



Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный
университет «МИФИ»



Поиск многокварковых состояний в $d+Au$ столкновениях в эксперименте STAR

Научный руководитель:

Г.А.Нигматкулов

Работу выполнила студентка гр. М19-115:

Т.П. Смирнова

Москва – 2021 г

Содержание

1. О θ^+ и экспериментах по его поиску
2. Идентификация протонов
3. Выделение K_S^0 :
 - Освоение алгоритма восстановления вторичной вершины
 - Построение спектра инвариантных масс $\pi^-\pi^+$
 - Применение топологических ограничений для выделения K_S^0

О θ^+ и экспериментах по его поиску

Таблица.1. Эксперименты с положительным результатом поиска пентакварка Θ^+

Параметры θ^+ :
Предсказанный диапазон массы θ^+ :
$$1430 \frac{\text{МэВ}}{c^2} < M_{\theta^+} < 1660 \frac{\text{МэВ}}{c^2}$$

Моды распада:
$$\theta^+ \rightarrow nK^+$$
$$\theta^+ \rightarrow pK_S^0$$

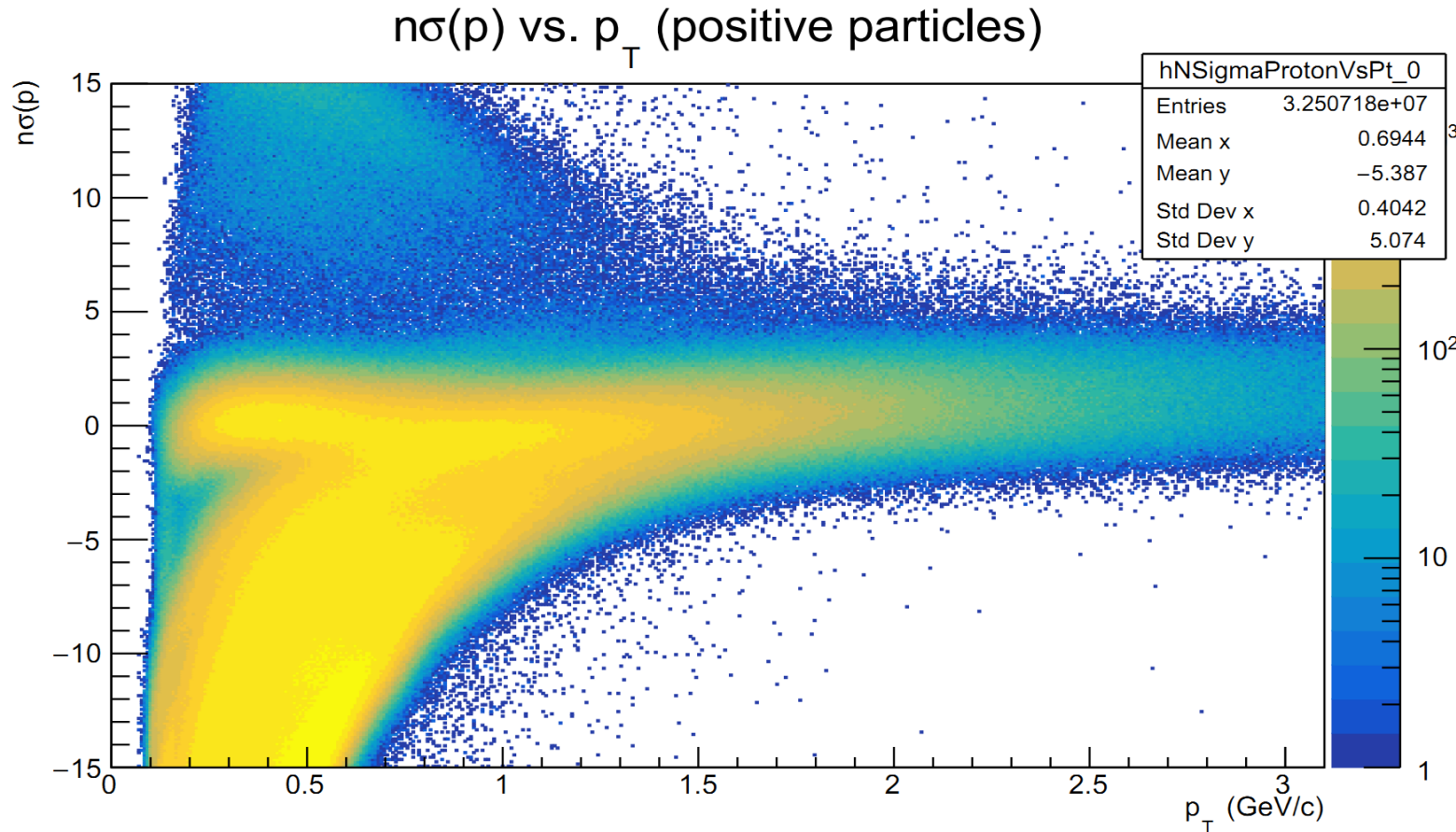
Ширина:
$$\Gamma_{\theta^+} < 1 \text{ МэВ}$$

