

ПРЕДДИПЛОМНАЯ ПРАКТИКА НА ТЕМУ

Изучение отклика детектора iDREAM в
потоке антинейтрино на Калининской АЭС

Выполнил: Растимешин А.А.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Е.А.

Литвинович

2022

Применение антинейтринного излучения от ядерного реактора.

Какие задачи можно решать с помощью антинейтринного излучения?

1. Выявление несанкционированных режимов работы реактора, в т.ч. наработку оружейного плутония
2. Дистанционный контроль энерговыработки реакторов
3. Мониторинг отработавшего ядерного топлива



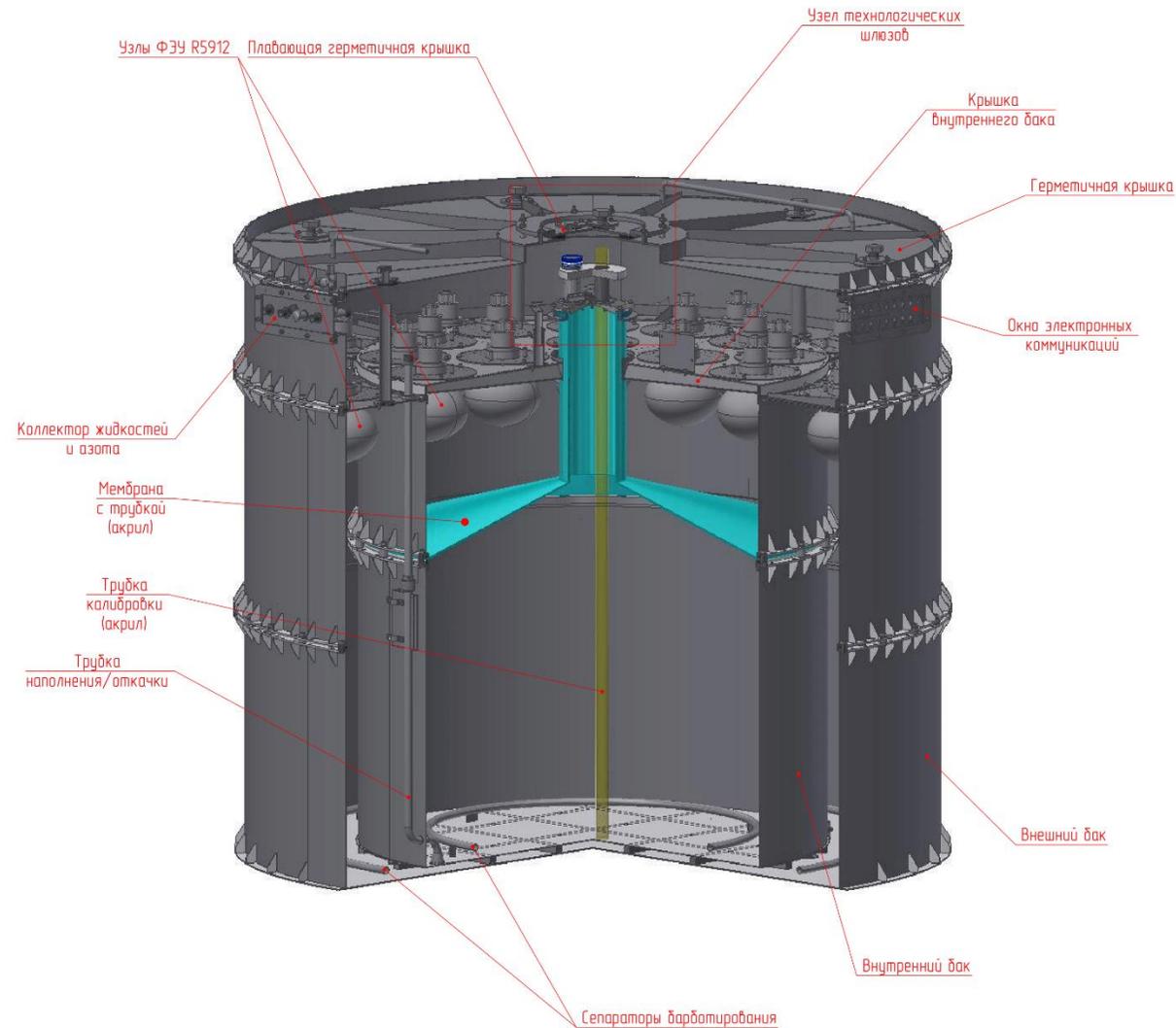
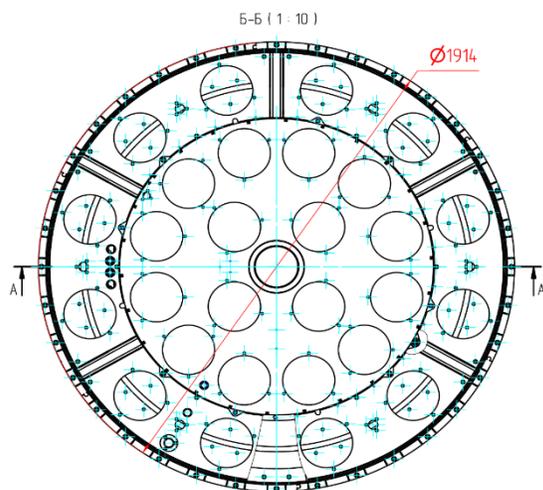
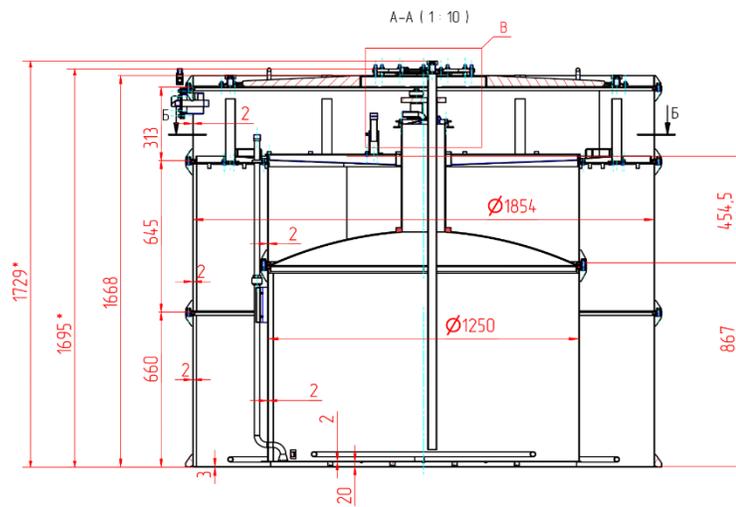
Реакция обратного бета-распада

