

Отчёт по НИРС:
Возможности поиска тёмных фотонов в ближнем детекторе T2K

Студент: Горин А.С.
Руководитель: Куденко Ю.Г.

НИЯУ МИФИ
Кафедра №40: Физики элементарных частиц

Москва 2020



Для описания физики за рамками стандартной модели, ищем кандидата в скрытую массу:

- Предположим что частицы скрытой массы – синглеты относительно $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$.
- Зададим некоторую модель для “тёмного сектора”.
- Обеспечим взаимодействие двух частей новой теории через “портальные” операторы

$$\mathcal{L} \supset \frac{c_{ij} \mathcal{O}_{SM}^i \mathcal{O}_{DM}^j}{\lambda_{ij}}$$

где c – безразмерная константа, λ – размерный масштаб (степень массы)

где \mathcal{O}_{SM}^i – синглетные комбинации полей стандартной модели.

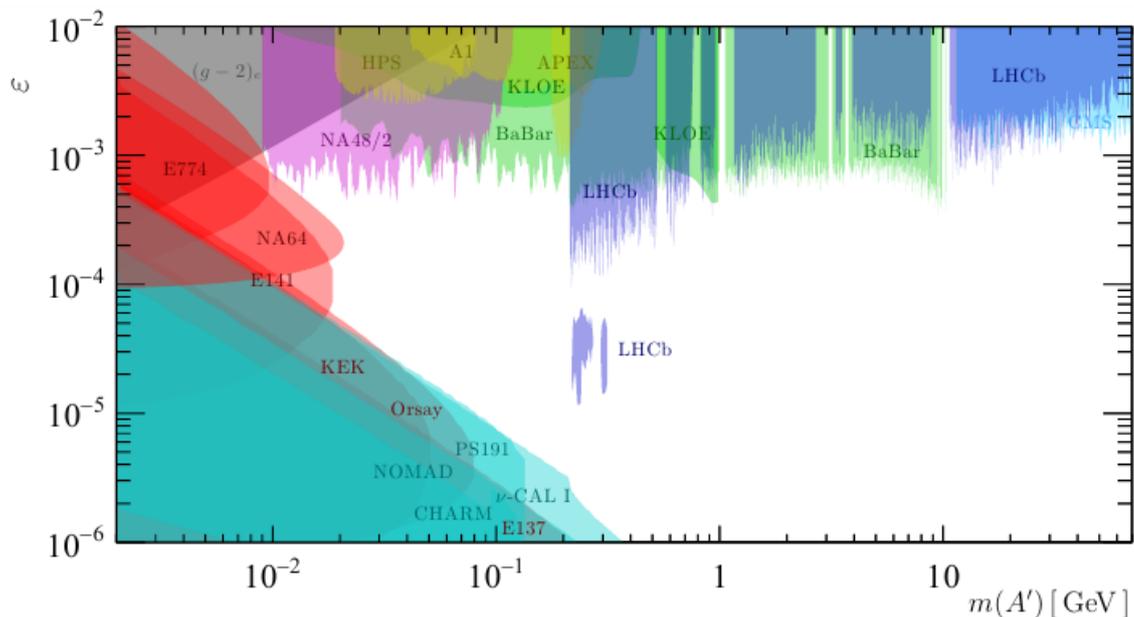
Тогда можно ввести дополнительную $U(1)'$ -симметрию и рассмотреть лагранжиан вида

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{SM} - \frac{1}{4} F'^{\mu\nu} F'_{\mu\nu} + \frac{\varepsilon}{2} F^{\mu\nu} F'_{\mu\nu} + \frac{m_{\gamma'}^2}{2} A'_\mu A'^\mu.$$

При переопределении фотона, кинетическое смешивание исчезает, появляется слагаемое взаимодействия тёмного фотона с электромагнитным током.

Параметрами данной модели будут масса тёмного фотона и константа смешивания.

Приведём текущие ограничения на массу и константу смешивания.<



Интересуемся, можно ли в нейтринных экспериментах быть чувствительными к области параметров $\epsilon \sim 10^{-4}$ и массы ~ 100 МэВ.

Также тёмные фотоны активно ищут на ЛНС.

