

СИГНАЛ АНТИНЕЙТРИНО В ДЕТЕКТОРЕ IDREAM НА КАЛИНИНСКОЙ АЭС

Подготовил: ст. гр. М23-114 Нуркенов А.А.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Литвинович Е.А.

Москва 2024

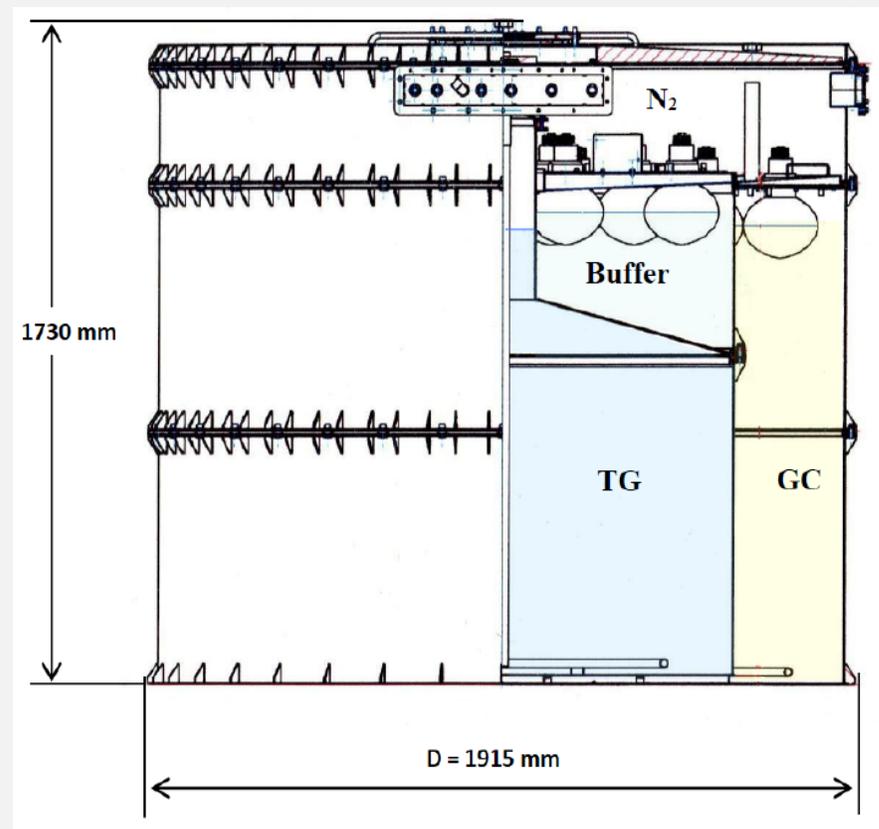
ДЕТЕКТОР IDREAM

Детектор iDREAM предназначен для опосредованного мониторинга активной зоны ядерных реакторов и контроля за нераспространением делящихся материалов, с помощью реакции ОБР. В случае возникновения неисправностей в активной зоне ожидается изменение потока нейтрино, что отобразится так же и в данных с детектора.

- TG – мишень
- GC – гамма-кетчер
- Buffer – буферная зона

Детектор находится под АЗ на расстоянии 19.5 метров

Важно отметить, что мишень представляет собой 1 тонну жидкого сцинтилятора на основе LAB (линейный алкилбензол) с добавлением гадолиния с концентрацией 1 грамм/литр



ЦЕЛЬ

1. Выделение сигнала антинейтрино в данных детектора iDREAM, с учётом вкладов случайного и коррелированного фонов
2. Измерение скорости взаимодействий антинейтрино

252Cf

Для определения энергетической шкалы детектора используются калибровочные данные на основе источника быстрых нейтронов ^{252}Cf .

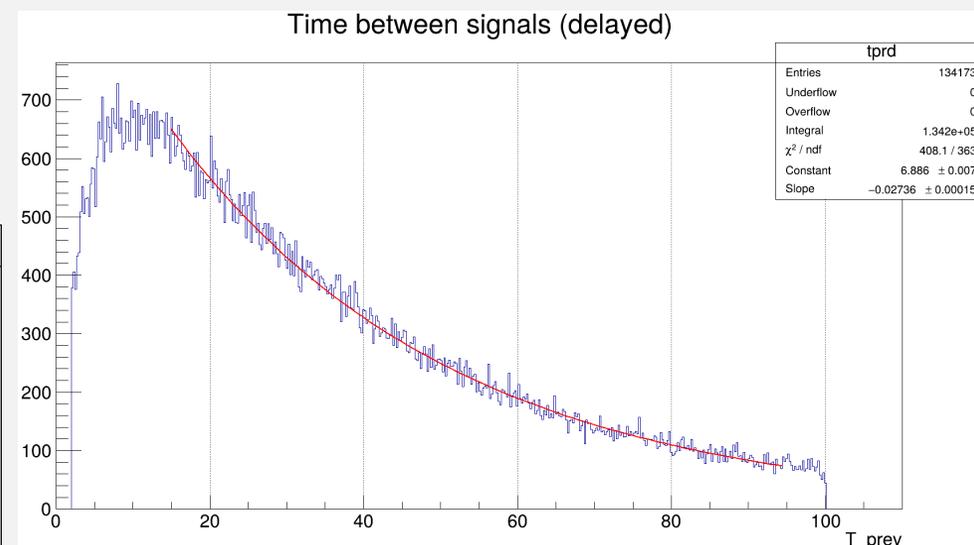
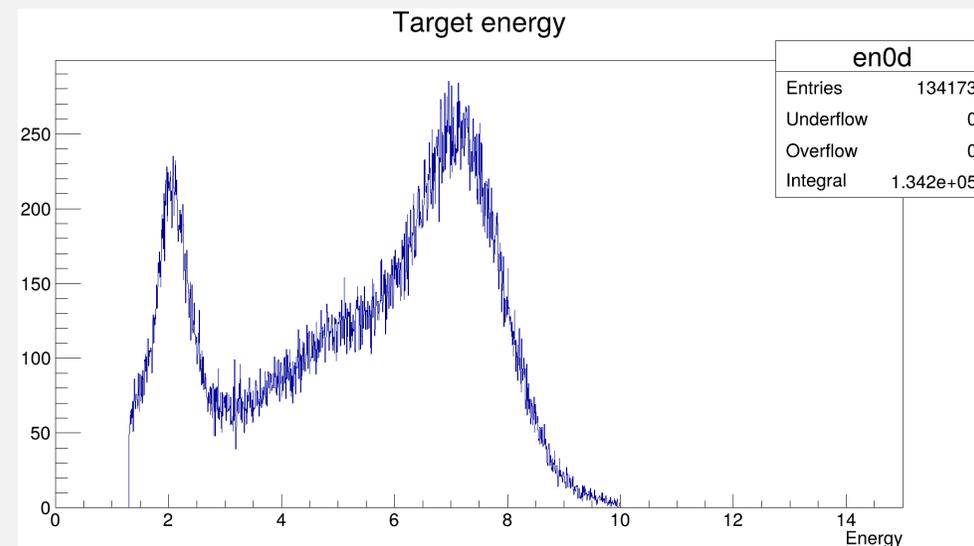
В качестве ориентира принимает пик от захвата нейтрона на водороде, значение которого принимается равным 2.2 МэВ