При регистрации антинейтрино используется метод задержанных совпадений: сначала регистрируется позитрон, после чего регистрируется нейтрон. По энергии позитрона восстанавливается энергия антинейтрино, регистрация нейтрона служит подтверждением того, что произошёл обратный бета-распад.

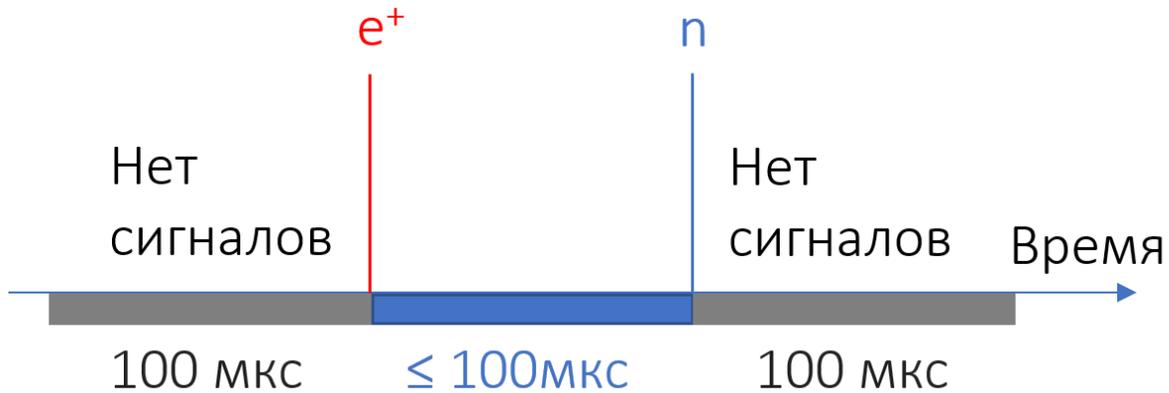
Цель работы

- Анализ взаимодействий антинейтринного излучения в детекторе iDREAM
- Анализ коррелированного фона, связанного с остановкой космических мюонов
- Демонстрация возможностей мониторинга тепловой мощности ядерного реактора.

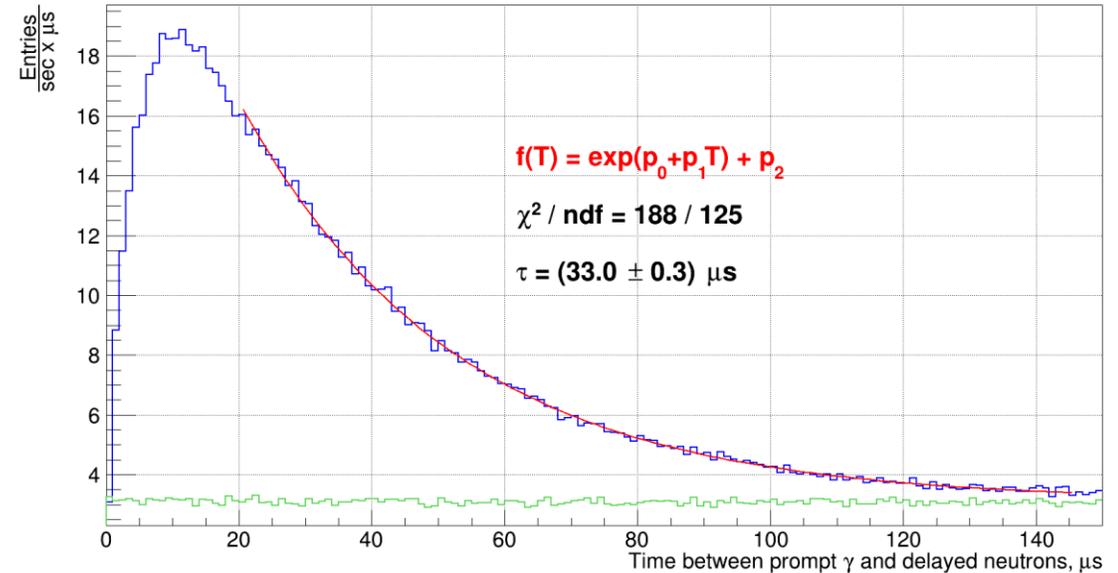
Устройство детектора iDREAM



Регистрация антинейтринного излучения. Отбор событий.