Будем рассматривать пессимистичный сценарий. При энергиях протонов на ускорителях порядка десятков ГэВ основной вклад в рождение тёмных фотонов в данной модели вносит реакция $pN \rightarrow pN\gamma'$ [arxiv:1912.11389]

Мы будем искать тёмные фотоны, которые родились при распаде нейтральных пионов. Брэнчинг этого процесса

$$Br(\mathbf{m} \rightarrow \gamma\gamma') = Br(\mathbf{m} \rightarrow \gamma\gamma) \times 2 \cdot \varepsilon^2 \left(1 - \frac{m_{\gamma'}^2}{m_{\mathbf{m}}^2}\right)^3.$$

Распад тёмных фотонов.

Распад тёмных фотонов происходит преимущественно в лептоны и адроны. Ширина распада в два лептона

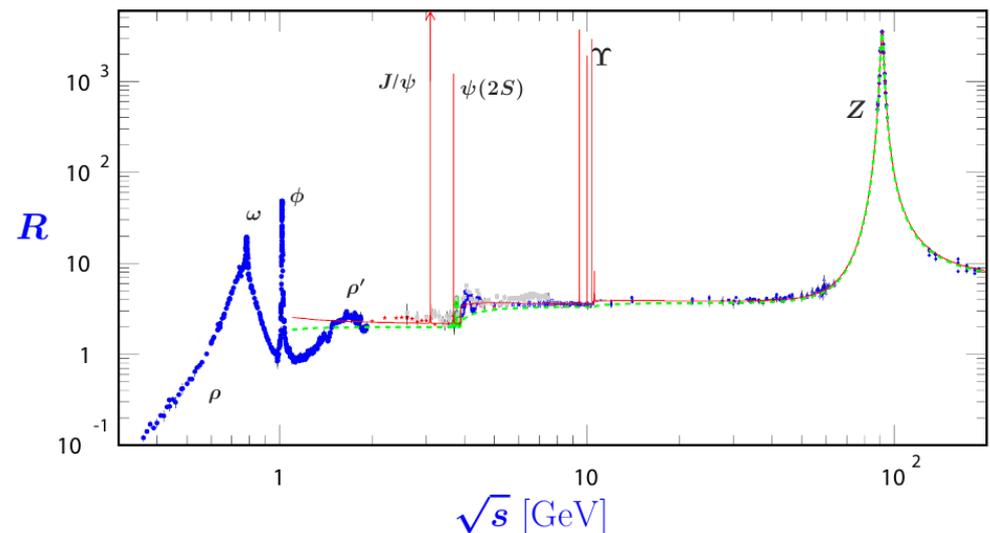
$$\Gamma_{\gamma' \rightarrow l+l^-} = \frac{1}{3} \alpha \varepsilon^2 m_{\gamma'} \left(1 + \frac{2m_l^2}{m_{\gamma'}^2} \right) \sqrt{1 - \frac{4m_l^2}{m_{\gamma'}^2}},$$

где $\alpha = \frac{e^2}{4\pi}$ — постоянная тонкой структуры, m_l — масса лептона.

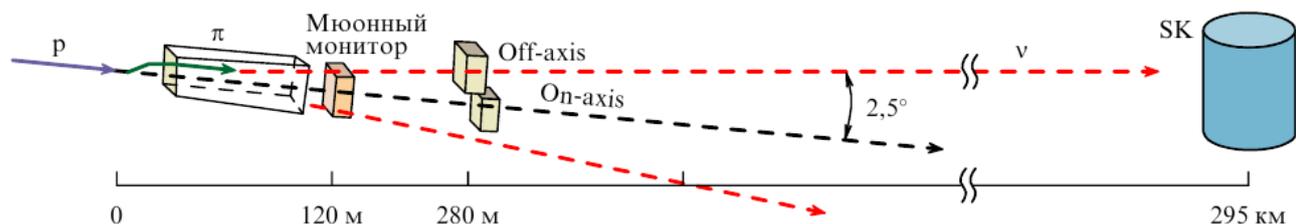
Ширина же распада на адроны

$$\Gamma_{\gamma' \rightarrow \text{hadrons}} = \Gamma_{\gamma' \rightarrow \mu^+ \mu^-} \times R(s).$$

$$R(s) = \frac{\sigma(e^+e^- \rightarrow \text{hadrons})}{\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)}$$