Первый пик – захват нейтрона на водороде,

Второй пик – захват нейтрона на гадолинии.

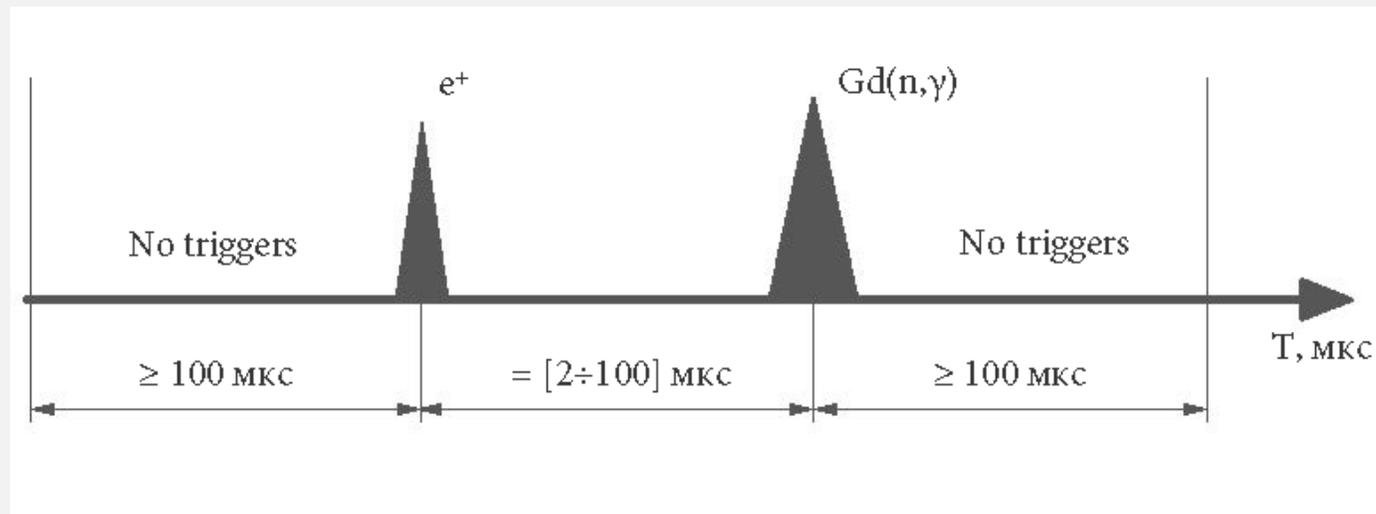
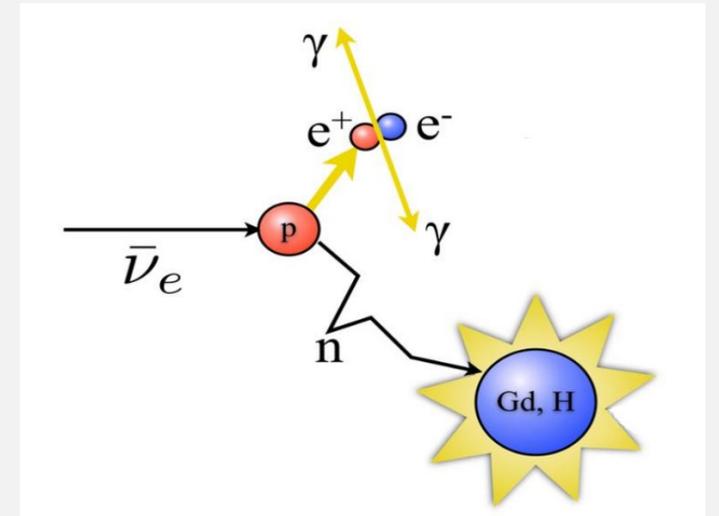
Аппроксимация временного спектра захвата нейтронов функцией $f(t) = \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + \text{const}$, где τ – время захвата нейтронов, даёт $\tau \approx 36.55$ мкс.

tprd	
Entries	134173
Underflow	0
Overflow	0
Integral	1.342e+05
χ^2 / ndf	408.1 / 363
Constant	6.886 ± 0.007
Slope	-0.02736 ± 0.00015



ПРИНЦИП ОТБОРА АНТИНЕЙТРИНО

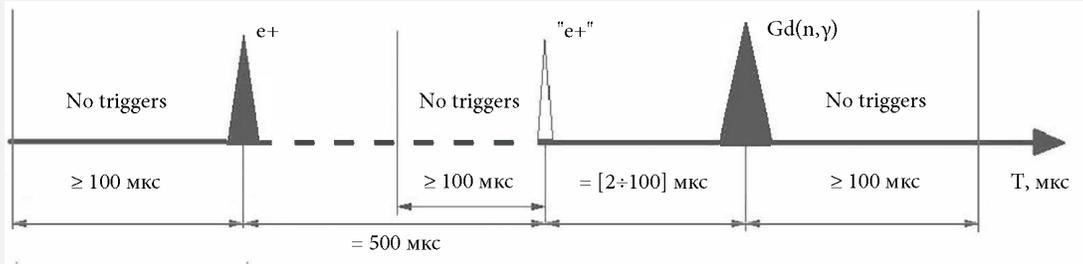
- Для регистрации реакторных антинейтрино:
- $E(e^+) = [3 \div 8]$ МэВ;
- $E(n) = [5 \div 10]$ МэВ;
- $\Delta T_{12} = [2 \div 100]$ мкс;
- Отсутствие сигнала перед первым событием в течении $T_1 \geq 100$ мкс;
- Отсутствие сигнала после второго события в течении $T_2 \geq 100$ мкс.