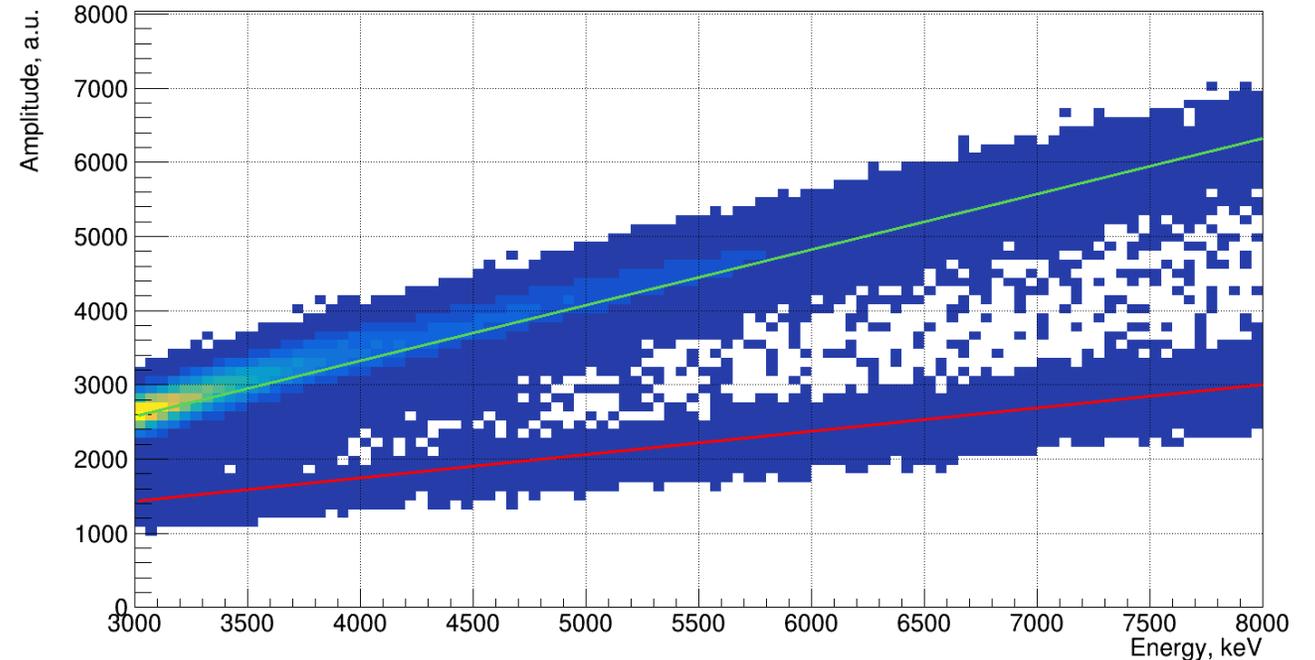
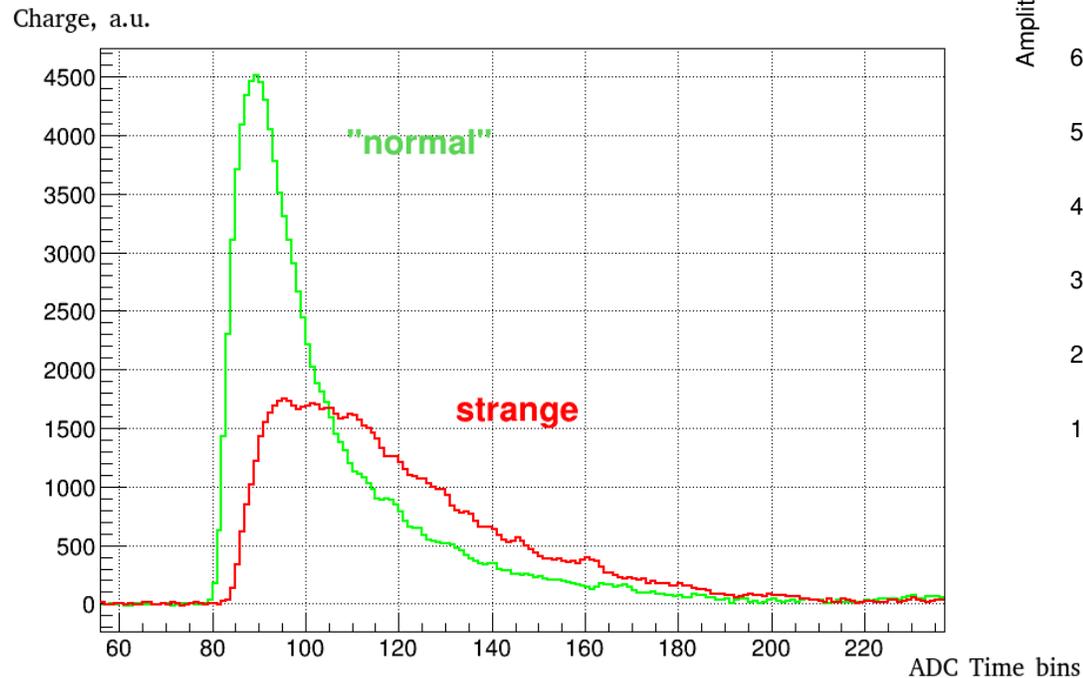
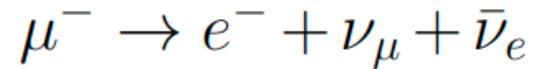


- Энергия мгновенного (позитронного) события лежит в пределах (3÷8) МэВ
- Энергия задержанного (нейтронного) события лежит в пределах (5÷10) МэВ
- Время между событиями меньше 100 мкс.
- В течение 100 мкс до первого события и 100 мкс после второго не зарегистрировано ни одного события
- Пара сигналов не является коррелированным фоном, связанным с попаданием в детектор космических мюонов



Распределение времен захвата нейтронов в окне 150 мкс после регистрации мгновенных-квантов ^{252}Cf (синий). Зеленым цветом показано аналогичное распределение случайных совпадений.

