

# Поиск пентакварка $\Theta^+$ в эксперименте NOvA

Выполнил : Аллахвердян В.А.  
Научные руководители: Самойлов О.Б.  
Ольшевский А.Г.

Дубна, 2017

# Цели работы

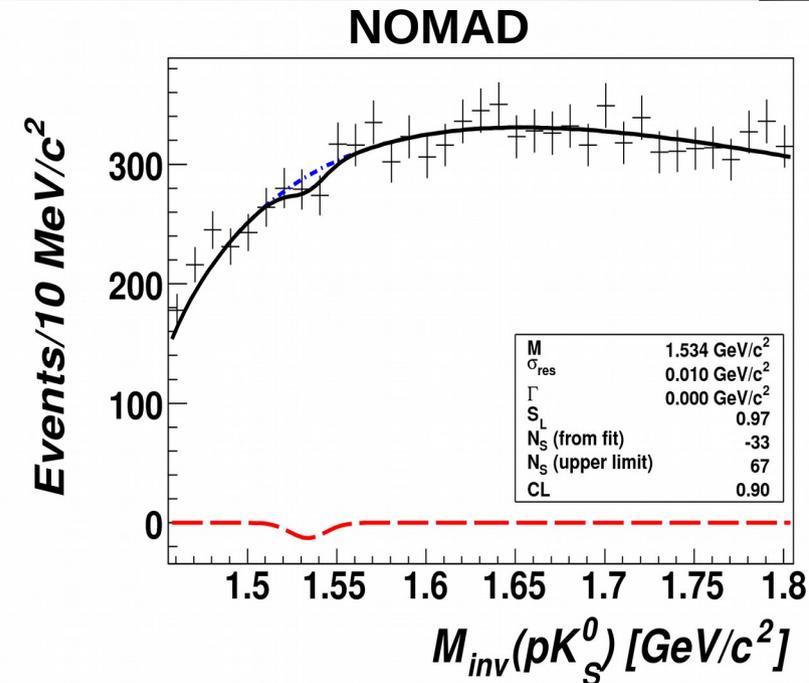
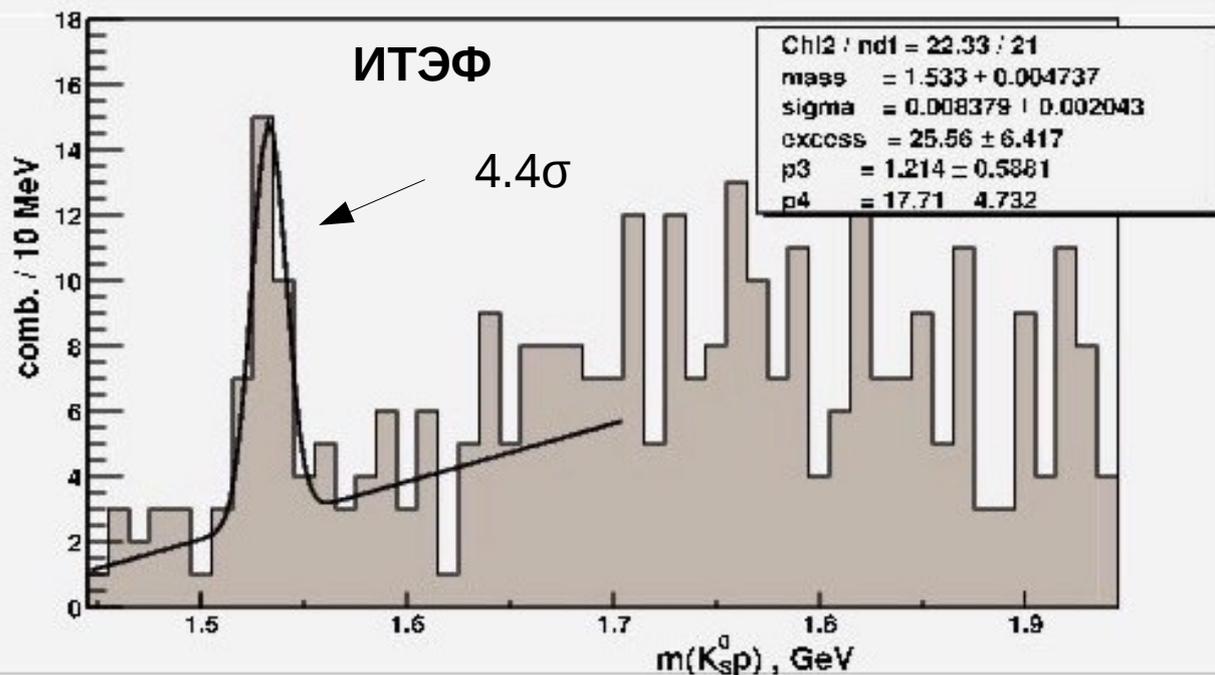
- Целью данной работы является подготовка анализа по поиску пенткварка  $\Theta^+$  в эксперименте NOvA с последующим применением этого анализа в будущем к реальным данным

# Пентакварк : История

- В 1997 году Дмитрий Дьяконов, Виктор Петров и Максим Поляков предложили теорию, предсказывающую существование пентакварков [Dmitry Diakonov et al. Z.Phys. A359 (1997) 305-314] . Ими был предсказан пентакварк с  $M=1540 \text{ MeV}$  и  $\Gamma=15 \text{ MeV}$  и кварковым составом  $uudd\bar{s}$
- Его основная мода распада  $\Theta^+ \rightarrow pK^0$  и  $\Theta^+ \rightarrow nK^+$
- Является экзотическим барионом со странностью  $S=1$
- $J^p=(1/2)^+$
- Количество экспериментальных поисков описывается большим количеством работ, пик активности приходится на 2003-2007 гг.