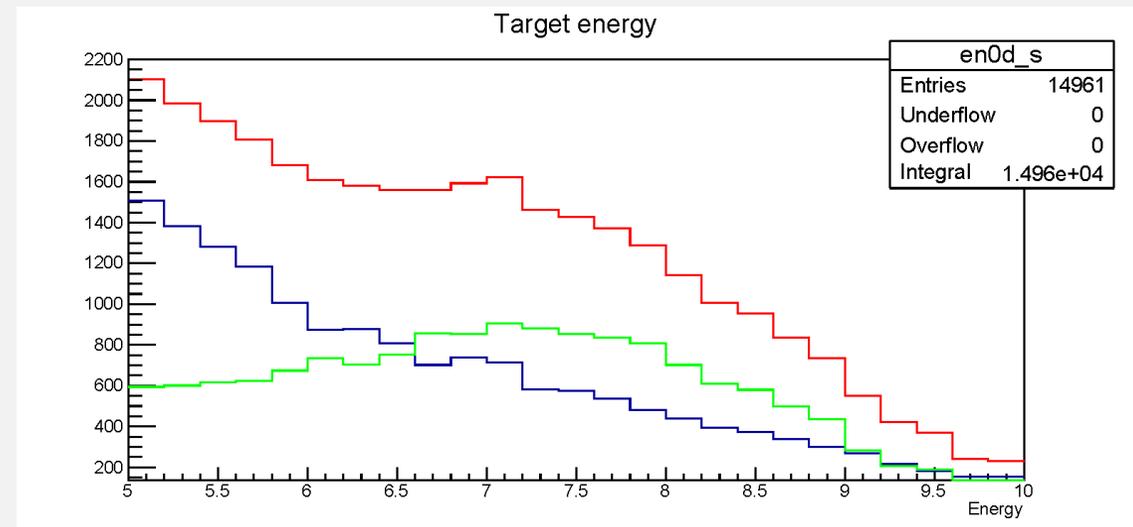
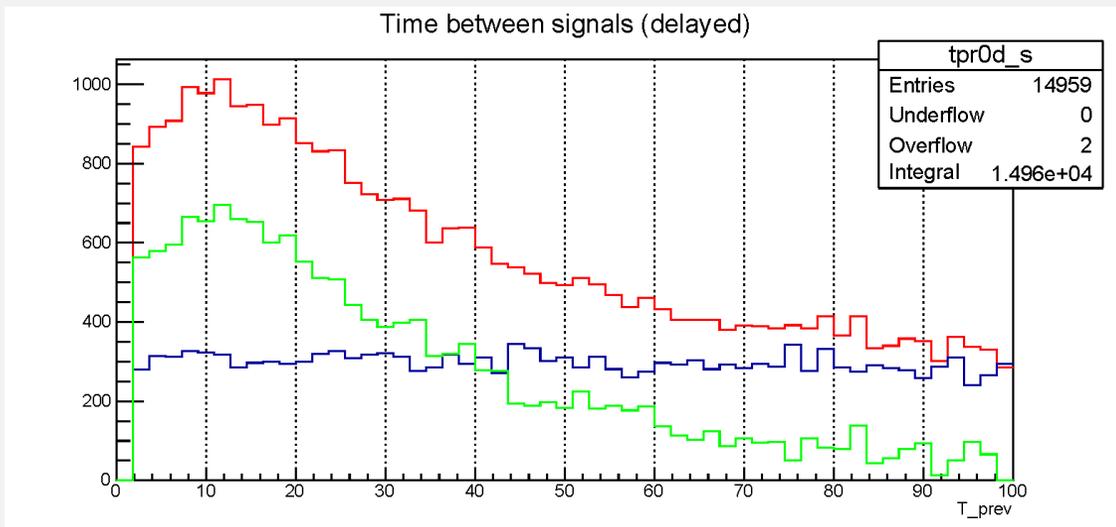
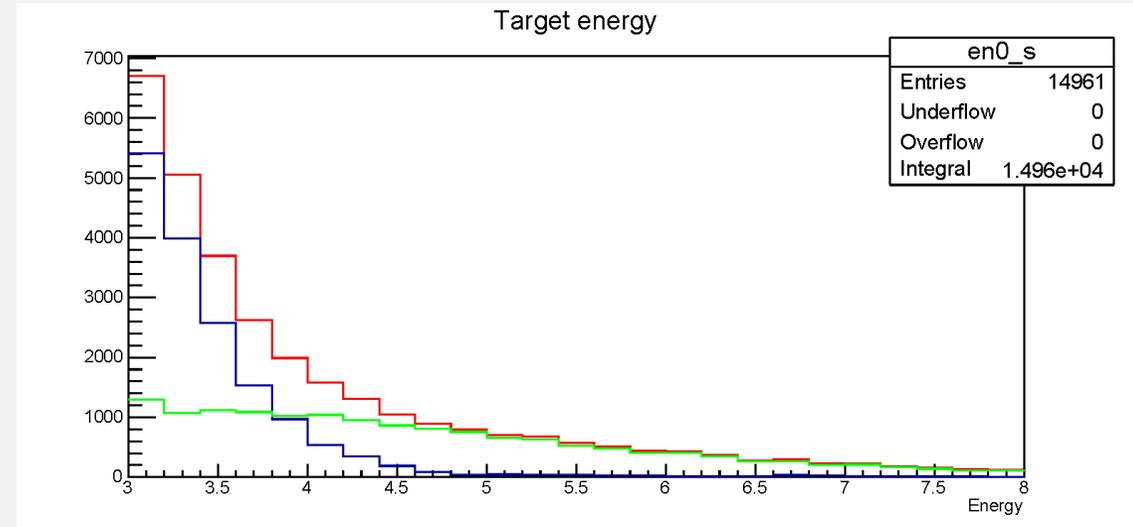
СЛУЧАЙНЫЙ ФОН

Скорость счёта детектора составляет ~ 1 kHz, что приводит к высокой частоте случайных наложений событий похожих на ОБР, но не скоррелированных между собой

Для измерения числа случайных наложений: от предполагаемого позитрона отступается временной промежуток \gg времени жизни нейтрона (здесь принимается равным 500 мкс)



Красный – кандидаты; Синий – случайный фон; Зелёный – разница.