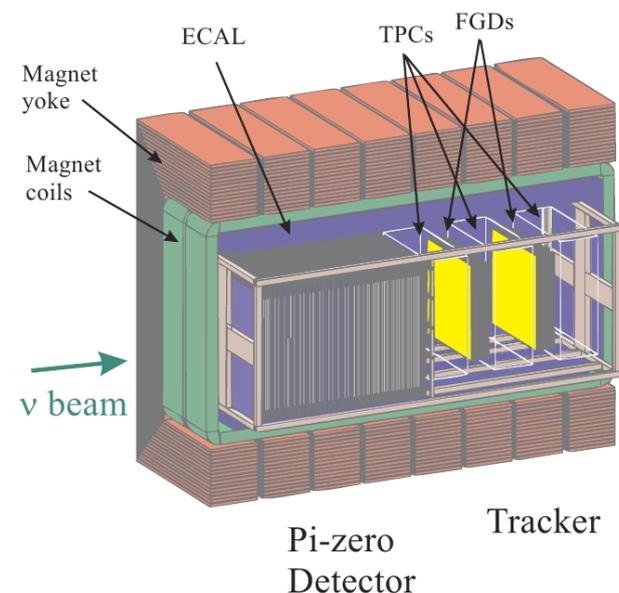


Эксперимент T2K. ND280.



Ищем тёмные фотоны во время-проекционных камерах ближнего детектора ND280 эксперимента T2K.

Будем искать два противоположно заряженных пиона, вылетевших из одной невидимой вершины.

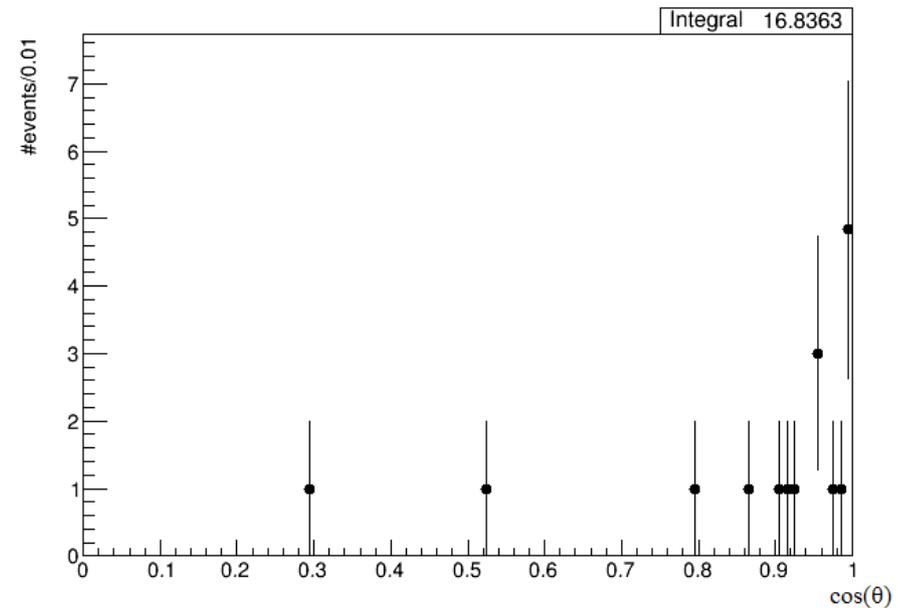
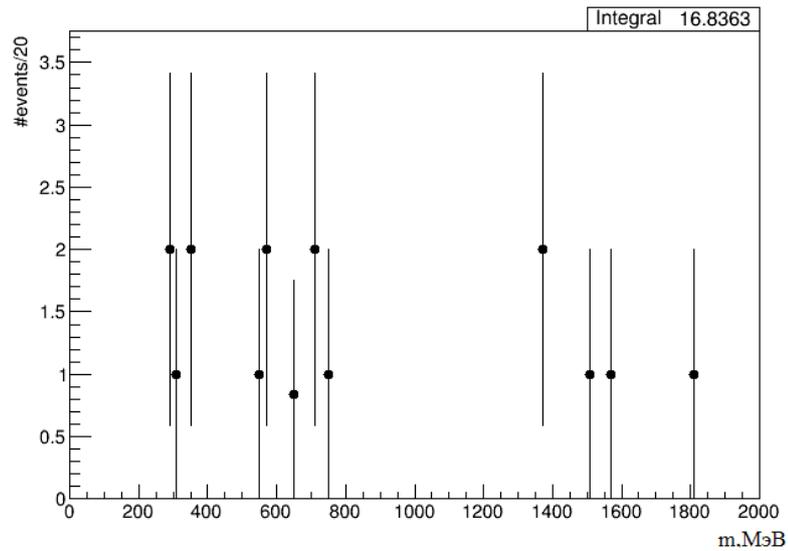


