



Анализ мюонного фона в эксперименте DEAR-3600

Научный руководитель: Мачулин И.Н.

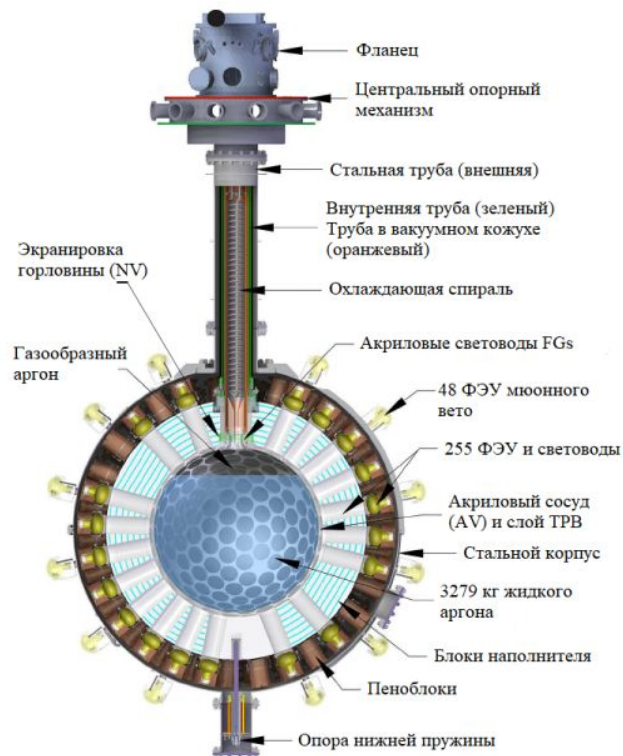
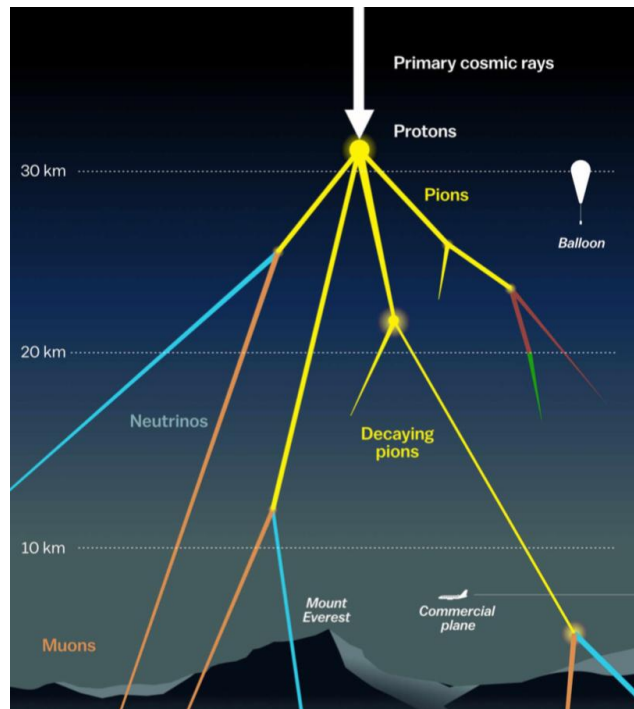
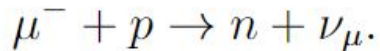
Студент: Токарева П.С.

Москва 2023



Эксперимент DEAP-3600

Одним из основных источников фона в эксперименте являются космогенные нейтроны - нейтроны, рождающиеся при взаимодействии мюонов из атмосферы с элементами детектора и его окружением в ходе реакции мюонного захвата на протоне:



Методы расчёта мюонного потока

- Экстраполяция ранних экспериментальных данных [1]:

$$\Phi = (3.31 \pm 0.10) \cdot 10^{-10} \mu/cm^2/s$$

- Использование Depth-Intensity-Relation(DIR)[2]:

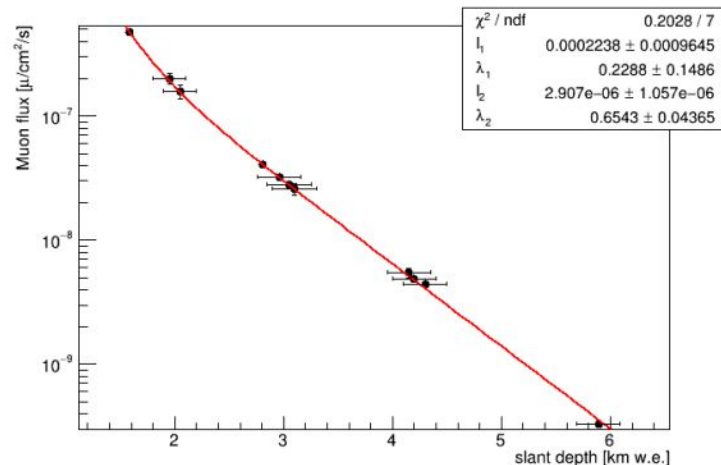
$$I(h) = (I_1 e^{-h/\lambda_1} + I_2 e^{-h/\lambda_2})$$

$$\Phi = (3.58 \pm 1.09) \cdot 10^{-10} \mu/cm^2/s$$

- MUTE (MUon inTensity codE) - это программный пакет для расчёта потока мюонов, долетающих через атмосферу и интенсивностей потока мюонов под землёй*:

$$\Phi = (4.18_{-0.02}^{+0.08}) \cdot 10^{-10} \mu/m^2/s$$

- Вычисление мюонного потока на основе данных, полученных из мюонного вето.