КОРРЕЛИРОВАННЫЙ ФОН

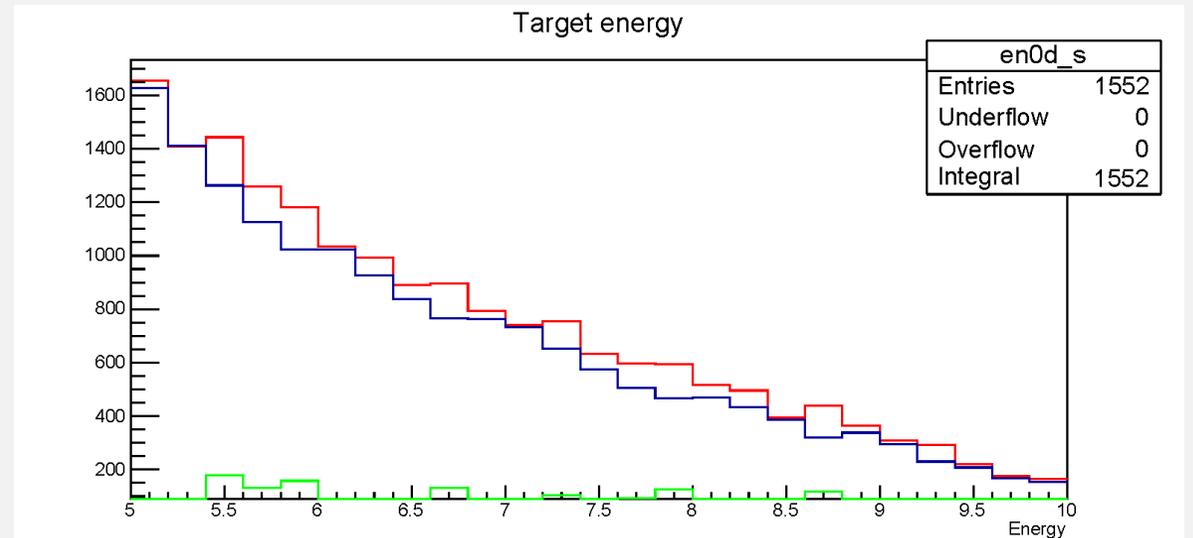
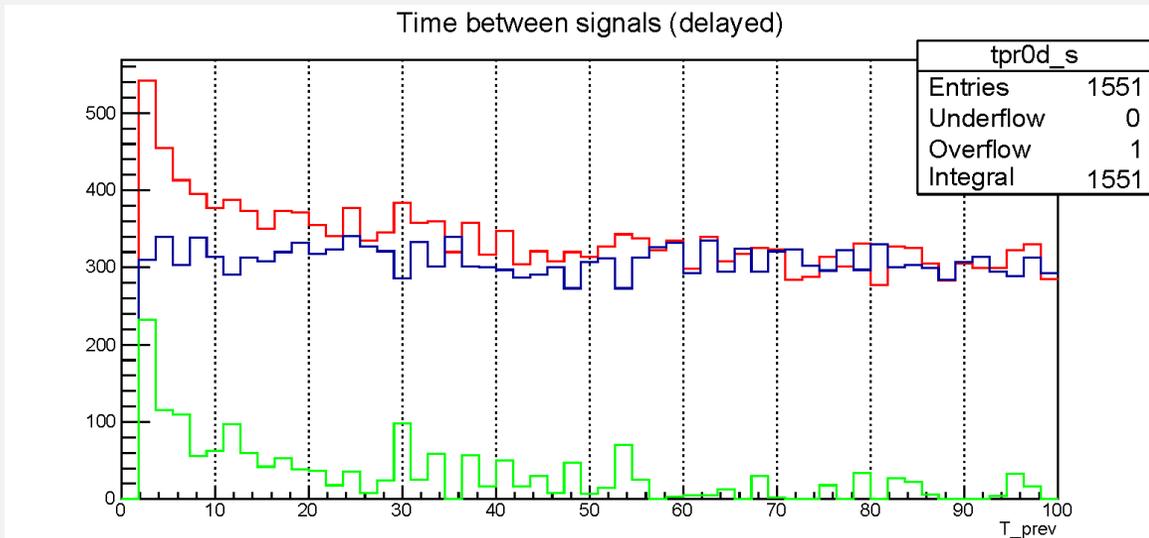
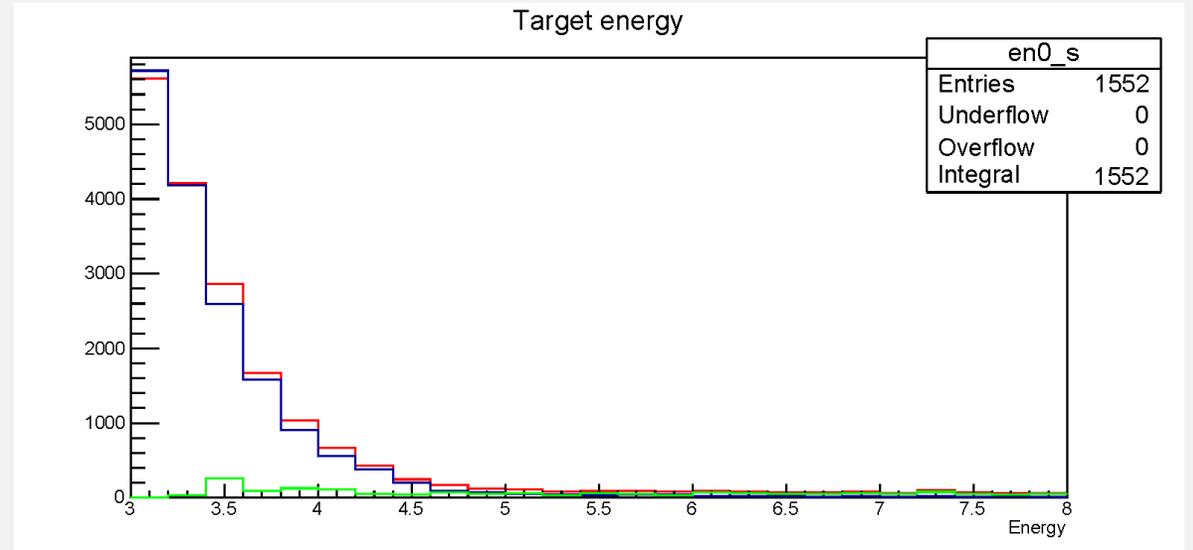
В качестве коррелированного фона выступают пары скоррелированных между собой событий, похожих на событие ОБР