Актуальность работы:
КХД предсказывает существование экзотических состояний. Пентакварки являются экзотическими состояниями. Поэтому рассматриваем пентакварк θ^+

Источник: О.Б. Самойлов «Сечение рождения очарованного кварка и оценка существования пентакварка Θ^+ в нейтринных взаимодействиях в эксперименте NOMAD» (2011) 204

Эксперимент	Реакция	Масса, МэВ	Ширина, МэВ	Уровень достов.
LEPS [106, 110]	$\gamma n \rightarrow (nK^+)K^-$	$1540 \pm 10(\pm 5)$	< 25	$4,6 \sigma$
DIANA [111]	$K^+Xe \rightarrow (pK_S^0)X$	$1539 \pm 2(\pm 3)$	< 9	$4,4 \sigma$
CLAS [112, 113]	$\gamma d \rightarrow (nK^+)pK^-$	$1542 \pm 5(\pm 2)$	< 21	$5,2 \sigma$
CLAS [114]	$\gamma p \rightarrow (nK^+)\pi^+K^-$	1540 ± 10	< 32	$4,8 \sigma$
CLAS [115]	$\gamma p \rightarrow (nK^+)\pi^+K^-$	$1555 \pm 10(\pm 1)$	< 26	$7,8 \sigma$
SAPHIR [116]	$\gamma p \rightarrow (nK^+)K_S^0$	$1540 \pm 4 \pm 2$	< 25	$4,8 \sigma$
ИТЭФ* [117]	$\nu N \rightarrow (pK_S^0)X$	1533 ± 5	< 20	$3,7 - 6,7 \sigma$
HERMES [118]	$\gamma d \rightarrow (pK_S^0)X$	$1528 \pm 2,6 \pm 2,1$	$17 \pm 9 \pm 3$	$4 - 6 \sigma$
SVD [119]	$pA \rightarrow (pK_S^0)X$	$1526 \pm 3 \pm 3$	< 24	$5,6 \sigma$
COSY-TOF [120]	$pp \rightarrow (pK_S^0)\Sigma^+$	1530 ± 5	18 ± 4	$3,7 - 5,9 \sigma$
ZEUS [121, 122]	$ep \rightarrow e'(pK_S^0)X$	$1521,5 \pm 1,5^{+2,8}_{-1,7}$	8 ± 4	$4,6 \sigma$
ЛВЭ ОИЯИ [123]	$np \rightarrow (nK^+)pK^-$	1541 ± 4	8 ± 4	$5,2 - 6,8 \sigma$
NOMAD [124]**	$\nu N \rightarrow \ell'(pK_S^0)X$	$1528,7 \pm 2,5$	$2 - 3$	$4,3 \sigma$
SVD2 [125]	$pA \rightarrow (pK_S^0)X$	$1523 \pm 2 \pm 3$	< 14	$8,0 \sigma$
KEK-E522 [126]	$\pi^-p \rightarrow K^-(\Theta^+)$	$1530,6^{+2,2+2,9}_{-1,9-1,3}$	$9,8^{+7,1}_{-3,4}$	$2,5 - 2,7 \sigma$
				$\sigma_{\Theta} < 3900 \text{ нб}$
ИТЭФ* [127]	$\nu N \rightarrow (pK_S^0)X$	1537 ± 2	$0,36 \pm 0,11$	$4,3 - 7,3 \sigma$
LEPS [128]	$\gamma d \rightarrow \Lambda(1520)(\Theta^+)$	1530		$4 - 5 \sigma$