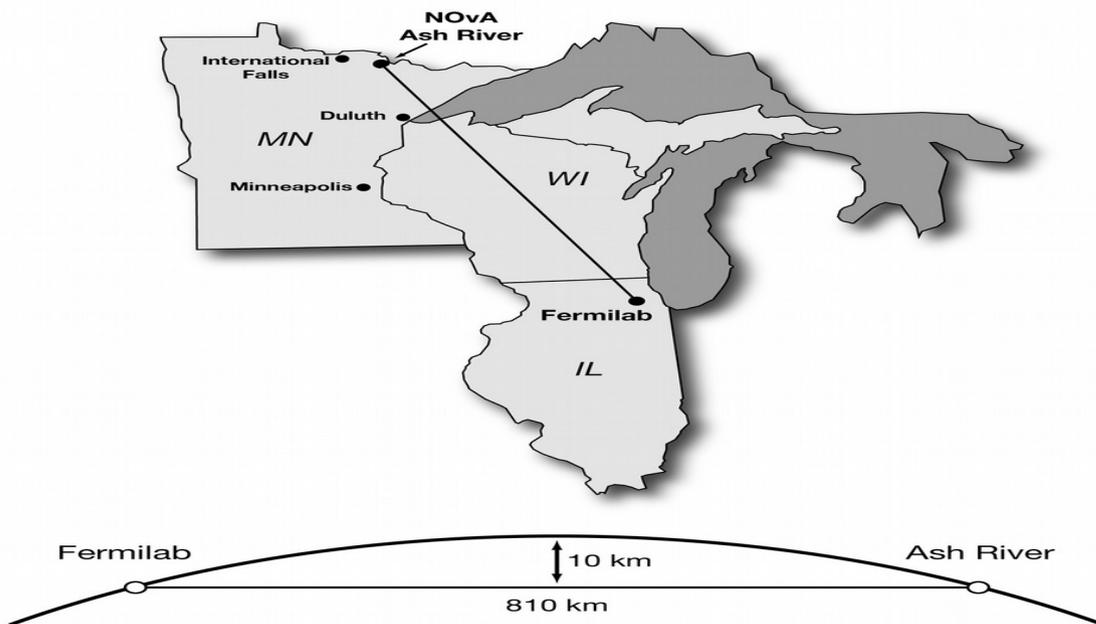
# Эксперименты по поиску $\Theta^+$

- В 2003-2007 было проведено много экспериментов по поиску пентакварка  $\Theta^+$ . В некоторых из них его нашли( например, эксперимент на VEIS). Но был ряд экспериментов, в которых пентакварк обнаружен не был и была дана лишь верхняя оценка на его сечение рождения(например, эксперимент NOMAD).



# Эксперимент NOvA

- Эксперимент NOvA направлен на изучение одних из наиболее актуальных проблем физики нейтрино - иерархия масс нейтрино и нарушение CP-фазы в лептонном секторе.
- Эксперимент NOvA - это сотрудничество 260 ученого и инженеров из 44 учреждений в 7 странах.

