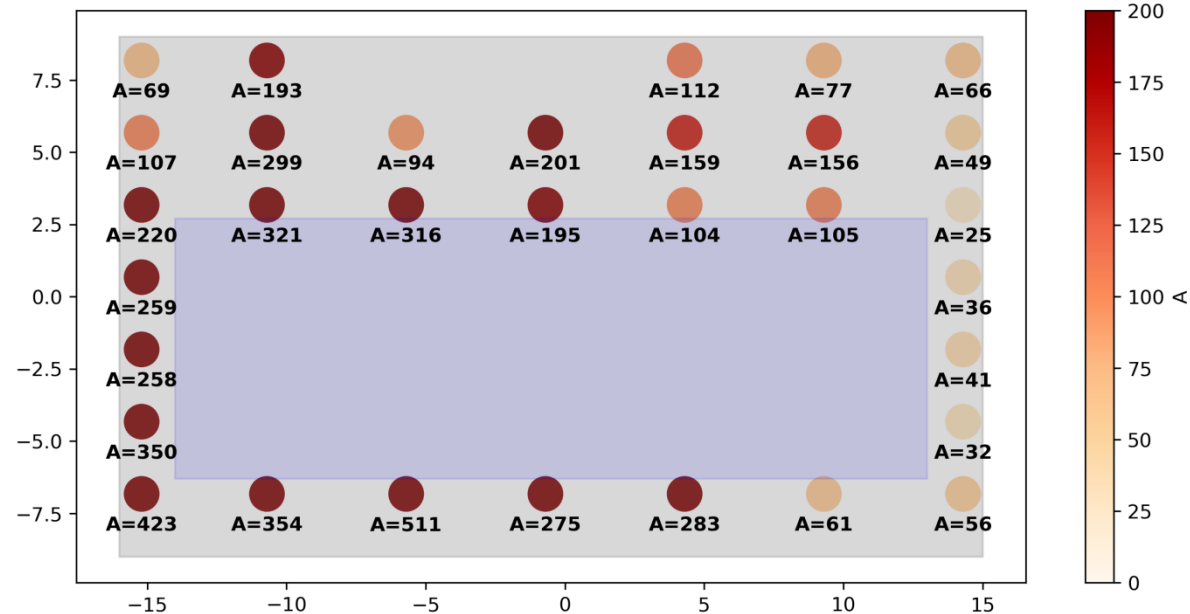
- Хранение данных в одном месте, вместо использования множества разных файлов.
- Возможность использовать SQL, noSQL запросы для получения нужной информации.
- Возможность создания единой БД с другими установками, что позволит получить полную информацию о ШАЛ.