Для отбора коррелированного фона использовались данные собираемые в период R_OFF с аналогичными критериями и также вычитался случайный фон

Красный – кандидаты;

Синий – случайный фон;

Зелёный – разница.



СИГНАЛ АНТИНЕЙТРИНО

Для построения спектров ОБР от антинейтрино берём разницу спектров кандидатов с учётом случайного фона и данных коррелированного фона

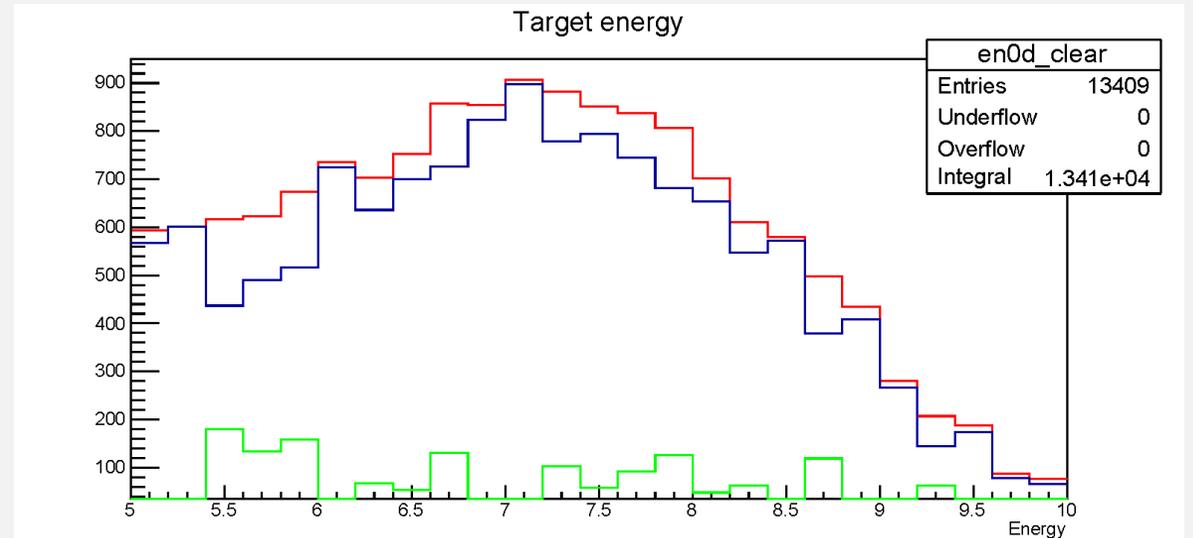
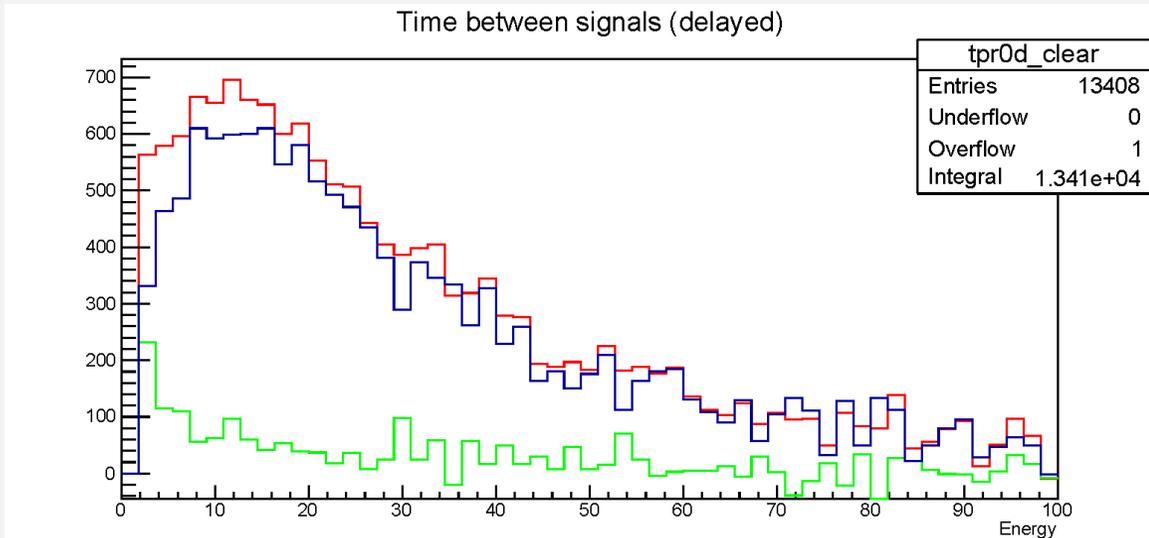
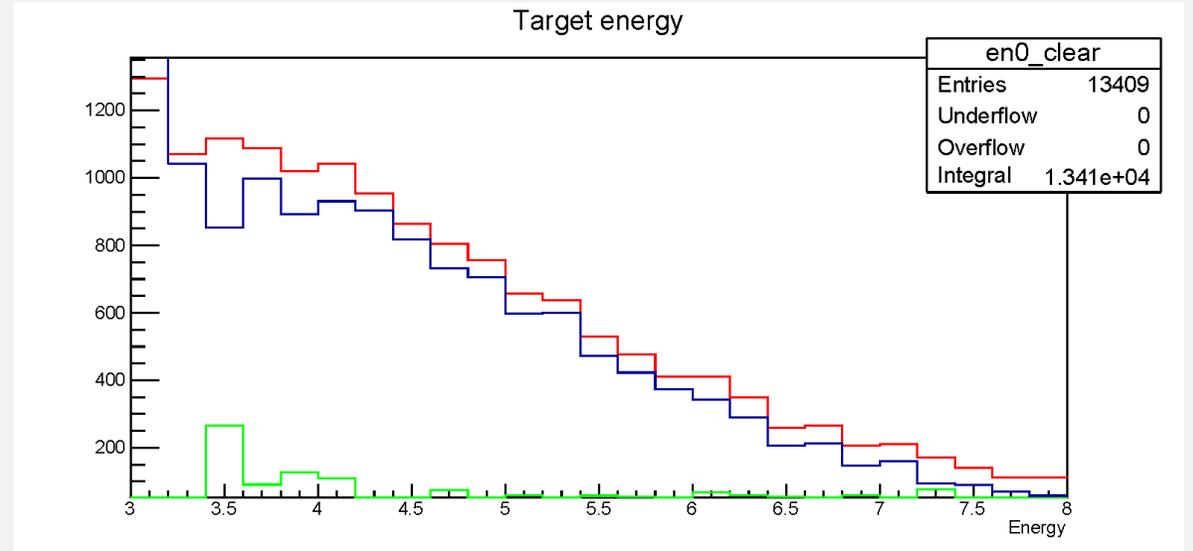
Набор данных в период: 12.01.2023 – 22.01.2023