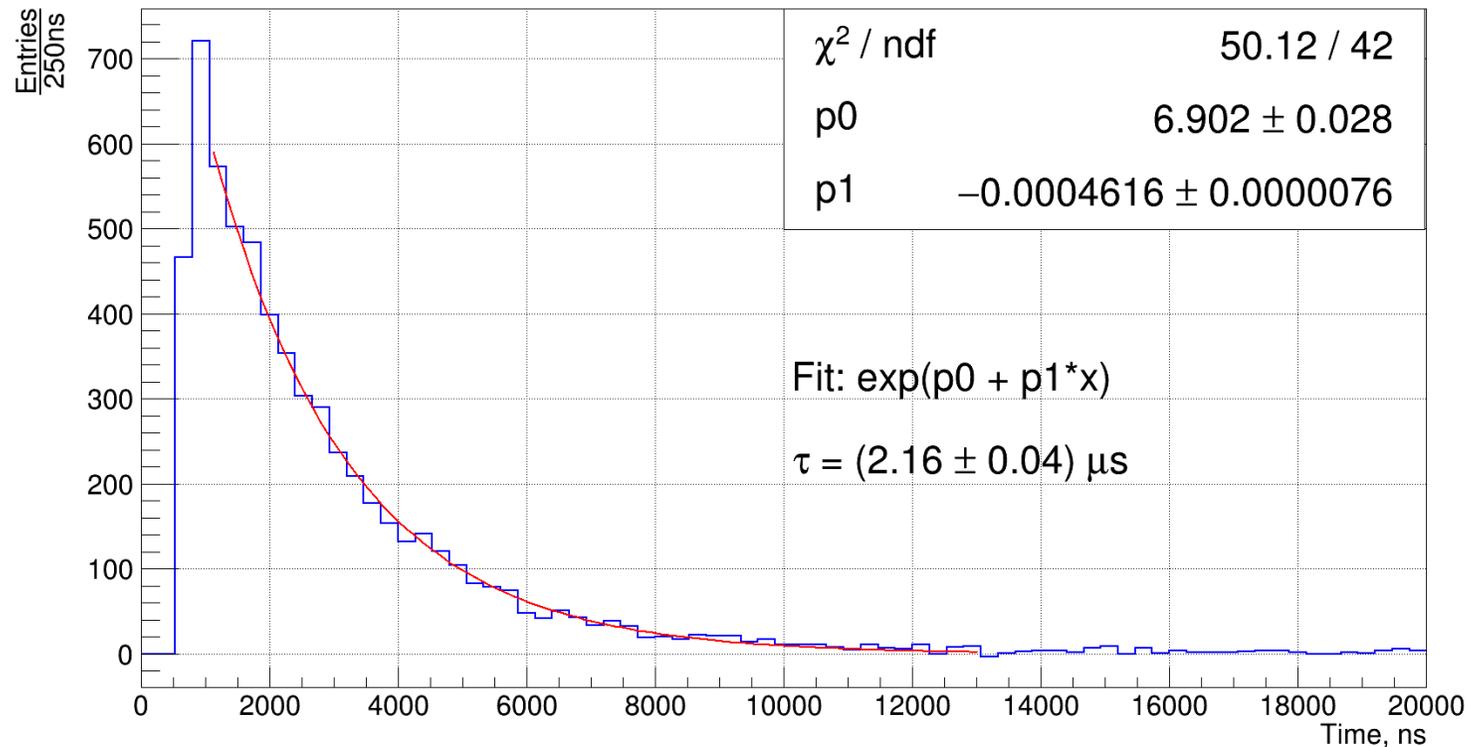
Анализ коррелированного фона, связанного с остановками мюонов



Усредненные формы двух типов сцинтилляционных сигналов

Распределение отношения амплитуд к энергии каждого события. Выделяются две линейные зависимости: для стандартных импульсов (зеленая линия) и сигналов с длительными фронтами (красная линия)