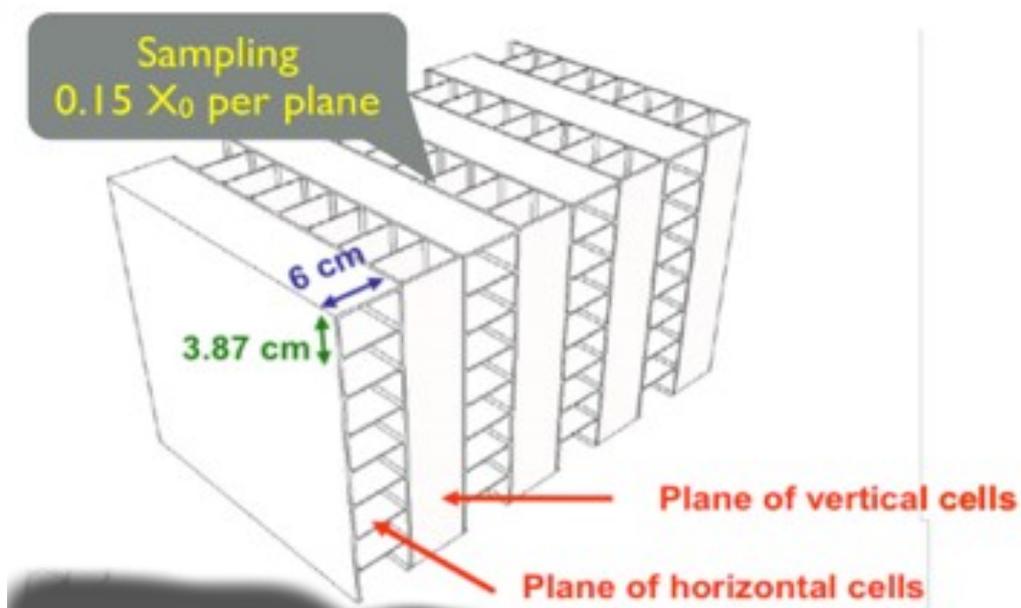


# Эксперимент NOvA: Цели эксперимента

- Изучение осцилляций  $\nu_\mu$  (и  $\bar{\nu}_\mu$ ) в  $\nu_e$  (и  $\bar{\nu}_e$ ) и измерение выживания  $\nu_\mu$  (и  $\bar{\nu}_\mu$ ) в первоначальном спектре  $\nu_\mu$  (и  $\bar{\nu}_\mu$ ).
- Определение иерархии масс нейтрино.
- Определение фазы CP-нарушения в лептонном секторе.
- Прецизионное измерение угла смешивания  $\theta_{23}$ .
- Измерение сечений взаимодействий нейтрино с нуклонами.
- Регистрация вспышек сверхновых.
- Изучение атмосферных мюонов.
- Поиски магнитных монополей и др.

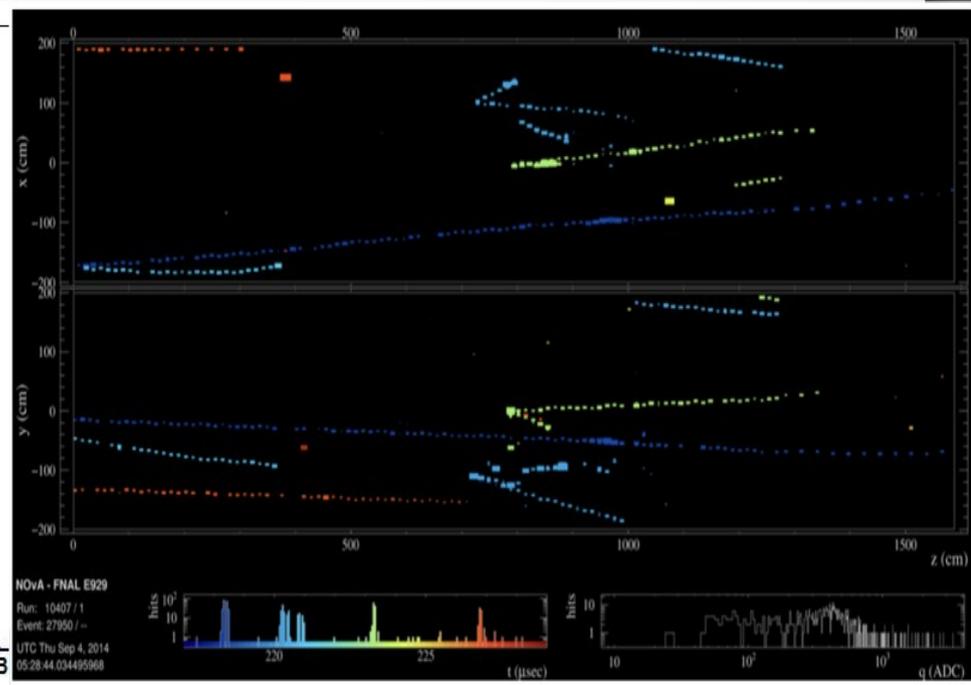
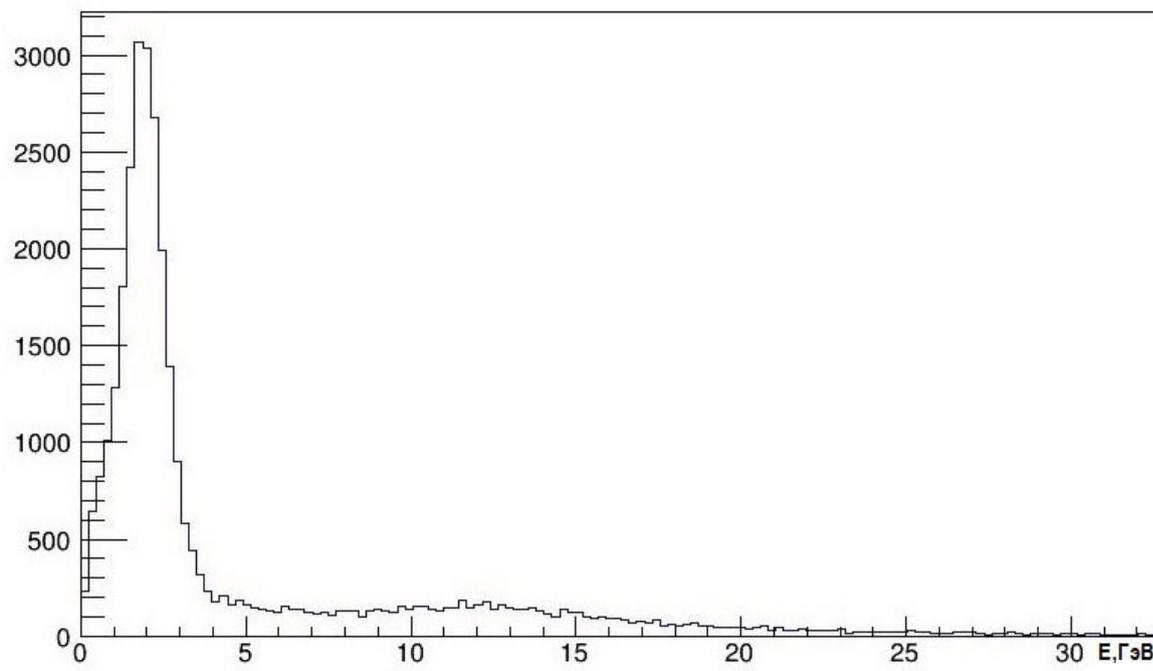
# Ближний и дальний детекторы