Регистрация событий одновременно двумя кластерами

Распределение разницы времен срабатывания кластеров



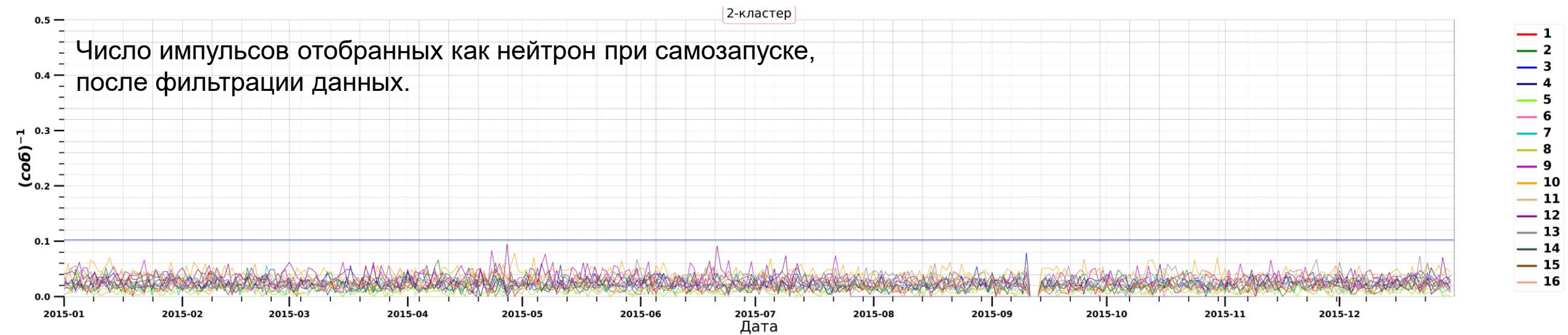
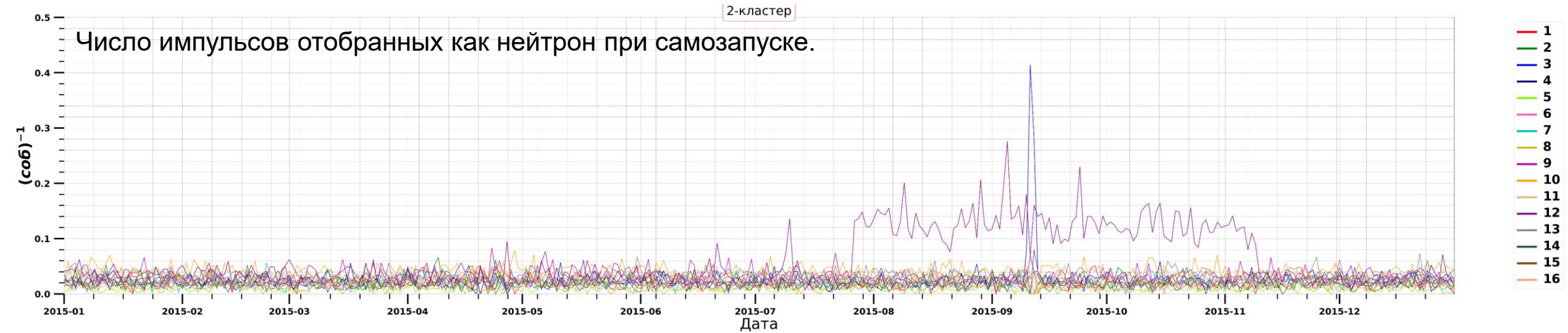
Отбирались события
с кратностью ≥ 4 и $A_0 > 5$ код. АЦП
 Δt был принят 100 мс.



Пример регистрации события одновременно в двух кластерах:
заряженные частицы (сверху) и нейтроны (снизу)

Подготовка данных

Исключение периодов с нестабильной работой детекторов

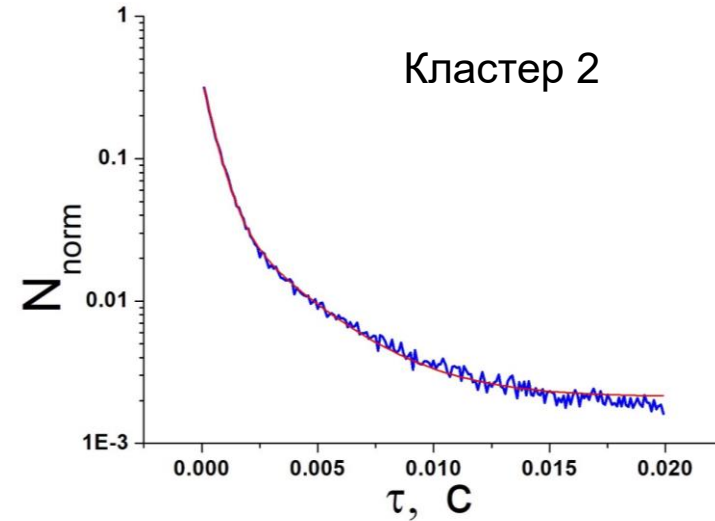
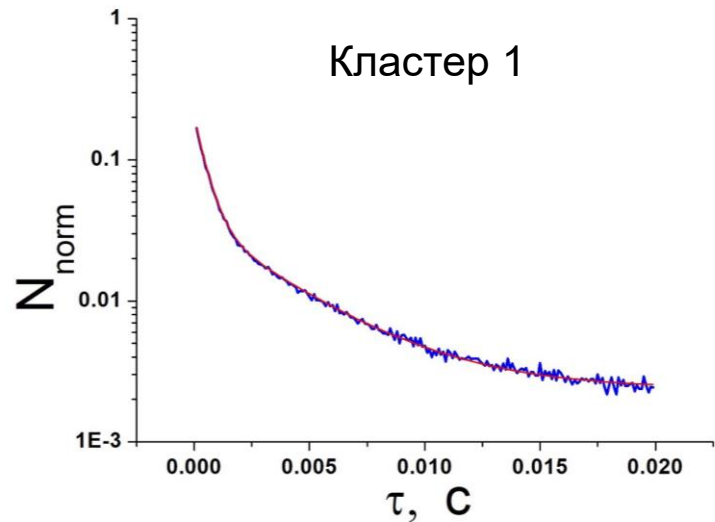


Период: 18 января 2013 – 31 декабря 2021.