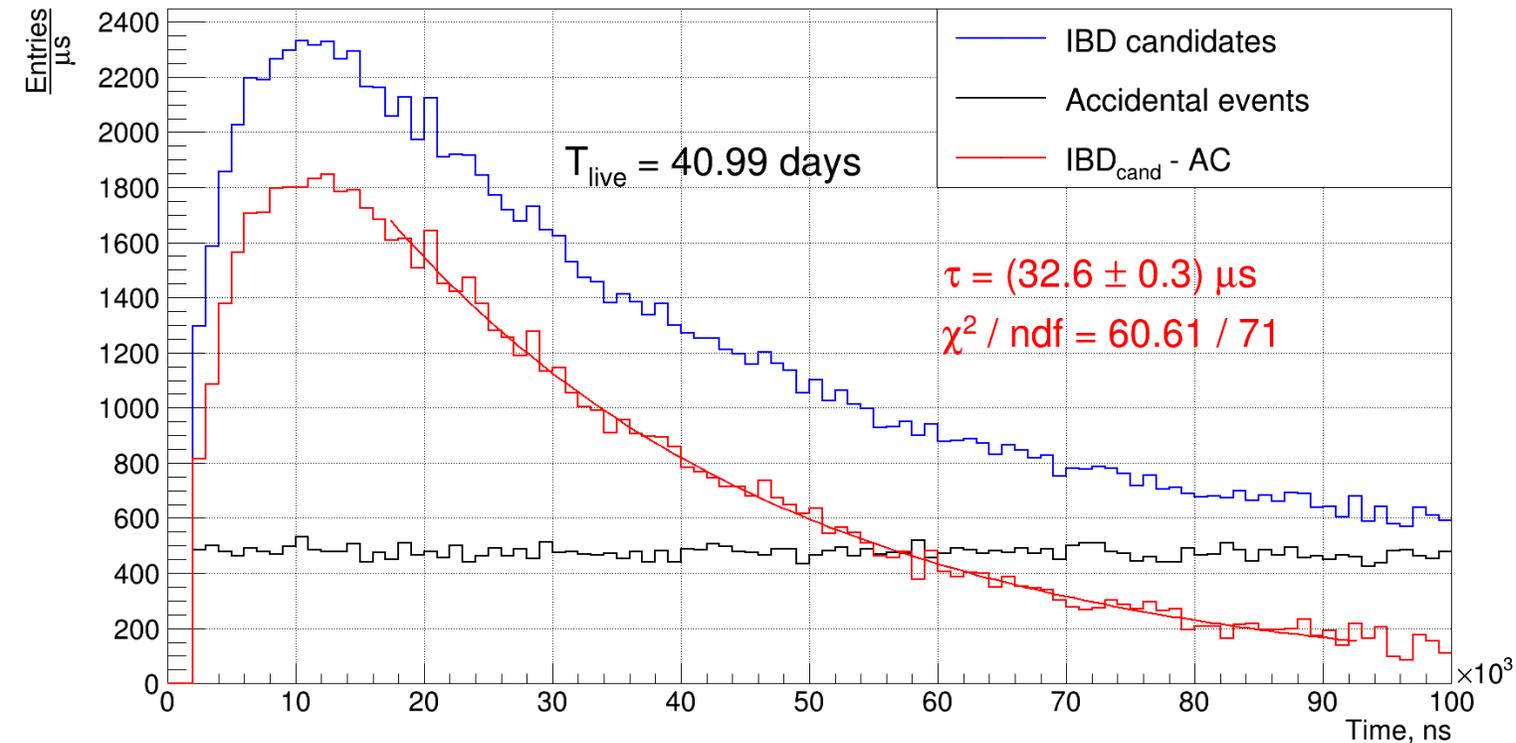
Анализ коррелированного фона, связанного с остановками мюонов



- Введено условие на форму импульса по отношению амплитуды к энергии
- За 40.99 суток "живого" времени отобрано 6519 событий
- Фитирование временного распределения дает $\tau = (2.16 \pm 0.04) \mu\text{s}$

Распределение времен между первым и вторым событиями в парах при отборе по форме импульса

Регистрация антинейтринного излучения. Результаты.