Преимущество ТРС по сравнению с другими детекторами заключается в том, что в газе фон от нейтринных событий значительно меньше. Два основных источника фона в данном случае — реакции $p + \nu \rightarrow \Delta + \dots \rightarrow \gamma + \dots$ и $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$. В первом случае дельта-изобара рождает фотон, во втором случае один фотон распадается на лептонную пару, а второй улетает и не регистрируется.

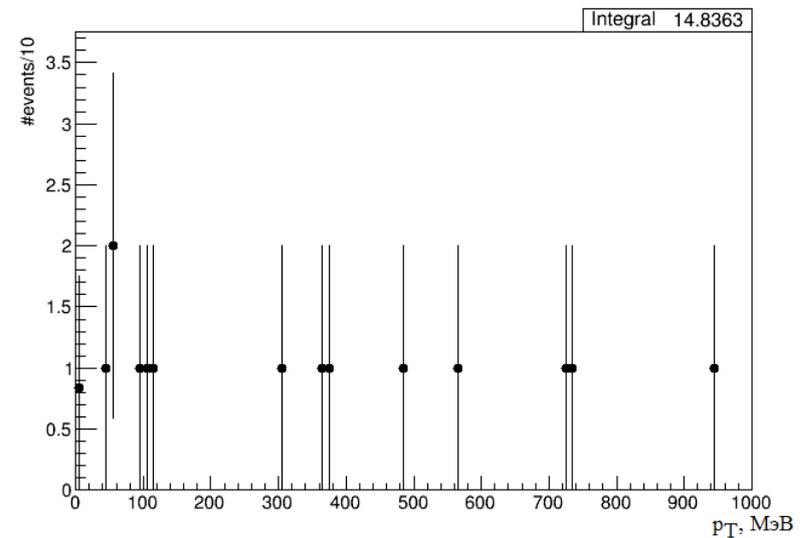
Первичный отбор событий осуществляем по восстановлению вершины и, соответственно, параметров родительской частицы.

- События должны быть хорошего качества,
- Треков должно быть всего два,
- Не должно быть активности в детекторах выше вершины,
- Идентифицируем частицы по кривизне и ионизационным потерям