- Размеры детекторов: 3.9м\*3.9м\*14.3м(для ближнего детектора) и 15.6м\*15.6м\*60м(для дальнего детектора).
- Масса : 300т(дальний детектор) и 14кт(дальний детектор).
- Ближний детектор находится на глубине 105м под землей.
- Отклонение от оси пучка на 14мрад.
- Для анализа интересен только ближний детектор



# Эксперимент NOvA: нейтринные взаимодействия в ближнем детекторе

- В эксперименте используется NuMI пучок.
- Пик энергии приходится на 2 ГэВ
- У распределения по энергиям очень длинный хвост( за счет этого и становится возможным поиск пентакварка).
- Предполагается, что у нас будет 3 нейтринных события в 1 секунду.



# Проведение моделирования

- Как видно , что основная задача-регистрация пионов и протон, а также надо уметь различать в детекторе их треки.
- Следующим шагом(после идентификации) должно быть восстановление импульсов частиц в первичной вершине,а оттуда и восстановление их инвариантной массы.
- Чтоб изучить поведение нашего пентакварка в детекторе,мы решили изучить схожий резонанс-  $K^*$  . Его мода распада похожа на моду распада  $\Theta^+$  ( $K^* \rightarrow \pi^+ K_s^0$  с последующим распадом  $K_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$  .)

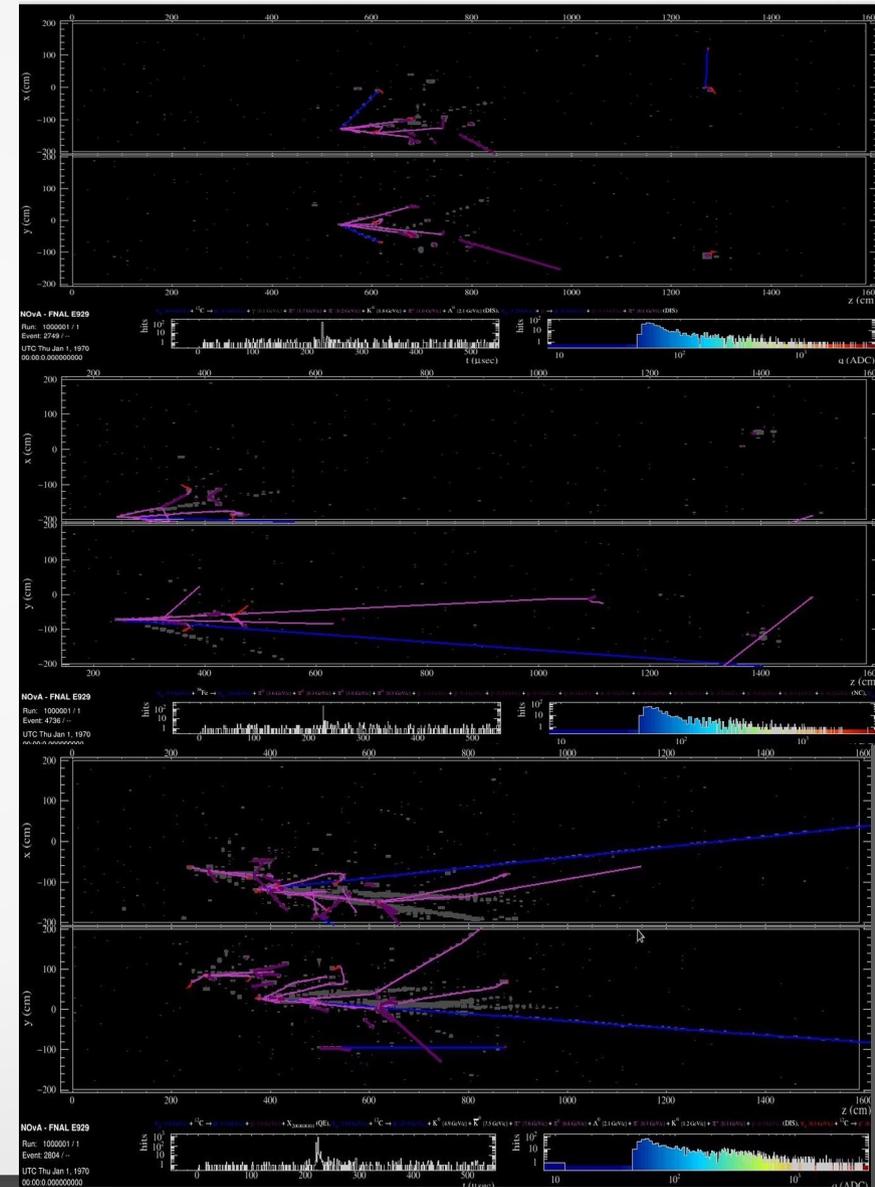
# Деление событий в зависимости от энергии нейтрино

- События с маленькой энергией нейтрино подходят плохо, так как у получаемого каона в итоге небольшая энергия и он распадается вблизи начальной вершины.
- Для слишком больших энергий получаются слишком сильные адронные ливни, которые заметно усложняют идентификацию.
- Самая лучшая идентификация получается при энергиях  $13 \text{ ГэВ} < E < 20 \text{ ГэВ}$ .