Идентификация протонов

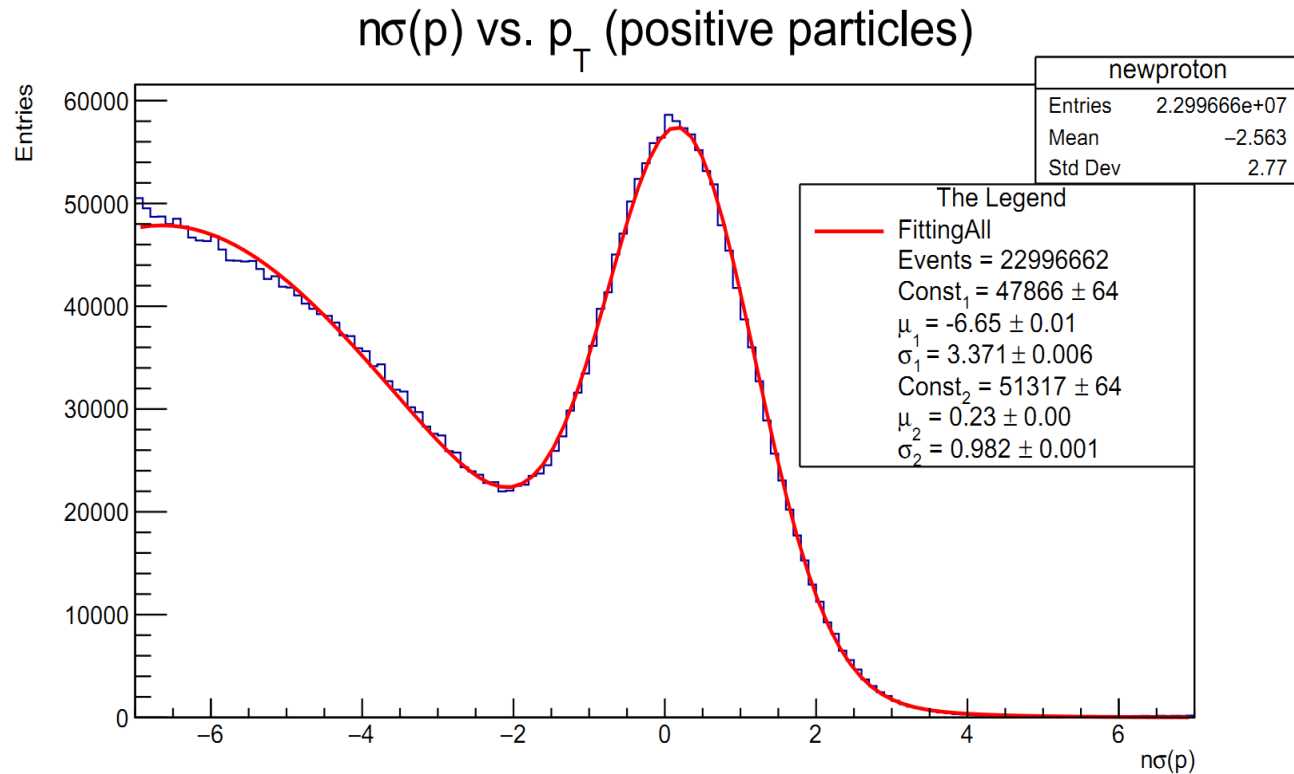


Ограничение по поперечному импульсу протонов:

$$0.1 \leq p_T \leq 0.7 \frac{\text{ГэВ}}{c^2}$$

Распределения количества стандартных отклонений от расчётного значения ионизационных потерь по значениям поперечного первичного импульса протонов

Идентификация протонов



Проекция распределения $n\sigma(p)$ vs p_T на ось ординат ($n\sigma(p)$)
в пределах $0.1 \leq p_T \leq 0.7 \frac{\Gamma_{\text{ЭВ}}}{c^2}$