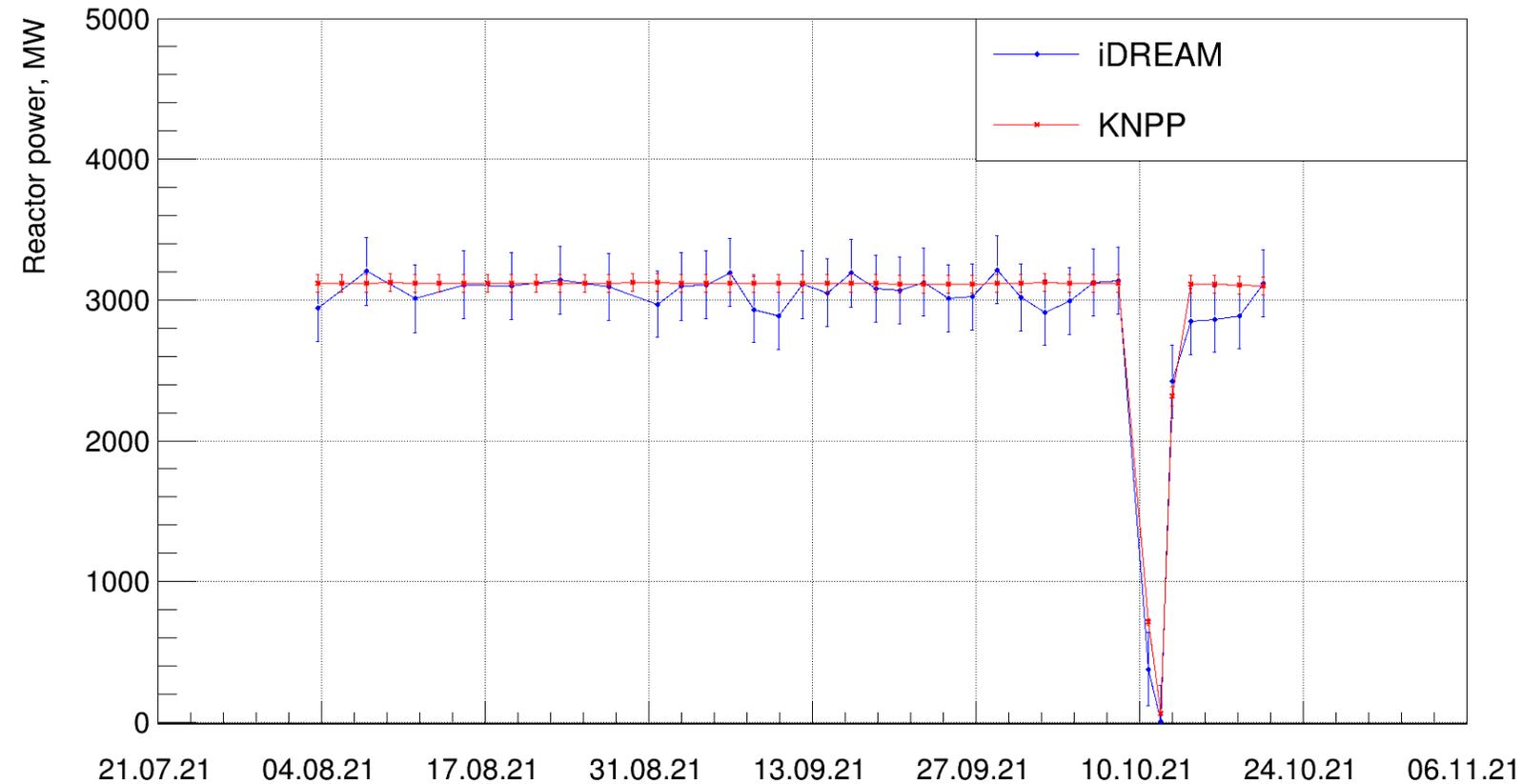


За 77 суток в период с 4 августа 2021 по 20 октября 2021 отобрано:

- 40.99 суток "живого" времени
- 115005 событий-кандидатов на обратный бета-распад
- 44520 событий-пар случайных совпадений
- $115005 - 44520 = 70485$ событий - кандидатов за вычетом случайных совпадений.
- На основе этих данных можно реализовать мониторинг мощности ядерного реактора.

Распределение времён между событиями в парах-кандидатах на ОБР (синий), в парах-случайных совпадениях (черный) и их разница (красный)

Предварительные результаты мониторинга мощности реактора



В качестве фонового значения скорости счёта нейтрино была взята скорость счёта при кратковременном снижении мощности реактора 11 октября 2021.

Средняя тепловая мощность реактора по данным iDREAM: $P = (3.0 \pm 0.2)$ ГВт.

По данным служб КАЭС: $P = (3.11 \pm 0.06)$ ГВт.

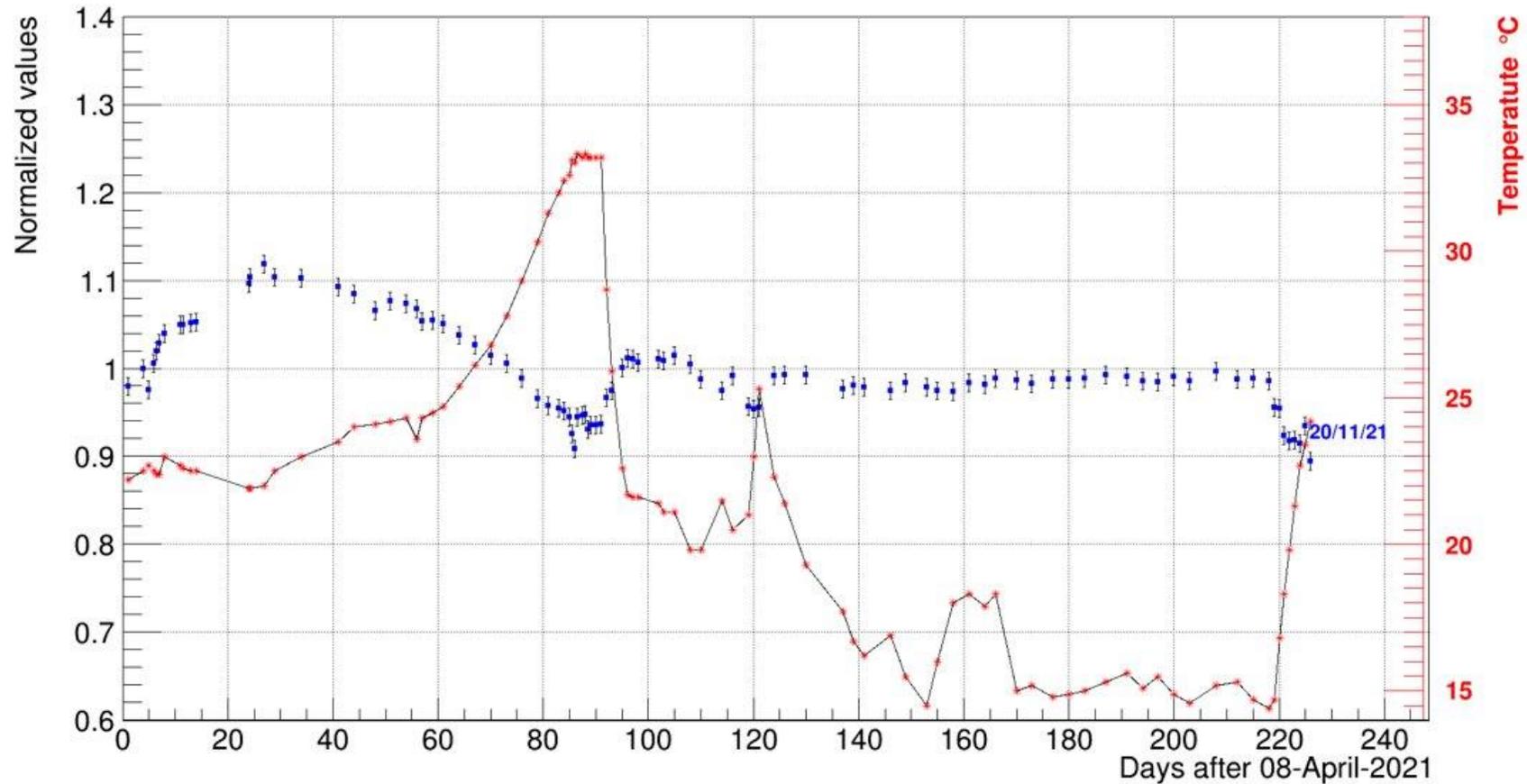
Тепловая мощность реактора согласно результатам iDREAM (синий) и тепловая мощность реактора согласно данным КАЭС (красный)