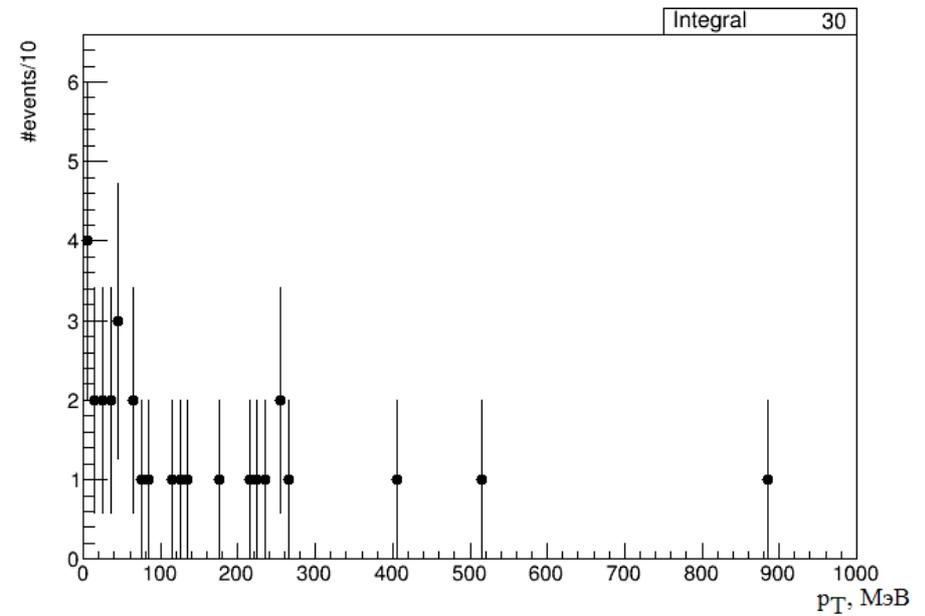
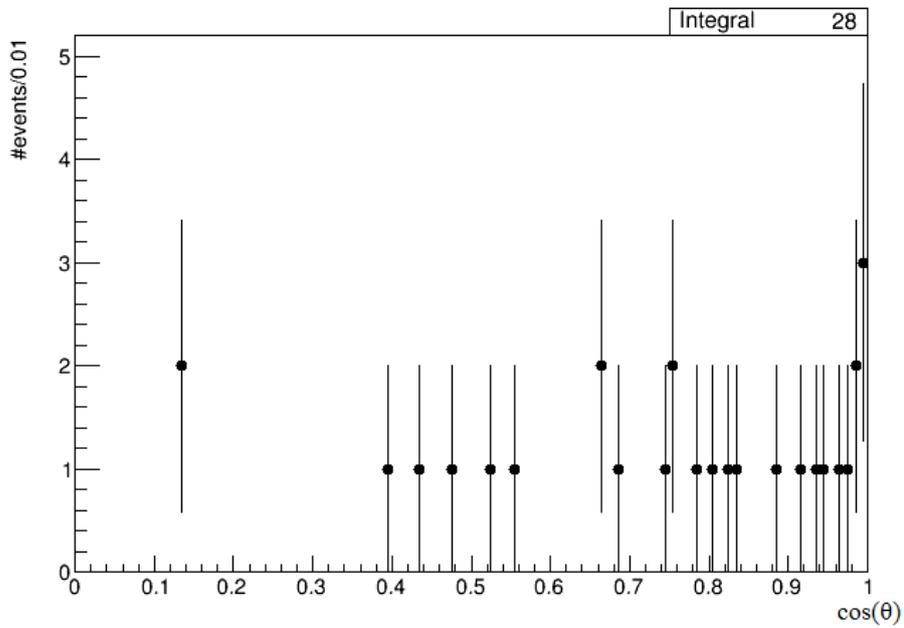
Фоновые события.



Приведём инвариантную массу, угол от оси пучка и поперечный импульс для мюонных событий на статистике $6.3 \cdot 10^{20}$ POT.