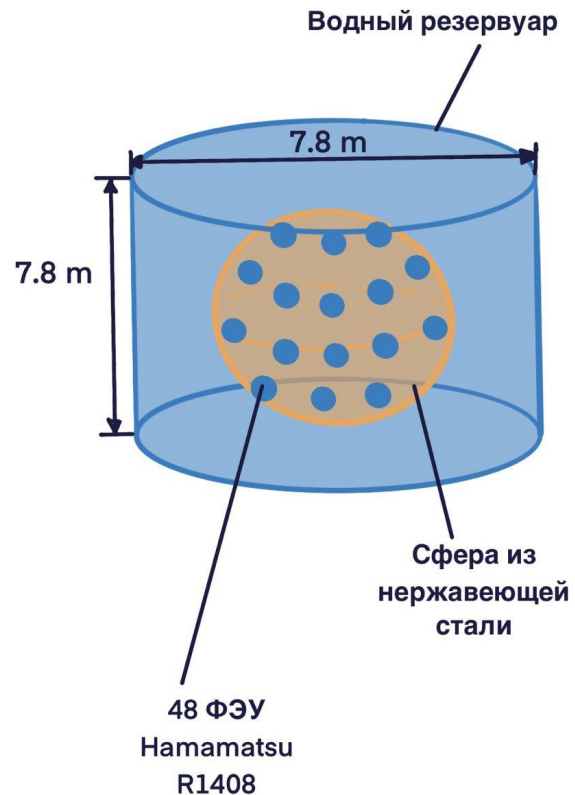
[1] B. Aharmim и др. «Measurement of the cosmic ray and neutrino-induced muon flux at the Sudbury neutrino observatory».

[2] D.-M. Mei and A. Hime, "Muon-Induced Background Study for Underground Laboratories"

*Значение было посчитано мною в прошлом семестре.

Мюонное ведро

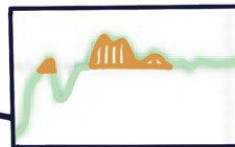
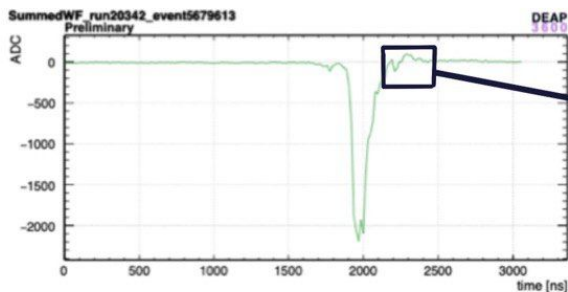
Процесс обработки данных



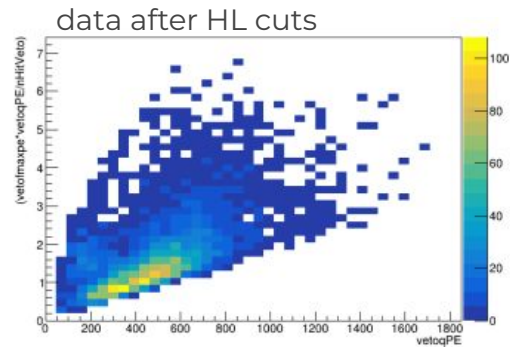
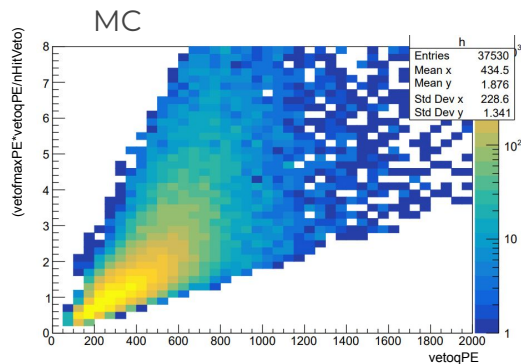
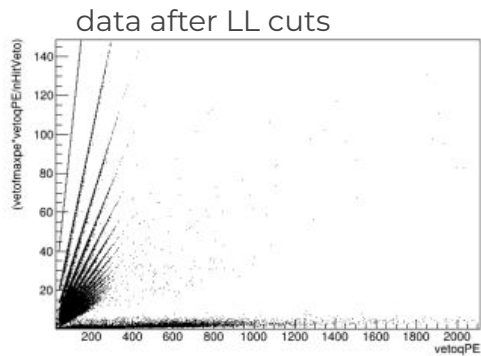
Низкоуровневые ограничения на параметры (Low level cuts)

Ограничения на параметры, выбранные на первом этапе работы:

- Нижнее ограничение на амплитуду суммарного сигнала со всех ФЭУ ($\text{vetoqPE} > 6$) - чтобы отсечь низкоэнергетичные события;
- Ограничение на превышение суммированным сигналом базовой линии ($\text{vetoOverShoot} < 2000$);
- $\text{foundVetoEvent} == 1$ - флаг, который отражает факт срабатывания вето.



vetoOverShoot - часть сигнала, находящаяся выше базовой линии, проинтегрированная по времени



Высокоуровневые ограничения на параметры (High level cuts)

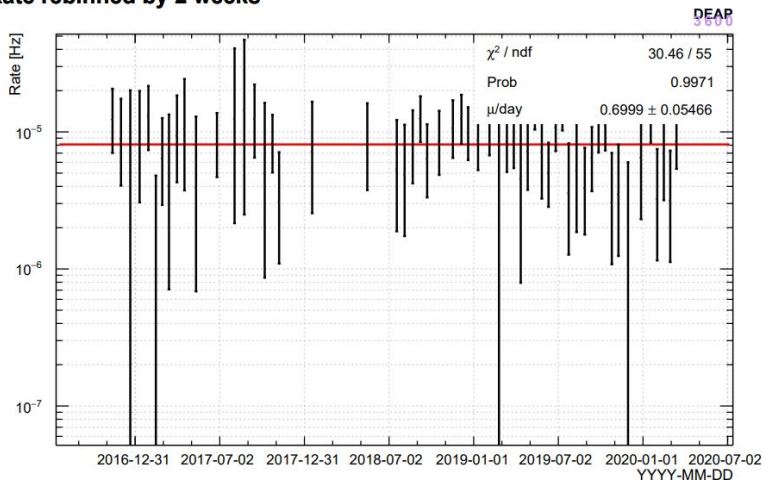
1. vetoOvershoot < 1000;
2. vetoqPE > 50;
3. vetoOfmaxPE > 0.08;
4. $(\text{vetoOfmaxPE} \cdot \text{vetoqPE} / \text{nHitVeto}) < (0.01 \cdot \text{vetoqPE} + 1.4)$ - ограничение на среднюю энергию, собранную одним ФЭУ, участвующем в формировании сигнала;
5. isInstrumental == 0 - специально введенная переменная для отслеживания событий, связанных со сбоем электроники.

Проверка правильности выбора ограничений на параметры

Высокоэнергетичные мюоны могут быть с одинаковой эффективностью детектированы в мюонном вето и в жидком аргоне. Это может быть использовано для проверки выбранных ограничений

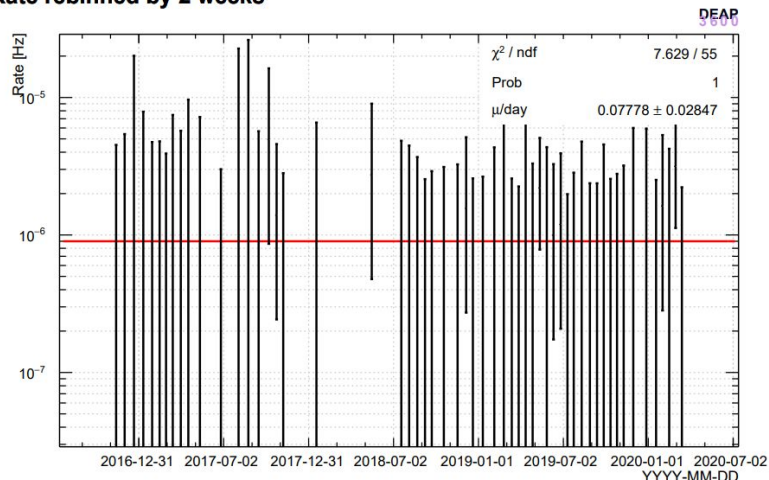
	$\mu/\text{день}$
Все ограничения	0.69 ± 0.05
Инвертированное ограничение 1	0.09 ± 0.03
Инвертированное ограничение 2	$(1.32 \pm 0.08) \cdot 10^{-5}$
Инвертированное ограничение 3	0.08 ± 0.03
Инвертированное ограничение 4	0.14 ± 0.37