$$R_{\nu} = 1365 \pm 88 \text{ сутки}^{-1}$$

Красный – кандидаты;

Зелёный – данные при R_OFF.

Синий – разница;



ОЖИДАЕМАЯ СКОРОСТЬ СЧЁТА

$$R_v = \frac{N_p \varepsilon \sigma_{235}}{4\pi L^2 E_{235}} (1 + k) P_{th}$$

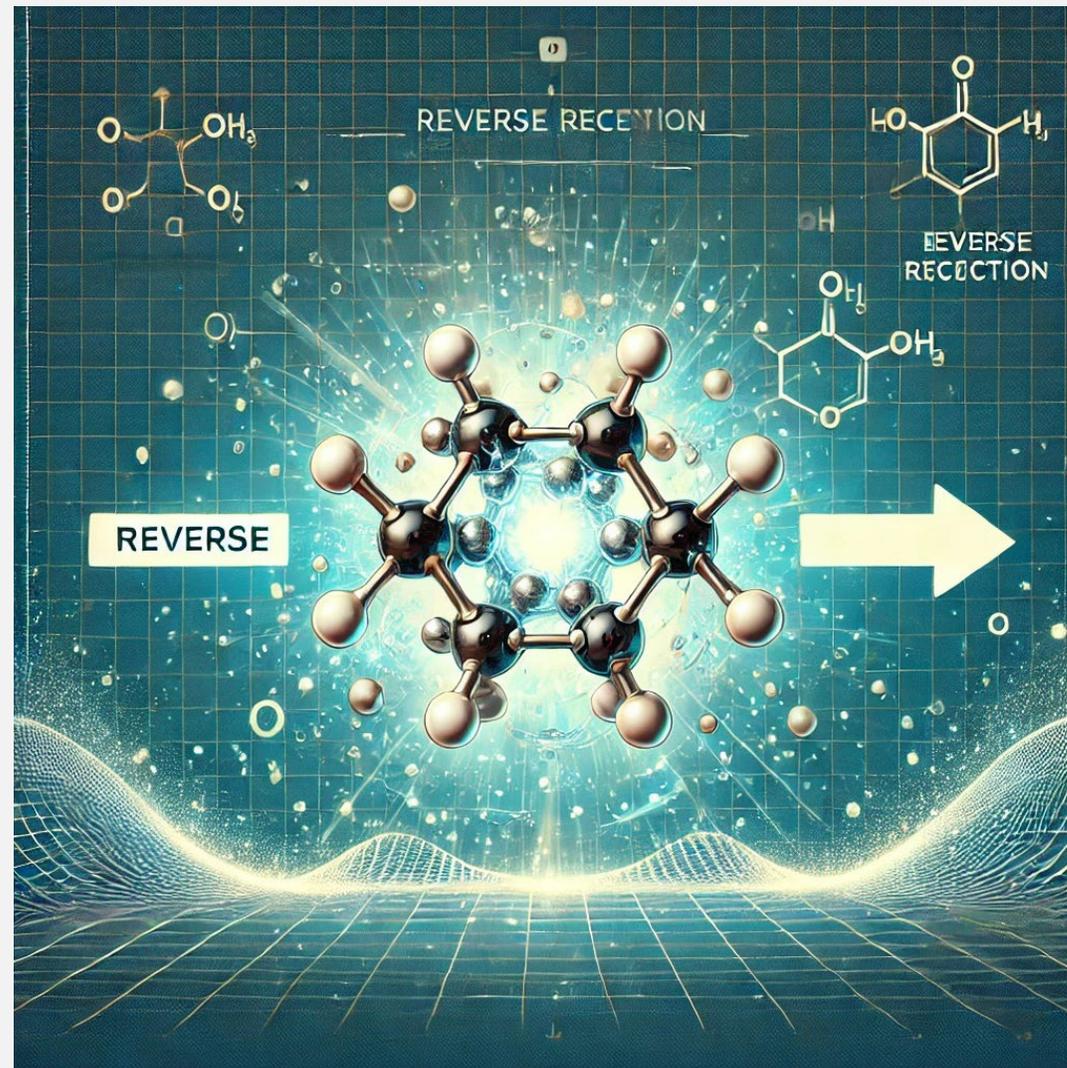
- N_p – количество протонов в мишени = $7 \cdot 10^{28}$ протонов
- ε – эффективность регистрации детектором = 0.22
- σ_{235} - сечение ОБР, усреднённое по спектру антинейтрино от Урана-235 = $(6.27 \pm 0.13) \cdot 10^{-43} \text{ см}^2$
- L – расстояние от АЗ до детектора = $19.5 \pm 0.1 \text{ м}$
- E_{235} - средняя энергия на деление Урана-235 = $201.9 \pm 0.5 \text{ МэВ}$
- $(1+k)$ – вклады изотопов урана-238, плутония-239, плутония-241, в течении кампании реактора типа ВВЭР варьируется в пределах (0.92 – 0.96)
- P_{th} - тепловая мощность АЭС = 3 ГВт.