$E < 13 \text{ ГэВ}$

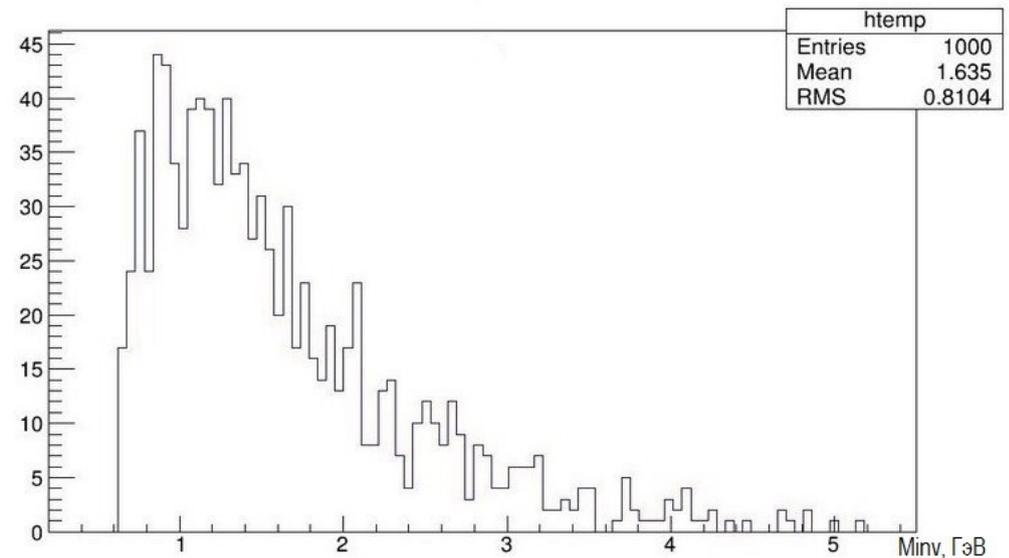
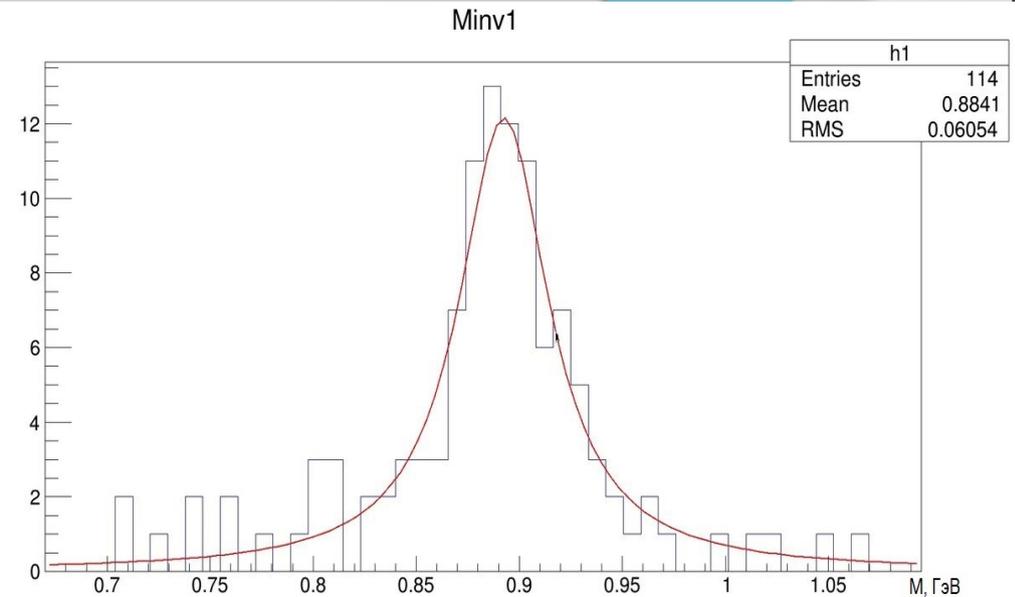
$13 \text{ ГэВ} < E < 20 \text{ ГэВ}$