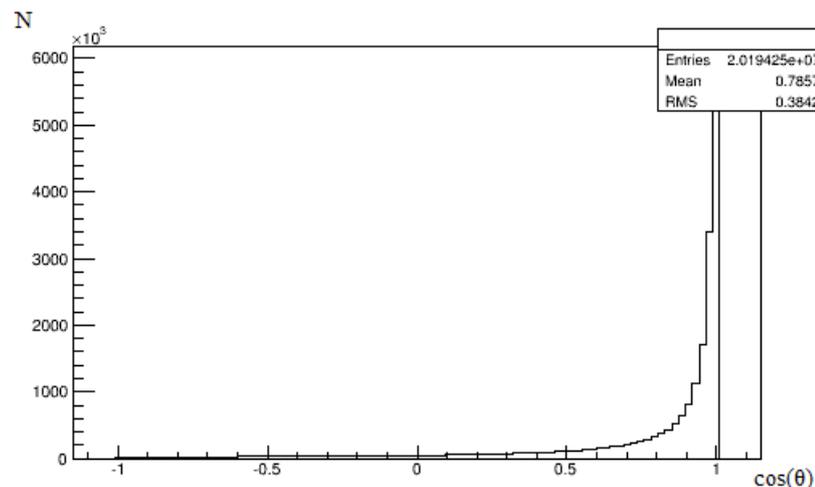
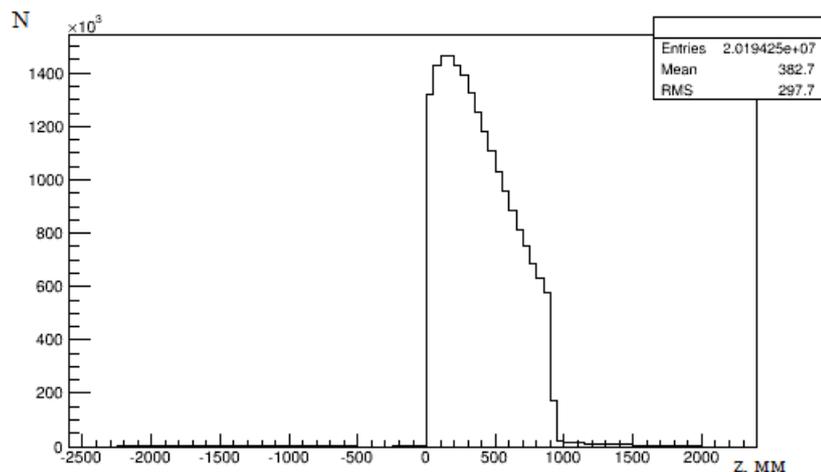
Приведём аналогичные распределения для электронов.



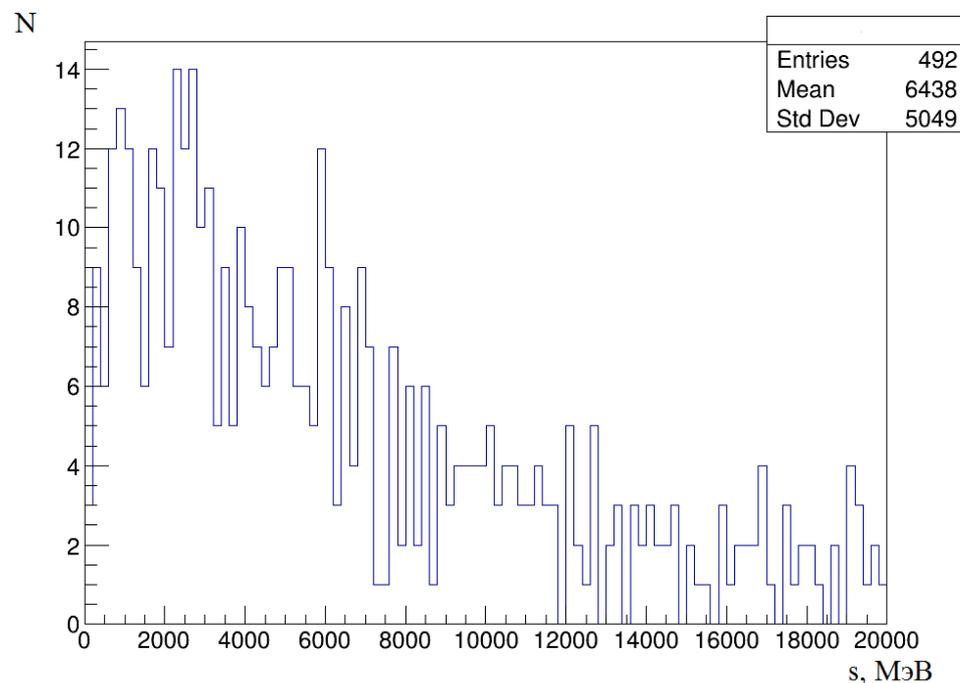
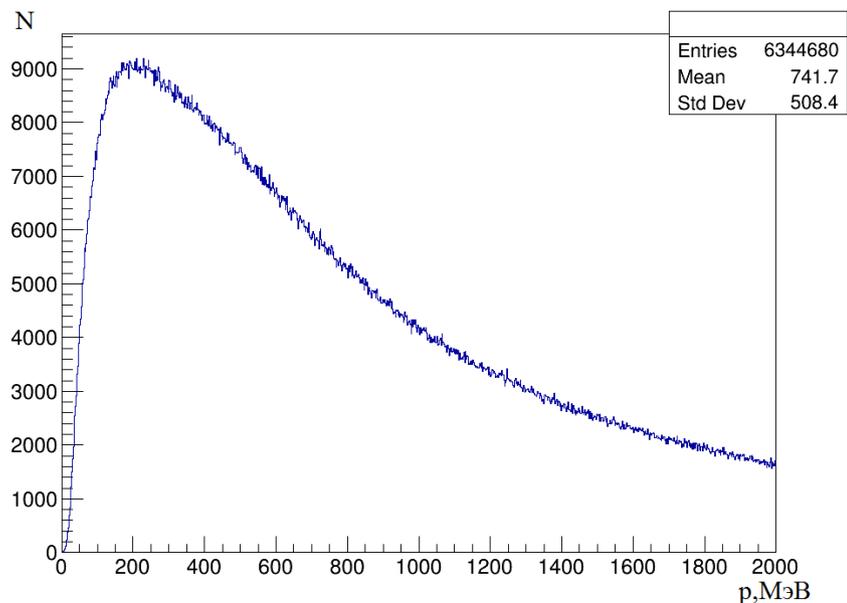
Полезные события вновь будем изучать в пессимистичном сценарии — когда все пионы являются лишь первично рождёнными.