При данных параметрах ожидаемая скорость счёта составит $1522 \pm 37 \text{ сутки}^{-1}$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

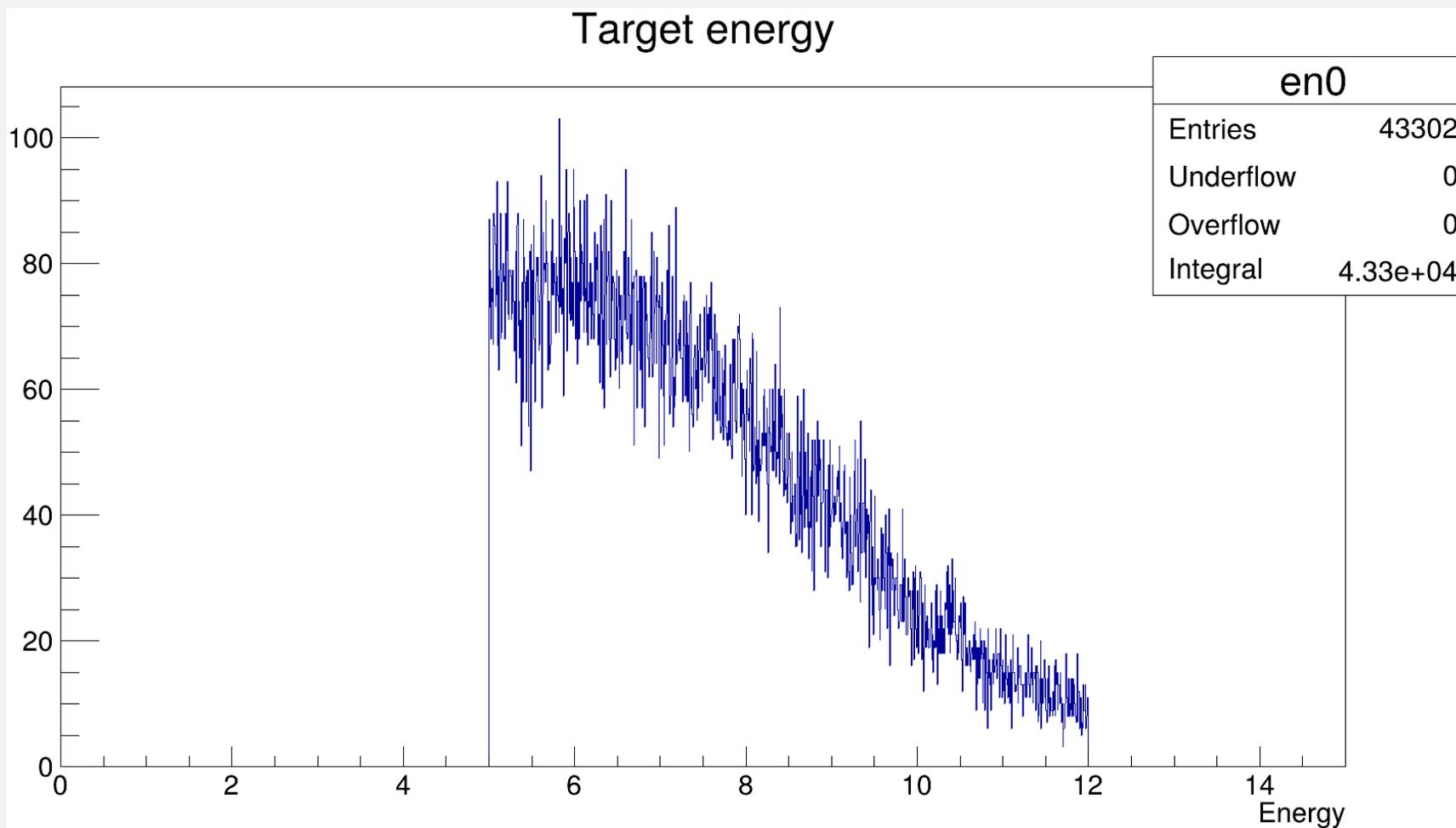
1. Получены спектры антинейтрино в детекторе iDREAM, с учётом вкладов случайного и коррелированного фонов
2. Получена скорость счёта антинейтрино детектором iDREAM равная 1365 ± 88 сутки⁻¹
3. Получена ожидаемая скорость счёта равная 1522 ± 37 сутки⁻¹