$E > 20 \text{ ГэВ}$



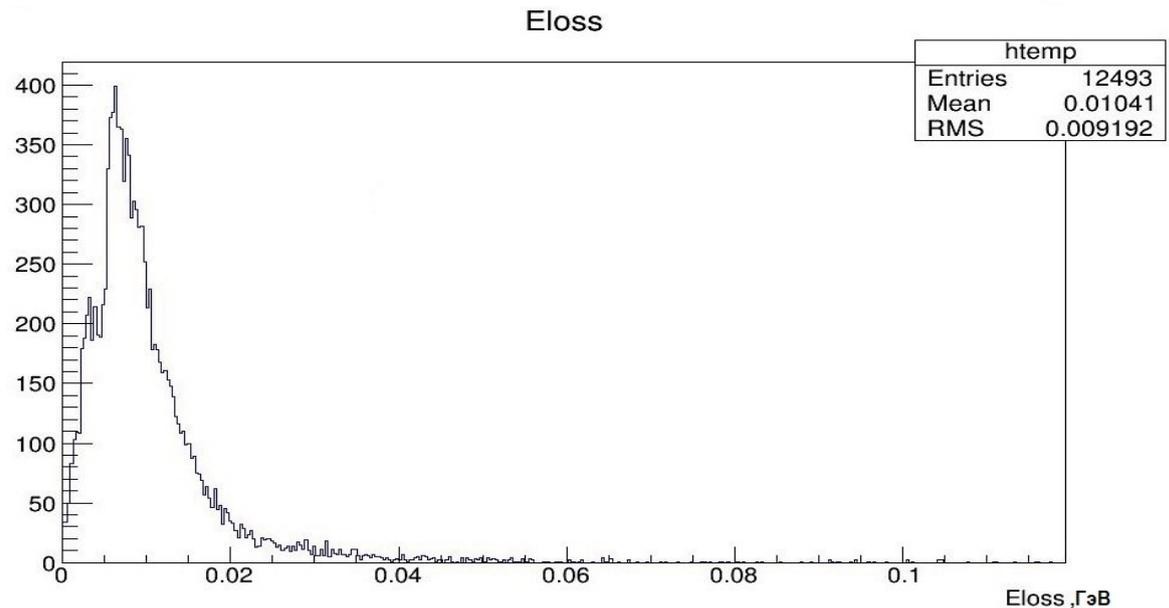
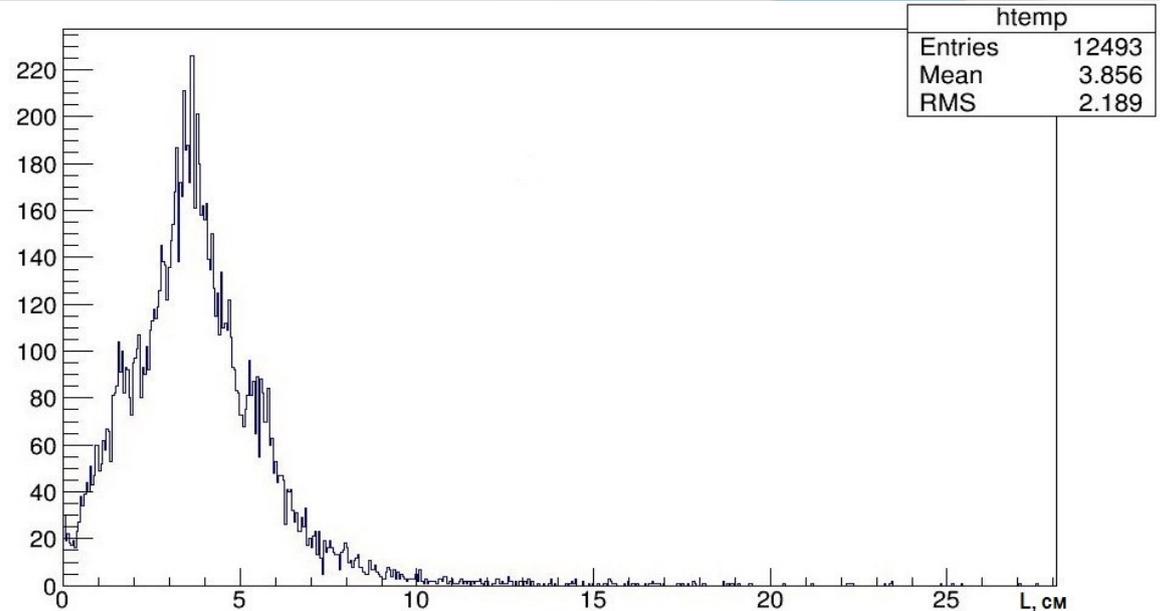
# Оценка появления частоты $K^*$ в нейтринных событиях

- Поиск нужных распадов  $K^*$  дает нам хорошую оценку для количества нужных нам событий на полную статистику. На 50000 нейтринных событий пришлось всего лишь 114 событий с распадом  $K^*$ . Следовательно, на всю статистику (порядка 10 миллионов) придется всего порядка 20-23 тыс событий с распадом  $K^*$ .
- Построение распределения инвариантной массы свободной пары  $\pi^+K_s^0$  дает нам нужную информацию о виде кривой, которой надо будет фитировать полученное распределение инвариантной массы.