	1-ый кластер	2-ой кластер	1&2
N_{cob}	248390	174903	38760

Временное распределение нейтронов

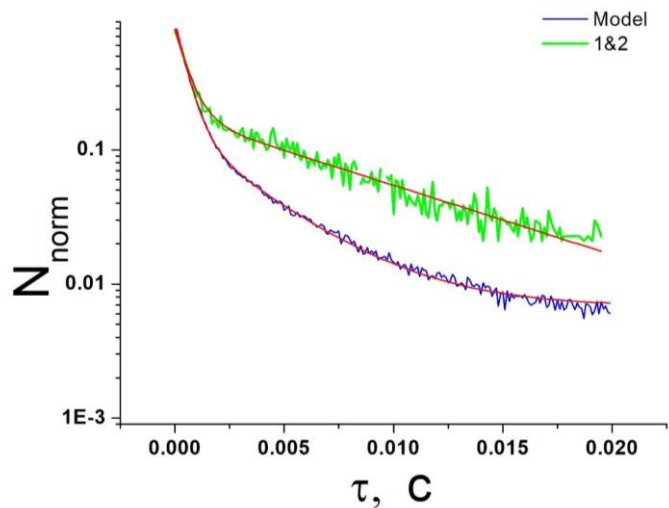
Критерий отбора событий: кратность ≥ 4 и $A_3 > 5$ код. АЦП



При регистрации одновременно двумя кластерами

Полученные распределения можно описывать функцией:

$$y(t) = A_1 e^{-t/t_1} + A_2 e^{-t/t_2} + y_0, \text{ где}$$

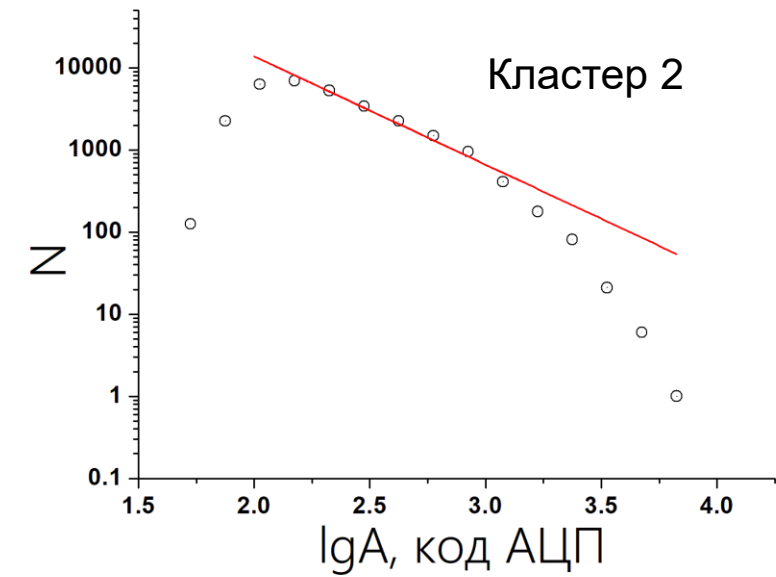
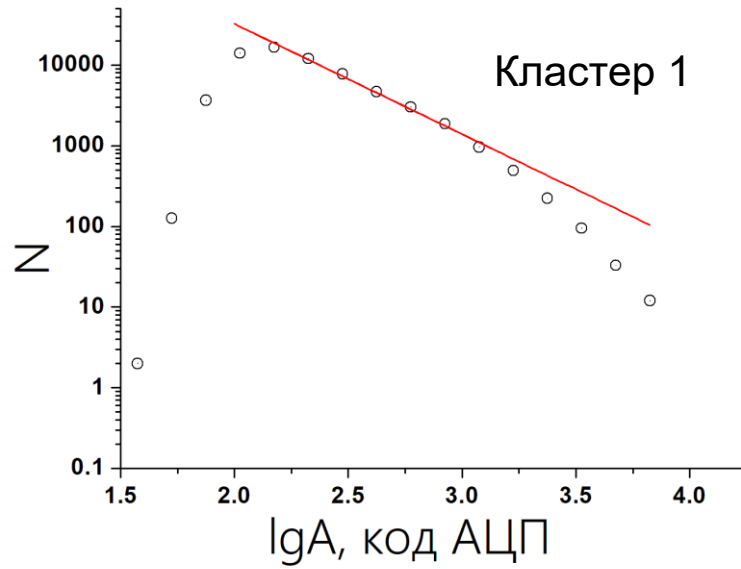