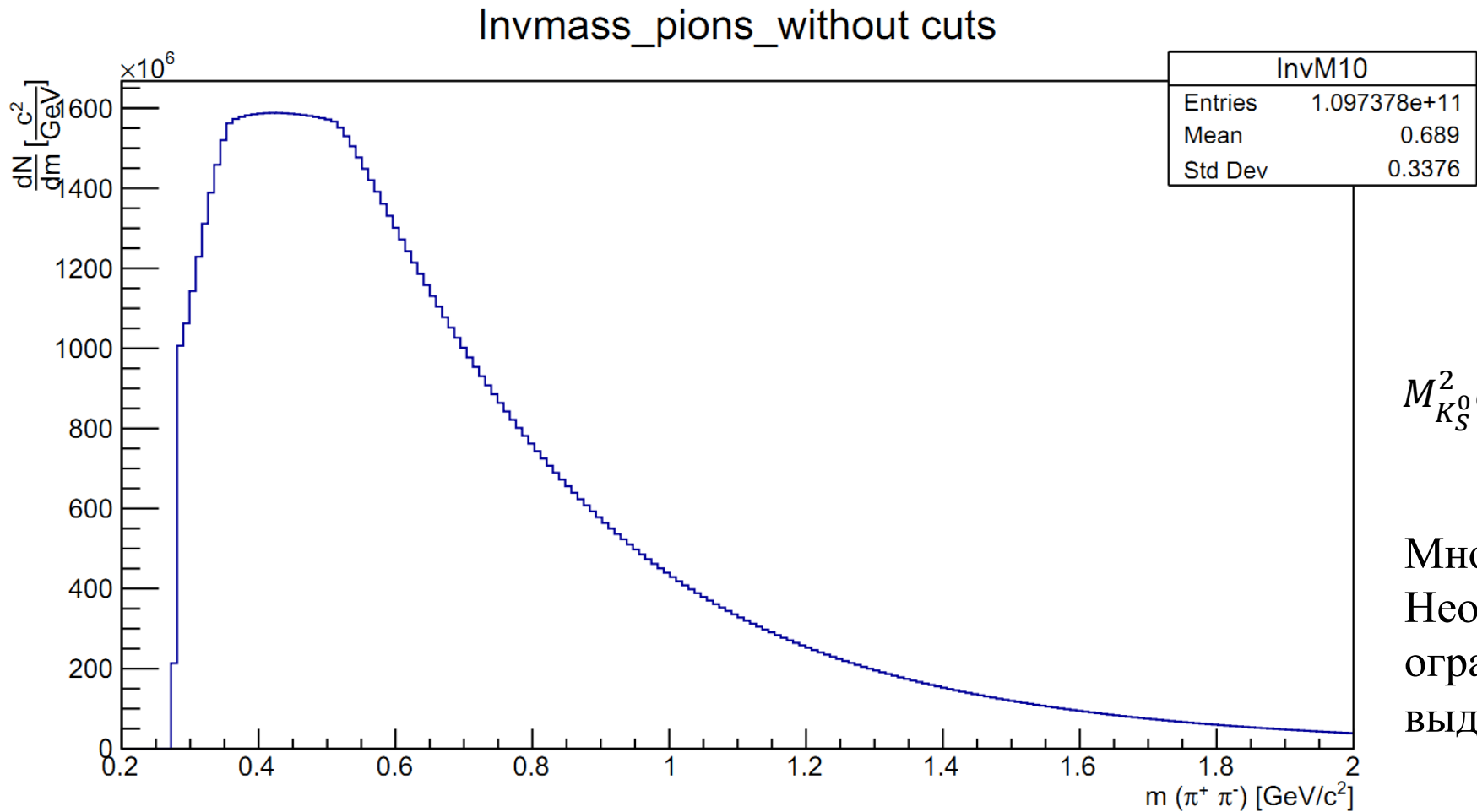
Функция для описания
распределения $n\sigma(K)$ vs p_T :

$$f(x) = C_1 \times e^{-0.5 \times \left(\frac{x - \mu_1}{\sigma_1}\right)^2} + C_2 \times e^{-0.5 \times \left(\frac{x - \mu_2}{\sigma_2}\right)^2}$$