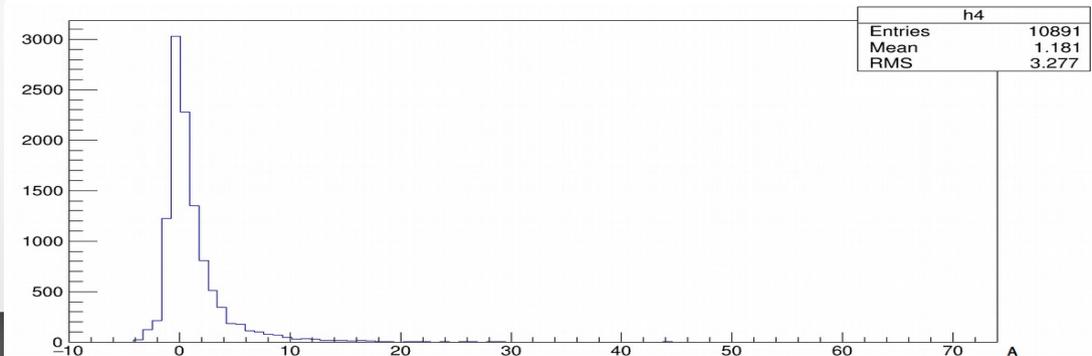
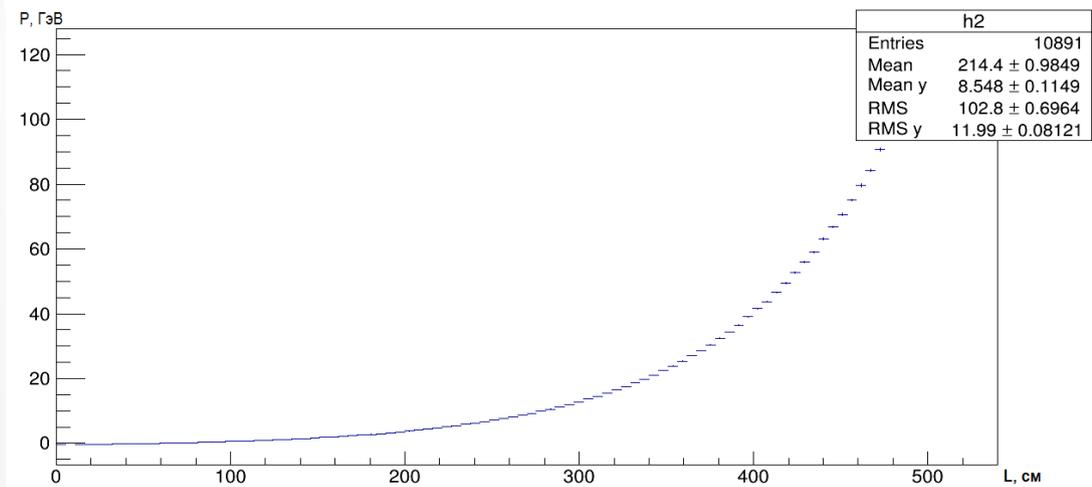
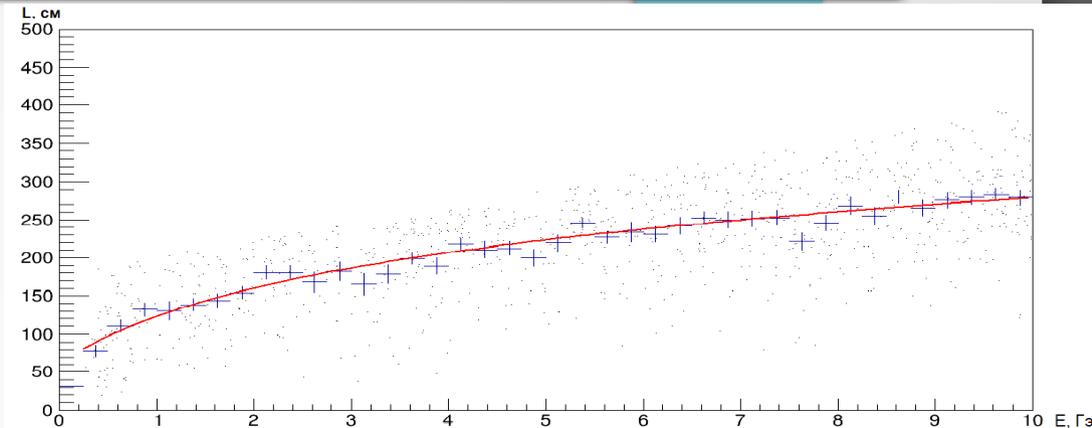
# Длина трека пиона и его потери энергии одну ячейку детектора

- После реконструкции полученной информации по данным распределениям мы сможем отличить протон от пиона в нашем детекторе.