	$t_1, \text{ мс}$	$t_2, \text{ мс}$
1-й кластер	0.51 ± 0.01	3.76 ± 0.10
2-й кластер	0.54 ± 0.01	2.81 ± 0.12
1&2	0.53 ± 0.01	3.44 ± 0.10

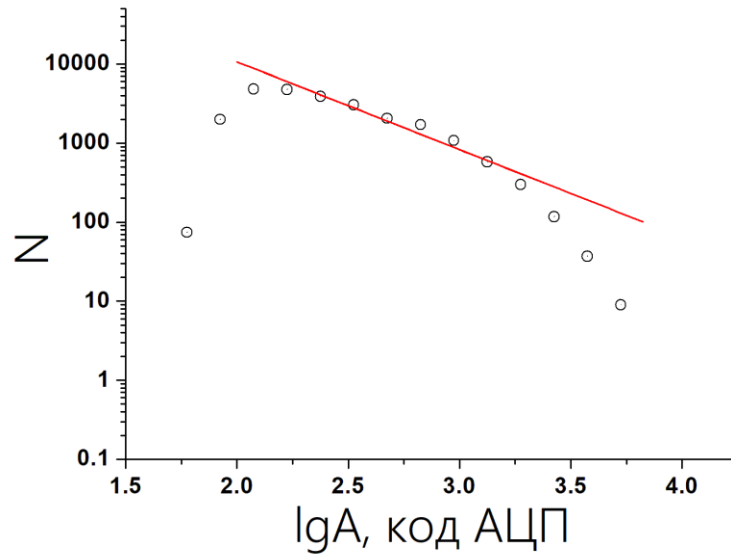
	$t_1, \text{ мс}$	$t_2, \text{ мс}$
Эксп. 1&2 - ЯФ, 2015	0.49 ± 0.01	3.44 ± 0.13
Модель - J.Phys.Conf.Ser., 2020	0.60 ± 0.02	7.40 ± 0.97

Спектр энерговыведения ШАЛ

Критерий отбора: события с кратностью ≥ 4 и $A_9 > 10$ код. АЦП



При регистрации одновременно двумя кластерами



	Коэф.наклона	$N_{\text{собр}}$
1-й кластер	-1.37 ± 0.05	65598
2-й кластер	-1.32 ± 0.09	29693
1&2	-1.11 ± 0.10	24430

Результаты

- Спроектирована и создана база экспериментальных данных установки ПРИЗМА-32.
- Проведена фильтрация данных установки ПРИЗМА-32 за 2013-2021 гг.
- Создан массив экспериментальных данных установки ПРИЗМА-32 со стабильной работой детекторов за 2013-2021 гг.
- Получены временные распределения нейтронов и спектры энергосвечения заряженной компоненты за длительный период времени (2013-2021 гг.) работы установки ПРИЗМА-32.
- Полученные параметры экспонент временных распределений нейтронов имеют хорошее согласие с результатами обработки данных временных распределений, полученных ранее (Д. М. Громушкин и др. // ЯФ, 2015) и согласуются с результатами моделирования по параметру t_1 (Z. T. Izhbulyakova et al. // J.Phys.Conf.Ser., 2020).
- Полученные коэффициенты наклона спектра энергосвечения имеют большее значение, чем то, которое было получено ранее (D.M. Gromushkin et al. // Izv.Ross.Akad.Nauk Ser.Fiz., 2015).

Спасибо за внимание!