Rate rebinned by 2 weeks



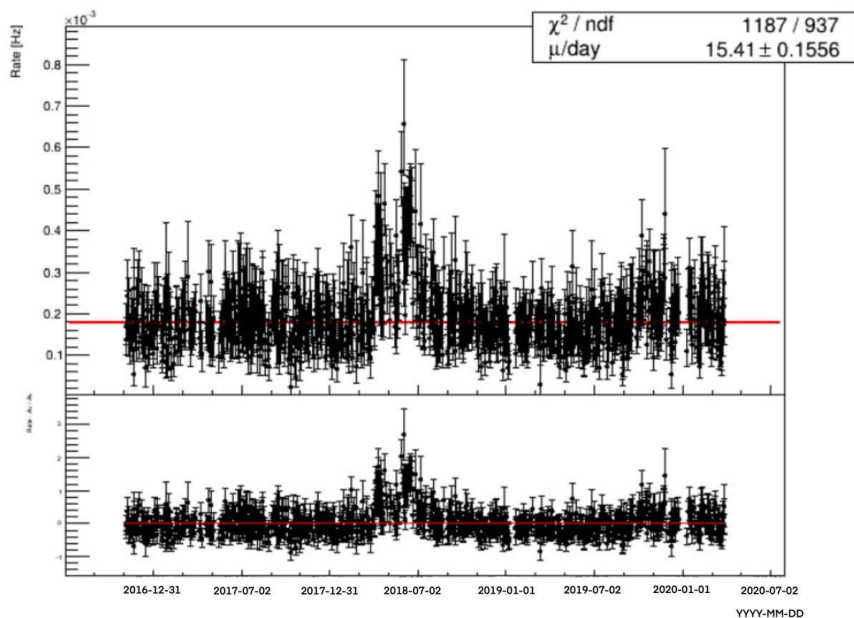
Частота совпадений при применении всех ограничений.

Rate rebinned by 2 weeks

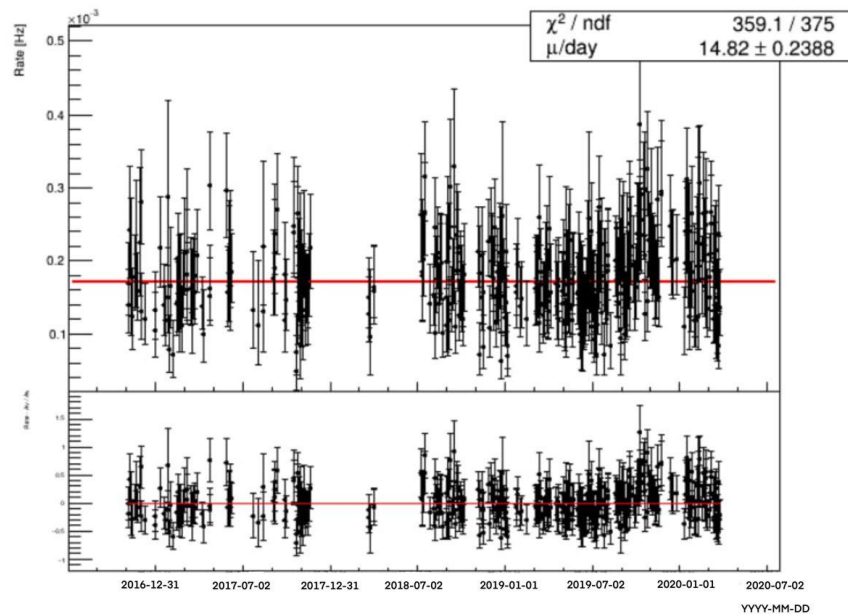


Частота совпадений при инвертировании одного из ограничений ($f_{\text{maxpre}} < 0.08$).

Расчёт потока мюонов после применения высокоуровневых ограничений на параметры



До применения ограничений и выбора пробегов



После применения ограничений и выбора пробегов

Расчёт потока мюонов после применения высокоуровневых ограничений на параметры

Результирующее значение потока было рассчитано по формуле:

$$\Phi = \frac{R_{obs}}{A_{eff}}$$

где R_{obs} - число попадающих каждый день в вето мюонов;

A_{eff} - эффективная площадь поперечного сечения равная $(64 \pm 2)m^2$

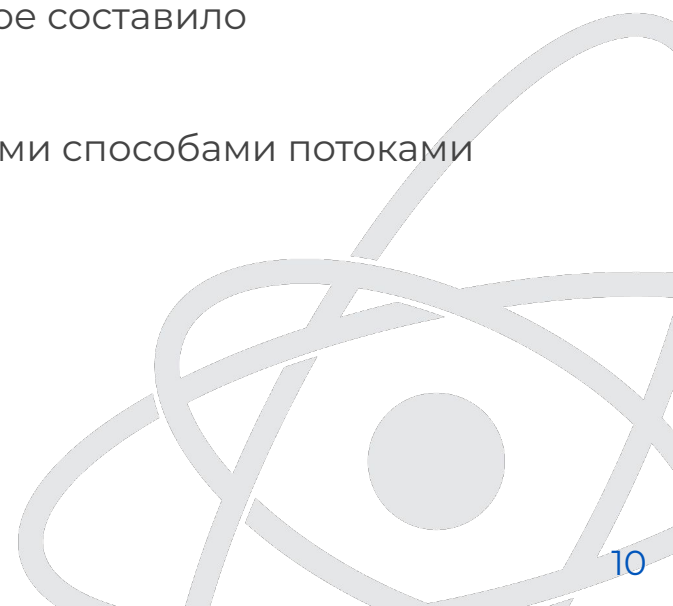
	SNO	DIR	MUTE	MV
$\Phi (\cdot 10^{-10} \mu/cm^2/c)$	3.31 ± 0.10	3.58 ± 1.09	$4.18^{+0.08}_{-0.02}$	2.6 ± 0.2

Заключение

- Был проведен анализ данных, полученных из мюонного вето;
- Были установлены ограничения на параметры для данных, полученных из мюонного вето;
- Было определено значение потока мюонов, которое составило

$$(2.6 \pm 0.2) \cdot 10^{-10} \mu/cm^2/s$$

Данное значение совпадает с полученными другими способами потоками по порядку величины.