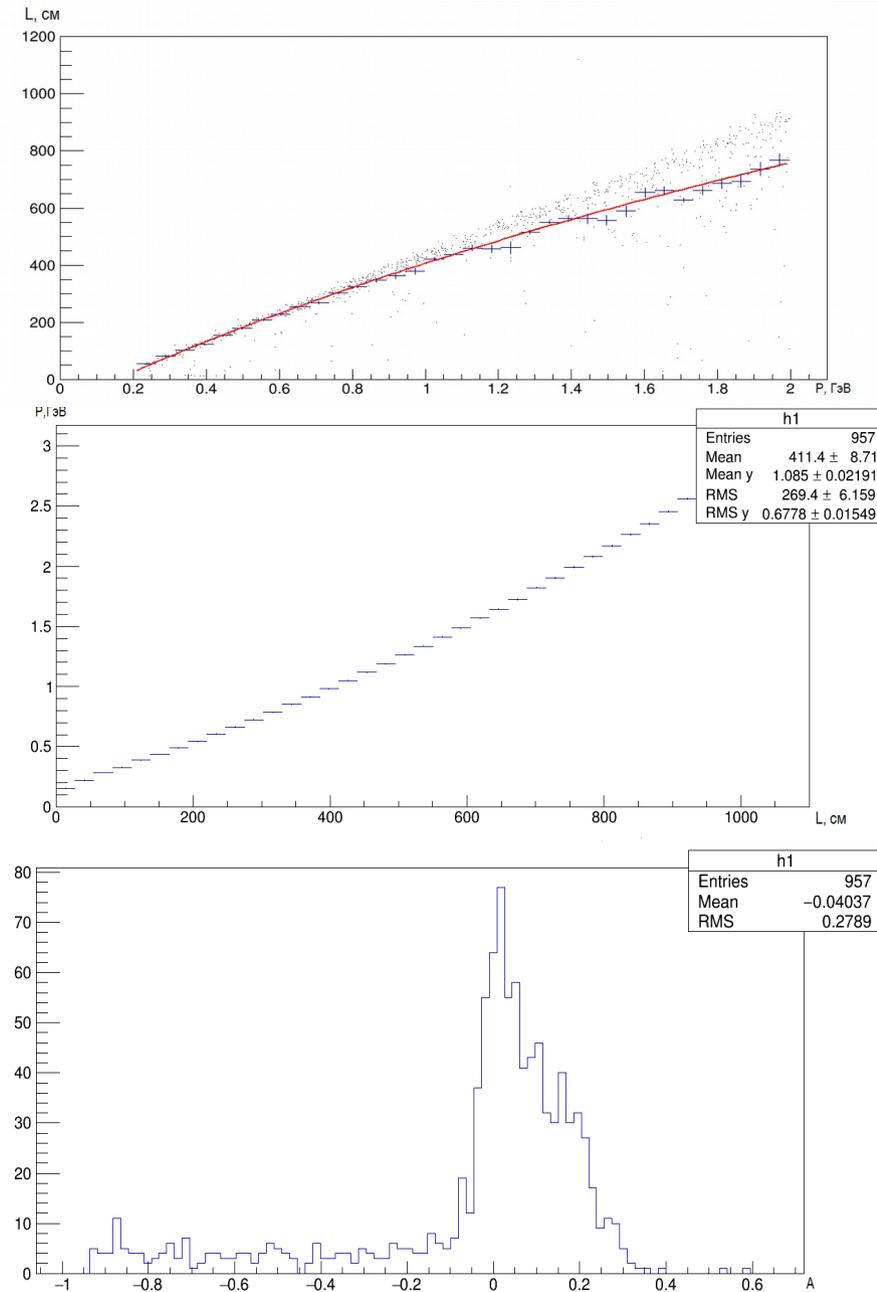
# Реконструирование длины и импульса частиц

- После реконструкции строилась зависимость реконструированной длины от симулированного импульса.
- Данные аппроксимировались натуральным логарифмом и по параметрам фита восстанавливалась кривая зависимости реконструированного импульса от реконструированной длины.
- По самому нижнему распределению можно судить насколько хорошо реконструировался импульс.



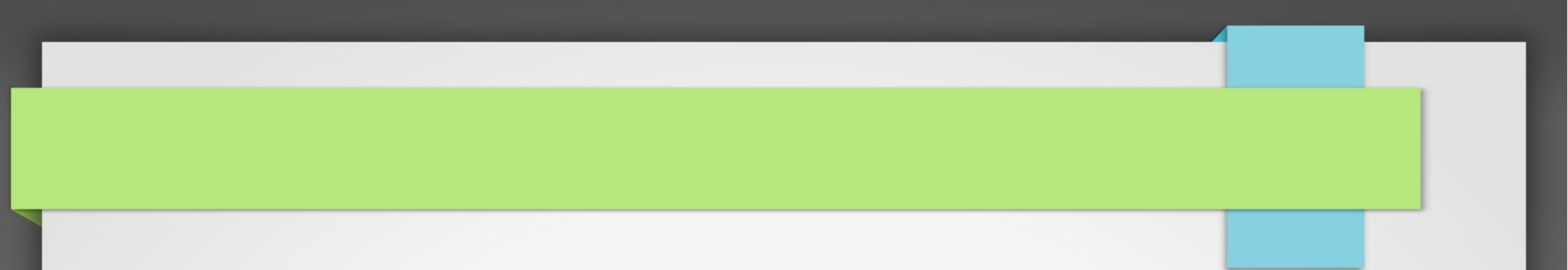
# Реконструирование длины и импульса частиц

Для того, чтоб получились правильные кривые для пиона и протона, мы проделали такую же аппроксимацию для мюонов, так как поведение мюонов в ближнем детекторе очень хорошо изучено



# Выводы и дальнейшие планы

- Было проведено моделирование событий  $\nu N$  взаимодействий и их реконструкция с помощью программных средств NovA-Art.
- В результате анализа этих событий показано, что наибольший интерес должны представлять события с начальной энергией нейтрино в диапазоне примерно 13-20 ГэВ. При меньших энергиях вторичная  $K_s^0$  плохо отделяется от первичной, при больших энергиях начинает мешать большая множественность событий.
- Для подготовки анализа  $\Theta^+$  с помощью Монте-Карло событий была оценена статистика и изучены кинематические характеристики подобный по топологии реакции с рождением  $K^*$
- В Монте-Карло событиях были изучены распределения частиц разного сорта по энергии, длине трека и другим переменным, которые предполагается в дальнейшем использовать для калибровок и идентификации частиц.
- В настоящий момент завершена подготовительная работа с событиями Монте-Карло и осуществляется переход к анализу реальных событий. По материалам работы автором подготовлен доклад на рабочей группе по физике ближнего детектора NovA.



**Спасибо за внимание!**