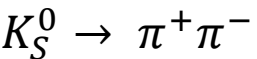
Полученные ограничения
на $n\sigma(p)$:

$$-2 < n\sigma(p) < 5$$

Инвариантная масса $\pi^+\pi^-$



Мода распада:



Инвариантная масса K_S^0

$$M_{K_S^0}^2 c^2 = (E_{\pi^-} + E_{\pi^+})^2 - (p_{\pi^-} + p_{\pi^+})^2 c^2$$

Много фоновых событий.
Необходимы топологические
ограничения для более точного
выделение K_S^0

Спектр инвариантной массы $\pi^+\pi^-$ без
использования топологических ограничений

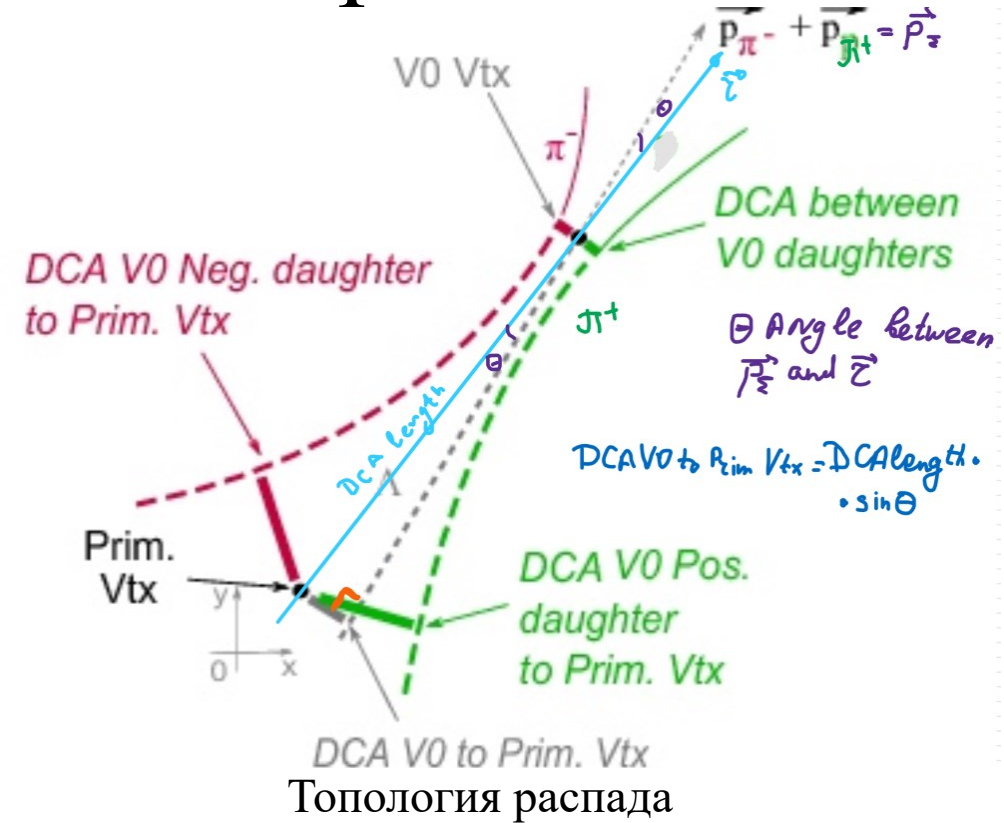
Алгоритм восстановления вторичной вершины

Необходимы пункты:

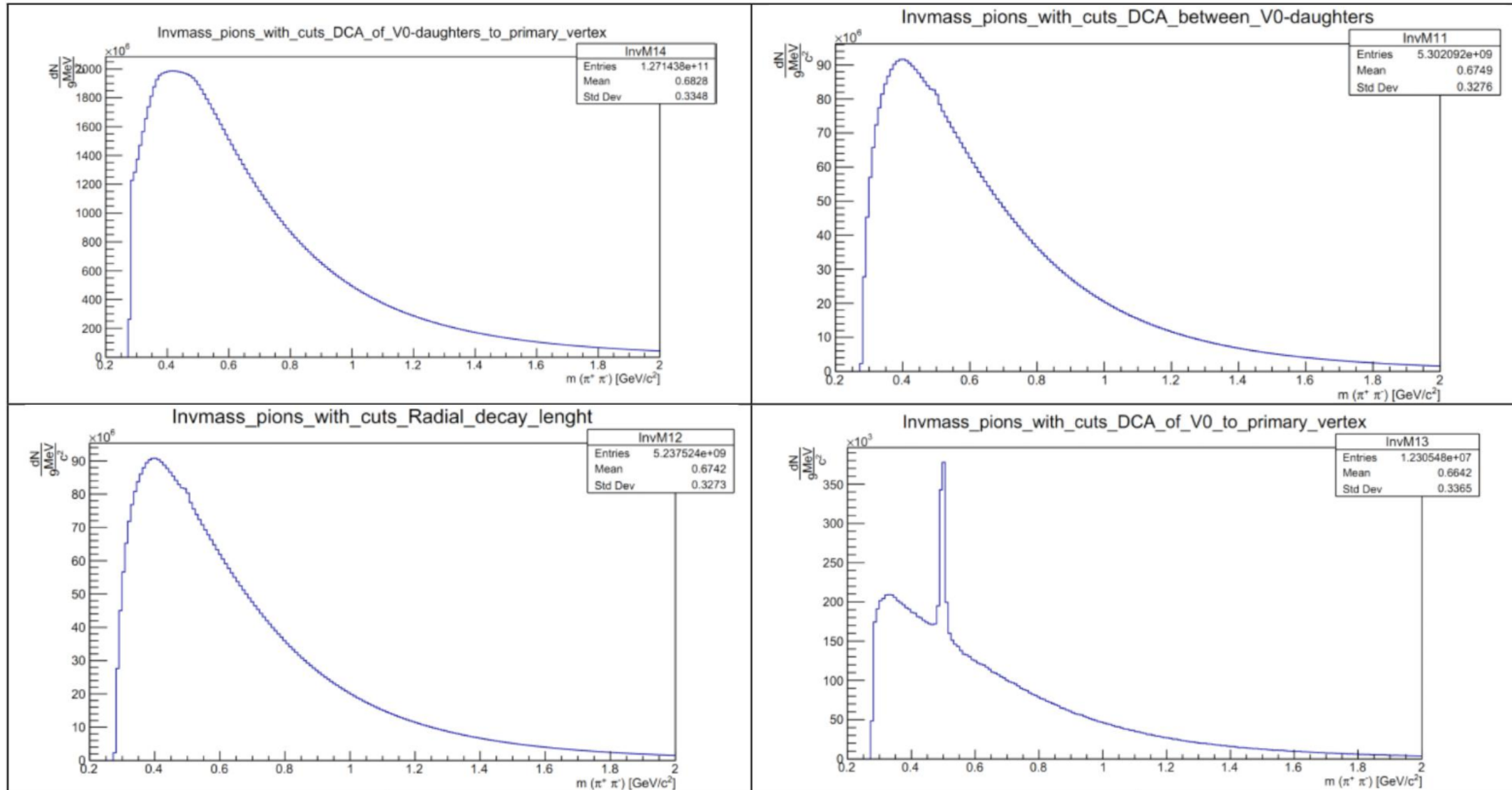
1. Поиск минимального расстояния между дочерними треками
2. Вычисление координат точек, которые лежат на треке дочерней частицы при минимальном расстоянии между дочерними треками
3. Вычисление координат вторичной вершины с помощью полученных в предыдущем пункте координат

Таблица 2. Топологические ограничения для реконструкции вторичной вершины распада:

Расстояние наибольшего сближения между первичной и вторичной вершиной	Расстояние наибольшего сближения между дочерним треком вторичной вершиной и первичной вершиной	Расстояние наибольшего сближения между дочерними треками вторичной вершины	Радиальная длина распада	Угол вылета частицы из вторичной вершины
<0.8 см	> 0.7 см	<0.8 см	> 2.5 см	$(\vec{r}_{V0} - \vec{r}_{pV}) * \vec{p}_{V0} > 0$