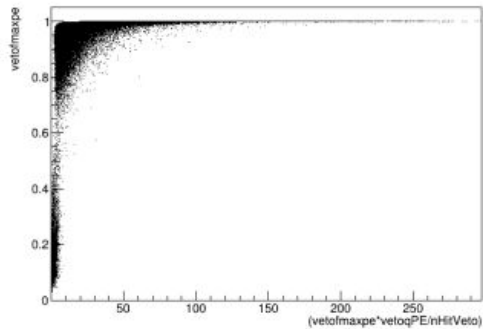
Дополнительные слайды

Параметры, использованные для отбора данных

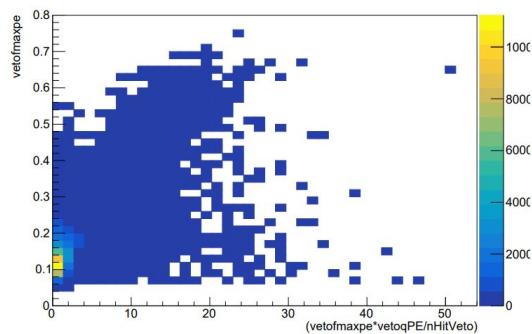
1. **vetoqPE** - число фотоэлектронов, зарегистрированных в ФЭУ за одно событие;
2. **vetofmaxPE** - доля суммарного заряда, собранного со всех ФЭУ, от максимально возможного значения суммарного заряда;
3. **vetoOverShoot** - проинтегрированное количество заряда (АЦП*нс) для суммированного со всех ФЭУ сигнала, который находится выше базовой линии. Сигналы в вето должны быть отрицательными, а отклонение в положительную сторону не должно быть большим;
4. **nHitVeto** - число ФЭУ использованных в формировании сигнала события.
5. **(vetofmaxpe · vetoqPE/nHitVeto)** - усредненное значение заряда, собранного всеми ФЭУ за одно событие.