Для этого используем вновь МС-сгенерированную выборку первичных частиц.

Тестовая выборка содержит 6 миллионов нейтральных пионов и отвечает двум миллионам РОТ.



Приведём распределения родившихся тёмных фотонов по импульсам и распределение по энергии тёмных фотонов, попавших в ТРС.



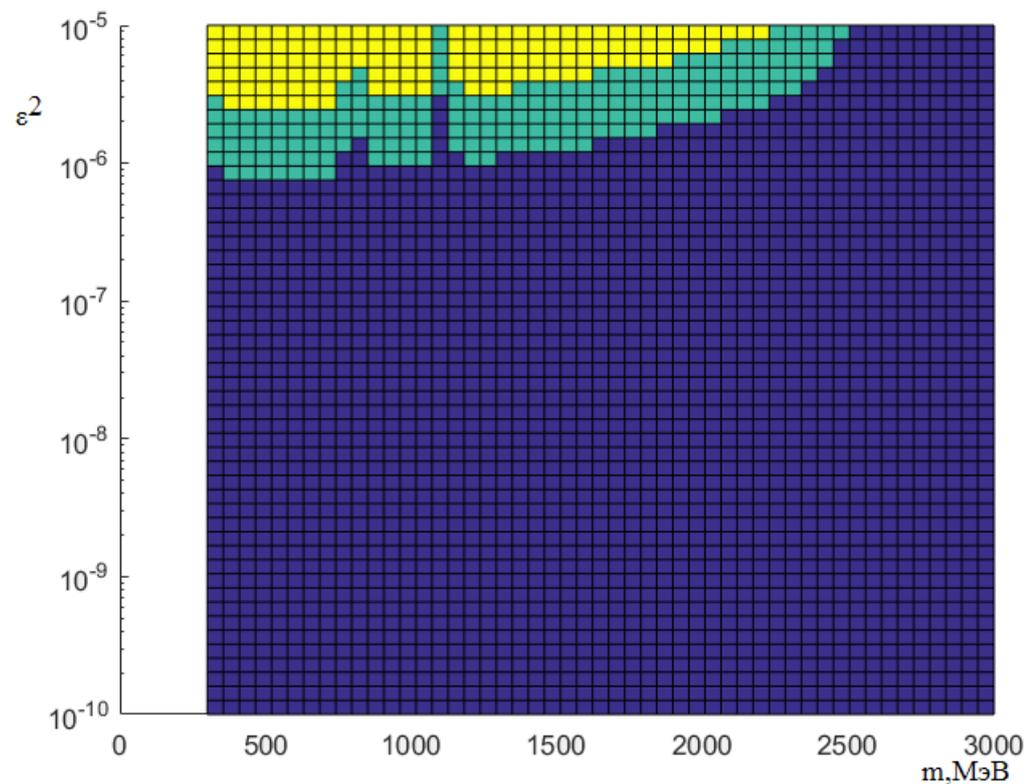
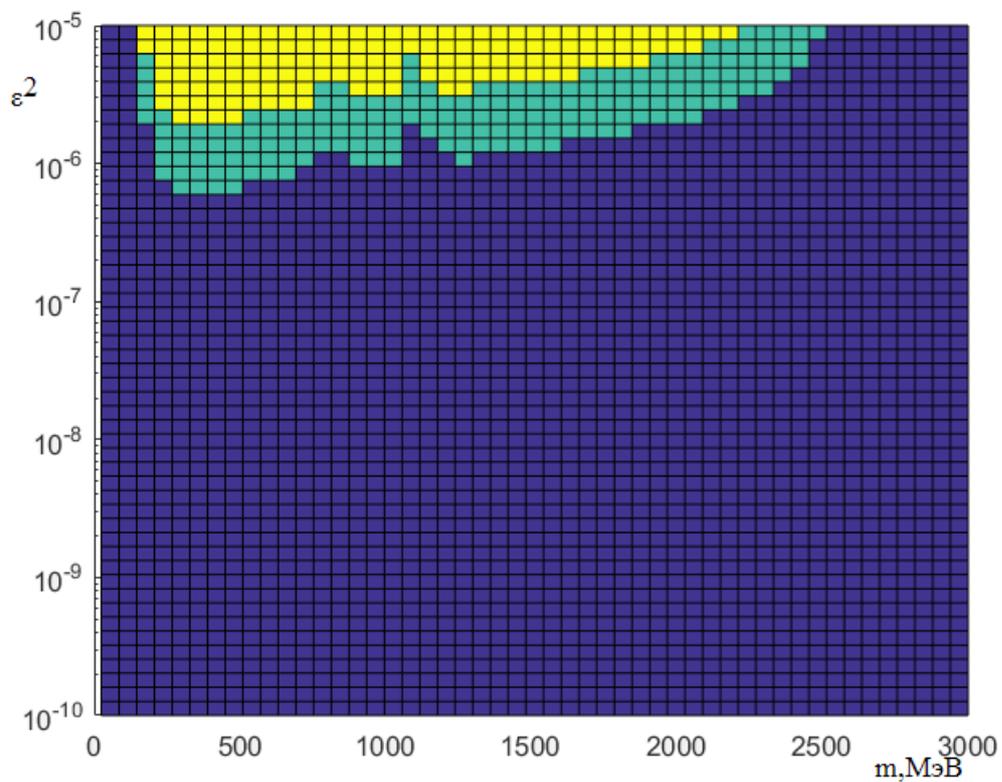
Строго, количество событий может быть описано формулой

$$\text{ROT} \cdot n(\pi^0) \cdot p(\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma') \cdot f_{\text{геом}} \cdot p(p_{\pi^0} > 2m_{\gamma'}) \int_{m_{\gamma'}}^{\infty} \frac{\Gamma_i}{\Gamma_{\text{tot}}} p_{\gamma'}(s, m_{\gamma'}) p_{\text{TPC}} ds,$$

$$p_{\text{TPC}} = e^{\frac{-\Gamma_i t_{\text{in}}}{2}} - e^{\frac{-\Gamma_i t_{\text{out}}}{2}}$$

Сделав существенные упрощения, получим оценку для текущей статистики

Для электронных и мюонных событий соответственно



- Рассматривалась возможность поиска тёмных фотонов в ближнем детекторе T2K.
- Был проведён анализ фоновых событий по данным MC-моделирования, создан задел для эффективного подавления фона.
- Также была проведена работа по анализу полезного сигнала, оценено количество событий на текущей статистике эксперимента.
- Данная оценка весьма пессимистична и может быть сильно уточнена в сторону увеличения количества полезных событий.
- Результат работы в последствии может быть уточнён и служить основанием для реального поиска распадов в эксперименте, в особенности учитывая предстоящий апгрейд ближнего детектора в рамках работ по эксперименту T2HK.