Заключение

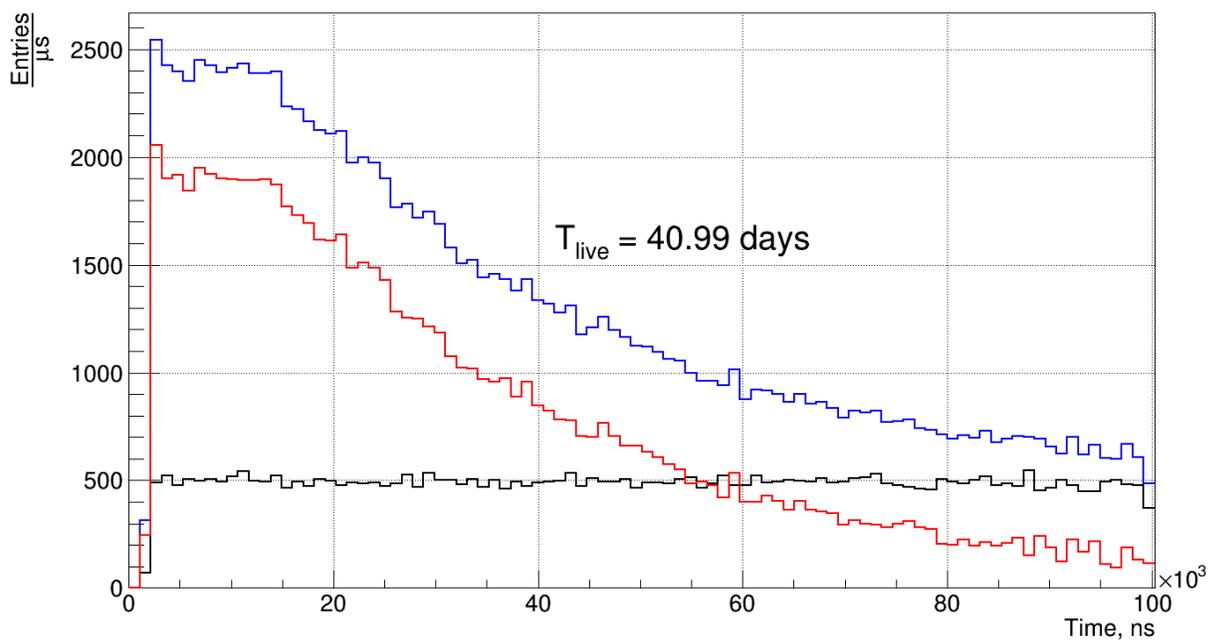
- Проведен анализ экспериментальных данных, полученных установкой iDREAM на третьем энергоблоке Калининской АЭС в период с 4 августа 2021 по 20 октября 2021
- Проведен анализ фоновых процессов, имитирующих взаимодействие антинейтрино с мишенью детектора. Показано, что события, идентифицированные как распад космических мюонов в мишени, вносят заметный вклад в коррелированный фон установки.
- Измерена скорость взаимодействий антинейтрино в детекторе iDREAM. С её помощью получена средняя тепловая мощность реактора третьего энергоблока КАЭС, которая составила $P = (3.0 \pm 0.2)$ ГВт.
- Продемонстрирована возможность удаленного неинвазивного мониторинга тепловой мощности реактора по антинейтринному излучению.