Распределения по параметрам

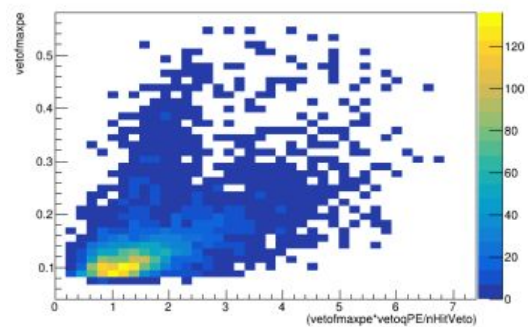
data after LL cuts



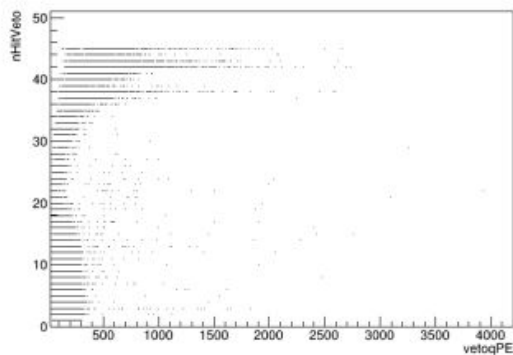
MC



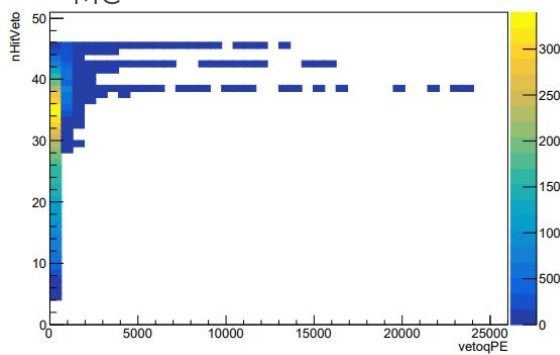
data after HL cuts



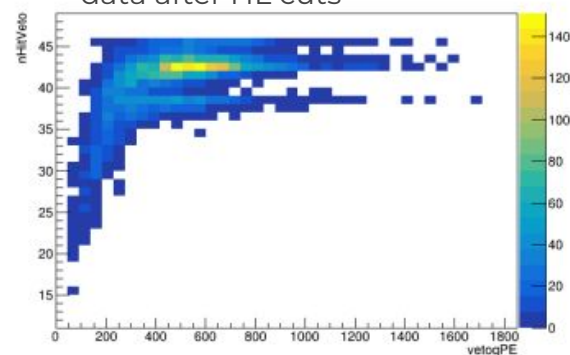
data after LL cuts



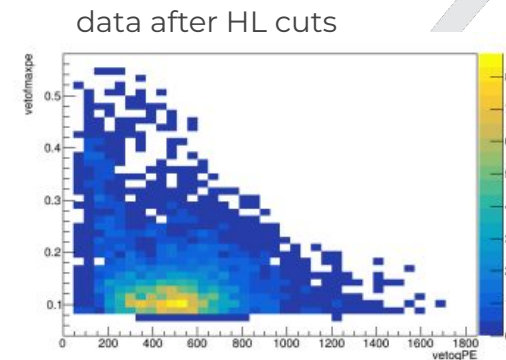
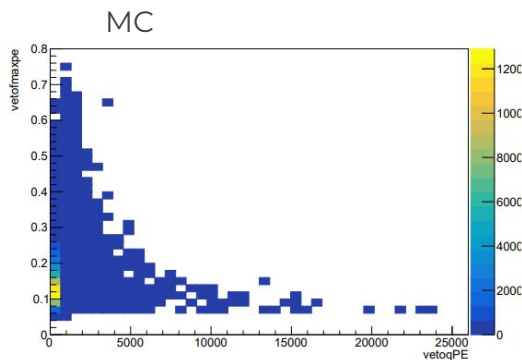
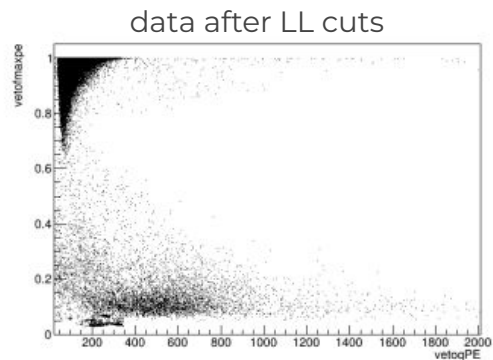
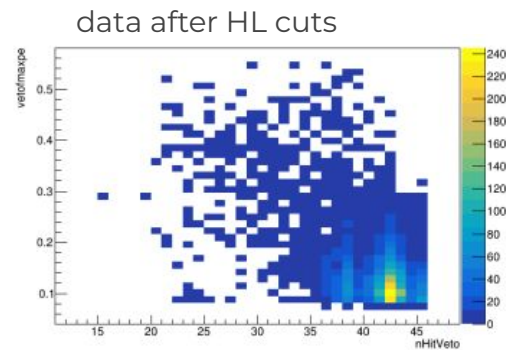
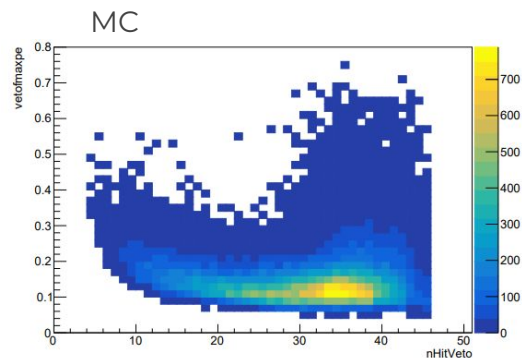
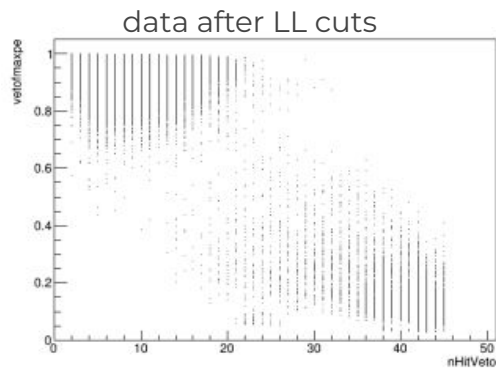
MC