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ



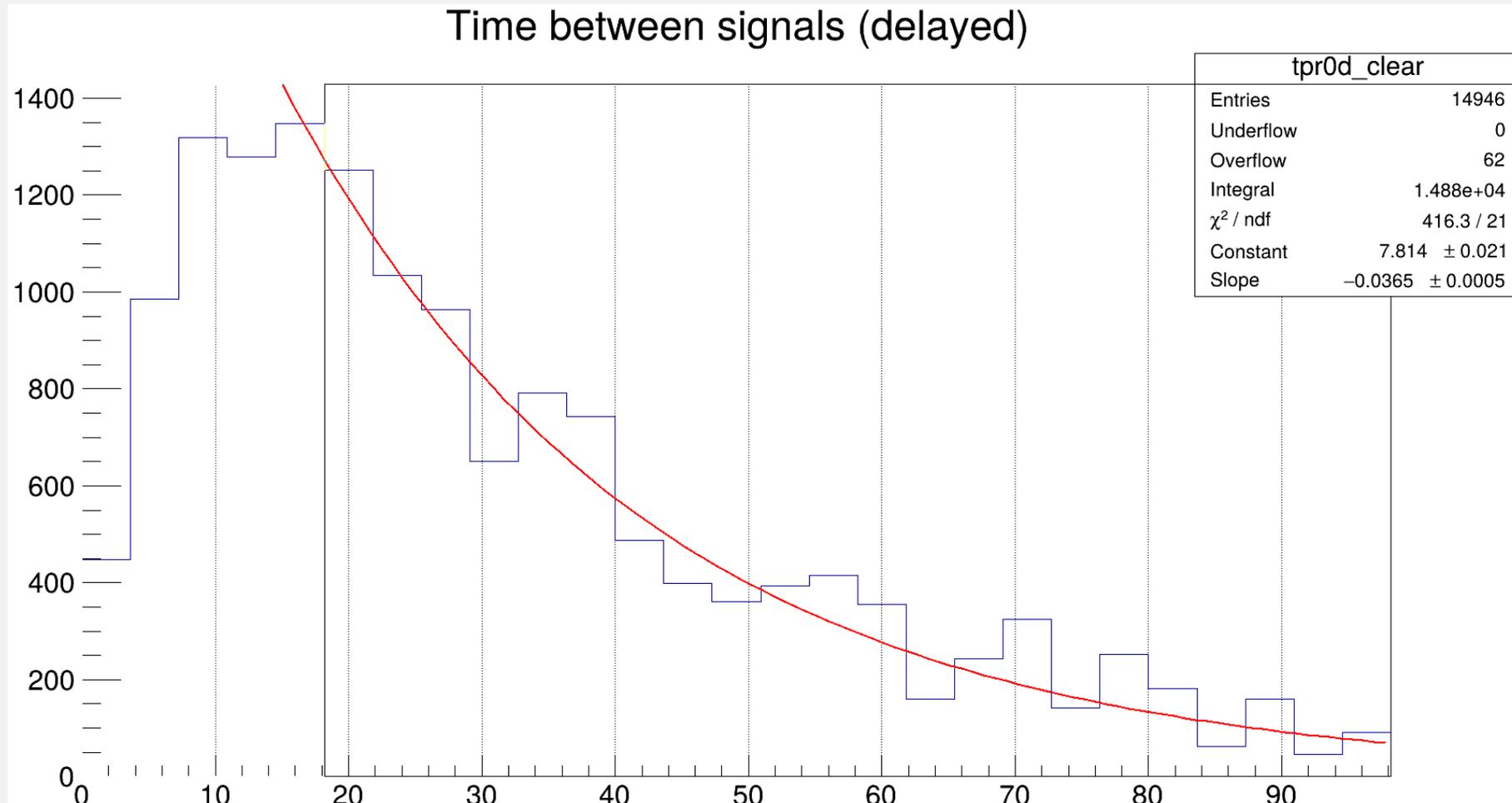
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СЛАЙДЫ

Энергия позитрона от Калифорния



ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СЛАЙДЫ

Фит чистого временного спектра



ЧИСЛО ПРОТОНОВ В МИШЕНИ

- Суммарное количество протонов в 1 грамме ЛАБ = $73.09 \cdot 10^{21}$ шт
- Объём мишени = 1.112 м^3
- Средняя плотность = 0.86 г/см^3
- Масса мишени = $0.86 \cdot 1.112 \cdot 10^6 \approx 0.956 \cdot 10^6 \text{ гр.}$
- Количество протонов в мишени:

$$N_p = 73.09 \cdot 10^{21} \cdot 0.956 \cdot 10^6 \approx 7 \cdot 10^{28} \text{ протонов}$$

Компоненты ЛАБ	Эмп. ф-ла	Массовая доля, %	Молярный вес	Число молекул в 1 грамме	$N_p/\text{гр}$
Децилбензолы	$C_{16}H_{26}$	13,7	218	$3,78 \cdot 10^{20}$	$9.83 \cdot 10^{21}$
Ундецилбензолы	$C_{17}H_{28}$	32,4	232	$8.41 \cdot 10^{20}$	$23.55 \cdot 10^{21}$
Додещилбензолы	$C_{18}H_{30}$	33,3	246	$8.15 \cdot 10^{20}$	$24.45 \cdot 10^{21}$
Тридецилбензолы	$C_{19}H_{32}$	20,6	260	$4.77 \cdot 10^{20}$	$15.26 \cdot 10^{21}$

Табл. 8 Состав ЛАБ

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГИСТРАЦИИ

$$\varepsilon = \varepsilon_{pos} \cdot \varepsilon_n \cdot \varepsilon_t \approx 0.22$$

- ε_{pos} - эффективность регистрации позитрона, в зависимости от порога ($E_{pos} > 3 \text{ МэВ}$) = 0.46
- ε_{pos} - эффективность регистрации нейтрона, определяемая при помощи моделирования методами Монте-Карло отклика детектора к нейтронам = 0.5
- ε_{pos} - вероятность зарегистрировать нейтрон в окне 100 мкс, которая определяется как $(1 - \exp(-t/\tau))$, где τ – время до захвата нейтрона в сцинтилляторе детектора =

ПОГРЕШНОСТЬ РАСЧЁТА

$$\sigma_{\Phi} = \sqrt{\sigma_W^2 + \sigma_E^2 + \sigma_S^2 + \sigma_{\alpha}^2} \approx 2.4\%$$

- σ_W - погрешность в определении мощности реактора $\approx 1.8\%$
- σ_E - погрешность, вносимая энергией, выделяющейся на одно деление $\approx 0.1\%$
- σ_S - погрешность, вносимая спектром антинейтрино, приходящимся на одно деление $\approx 1.16\%$ (KI модель)
- σ_{α} - погрешность, вносимая долями деления $\approx 1\%$