Дополнительные слайды

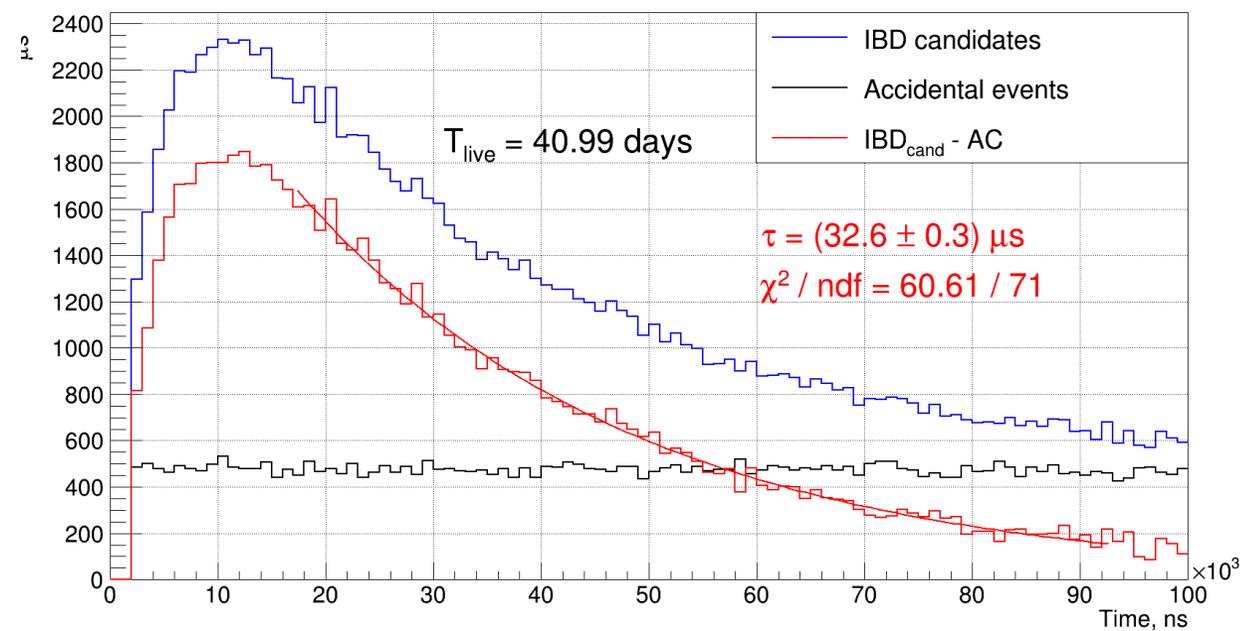
Изменение световыхода сцинтиллятора



Временные распределения ОБР

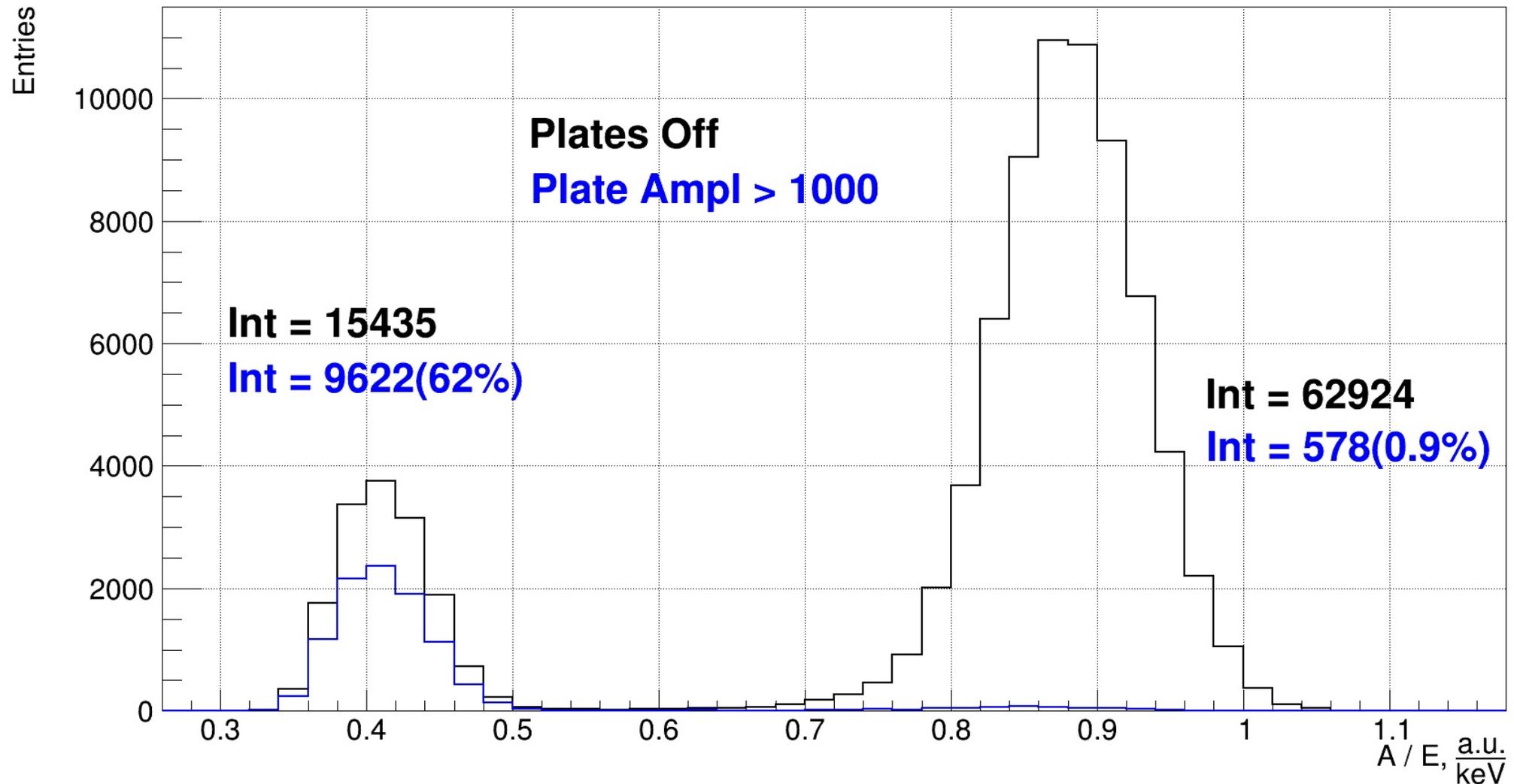


Без отбора по форме импульса (A/E)



С отбором по форме импульса (A/E)

Отбор событий по форме импульса



Корреляция скорости счета нейтрино и мощности реактора