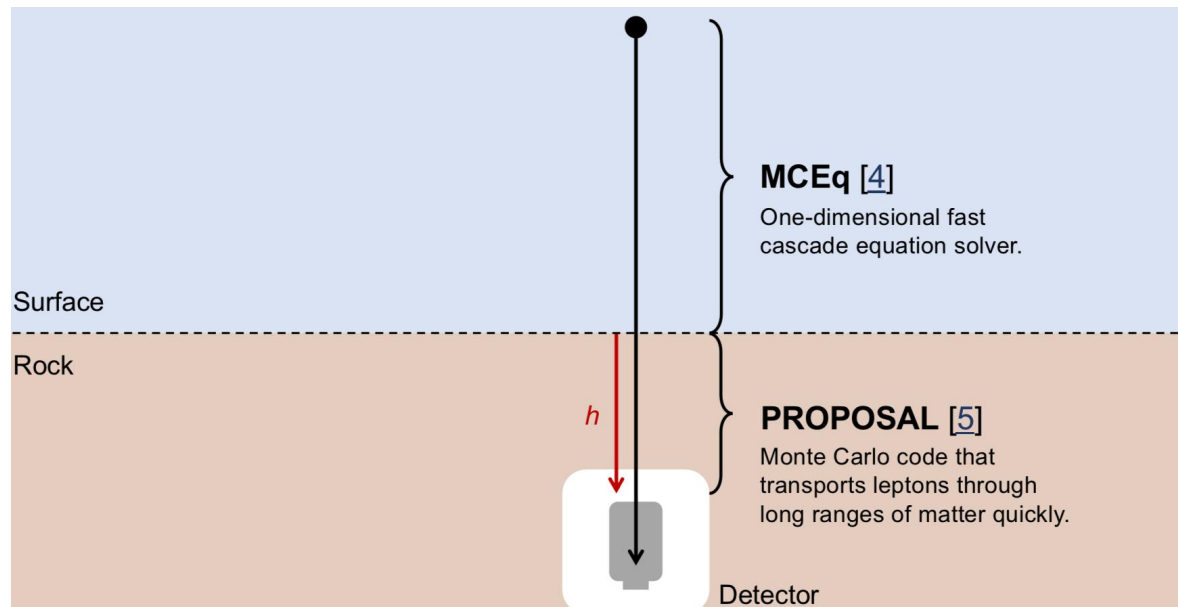
data after HL cuts



Распределения по параметрам



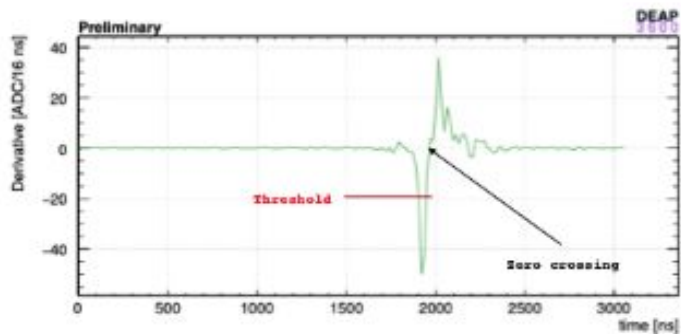
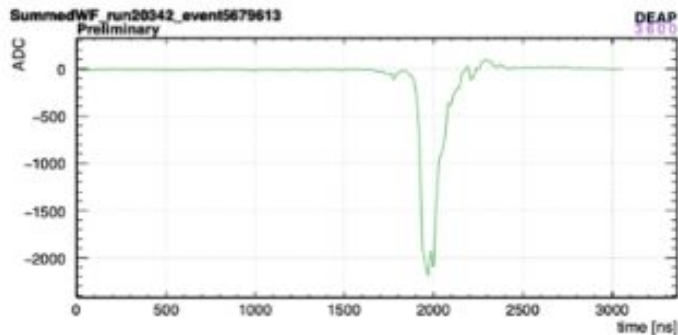
Как работает MUTE



$$\Phi^u(E_j^u, X_k, \theta_k) = \sum_i \Phi^s(E_j^s, \theta_k) P(E_i^s, E_j^u, X_k) \left(\frac{\Delta E_j^s}{\Delta E_j^u} \right)$$

foundVetoEvent

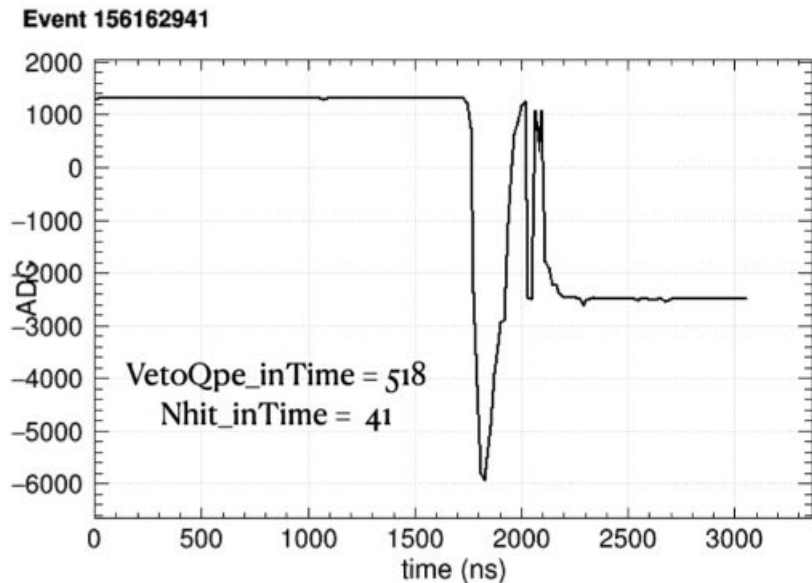
При анализе первой производной суммированного сигнала было обнаружено, что для шума её значение никогда не превышает ~ -20 ADC/16ns



Пример формы сигнала полученного с вето (слева) и его первой производной (справа)

isInstrumental

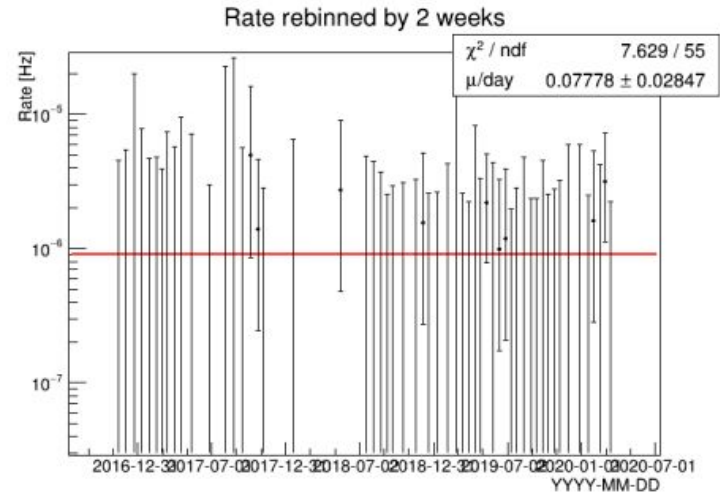
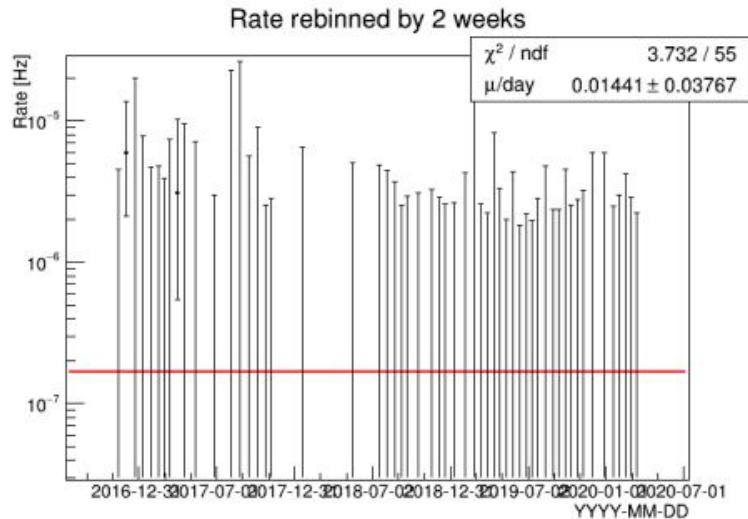
Выход на плато - событие, при котором в ФЭУ попадает более 1000 фотоэлектронов.



Одна из причин - попадание мюона в фотоумножитель, которое вызывает сильных разряд. Вероятность такого события составляет $\sim 1.1\%$, что не сравнимо с измеренным числом таких событий.

Для маркировки таких событий была введена переменная isInstrumental.

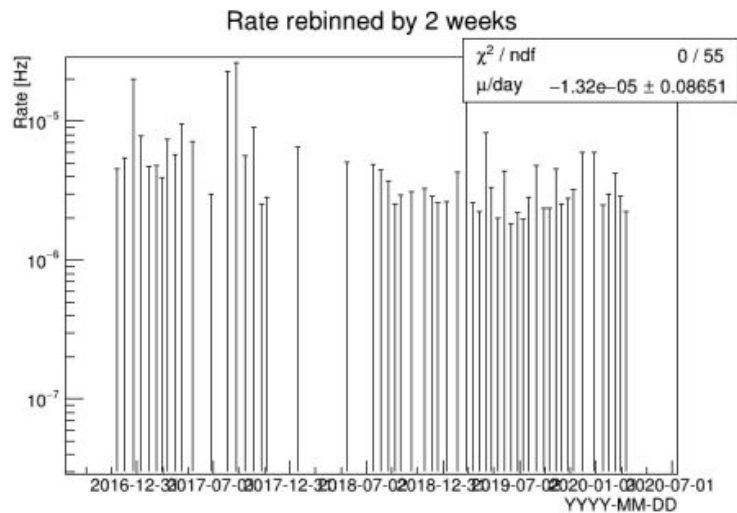
Проверка правильности выбора ограничений на параметры



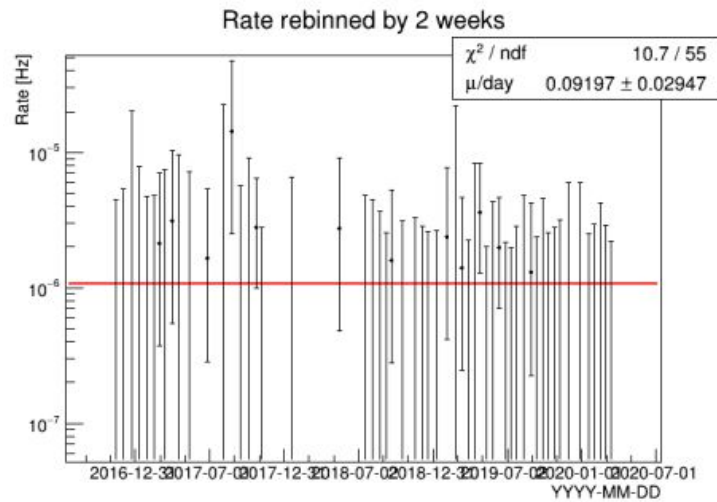
$(\text{vetofmaxpe} \cdot \text{vetoqPE}/\text{nHitVeto}) > (0.01 \cdot \text{vetoqPE} + 1.4)$

$\text{fmaxpe} < 0.08$

Проверка правильности выбора ограничений на параметры



vetoqPE < 50



vetoOvershoot > 1000