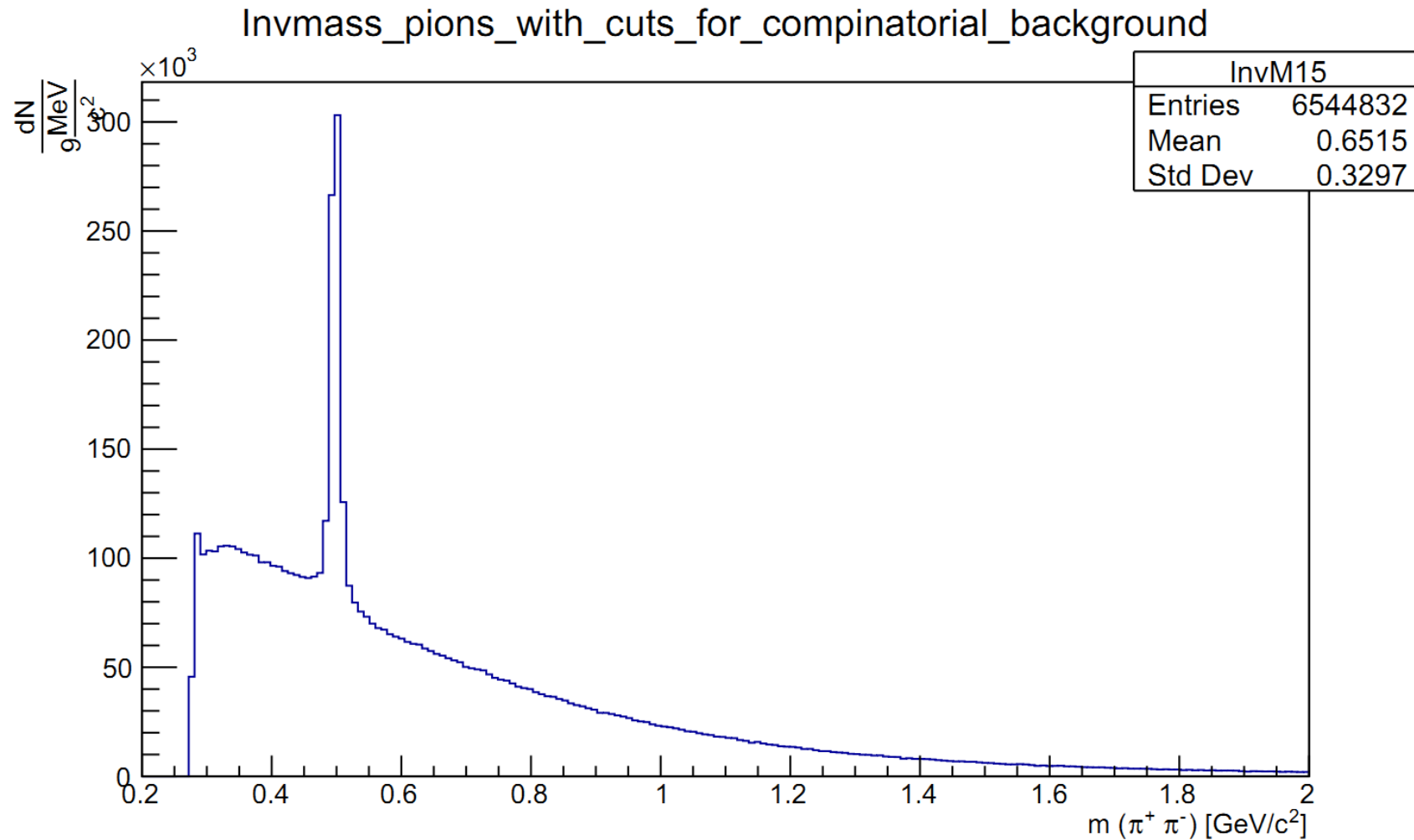


Инвариантная масса $\pi^+\pi^-$



Спектр инвариантной массы $\pi^+\pi^-$ после применения первых 4 топологических ограничений

Инвариантная масса $\pi^+\pi^-$



Спектр инвариантной массы $\pi^+\pi^-$ после применения всех 5 топологических ограничений

Восстановление K_S^0 распада

Функции для описания фона и сигнала:

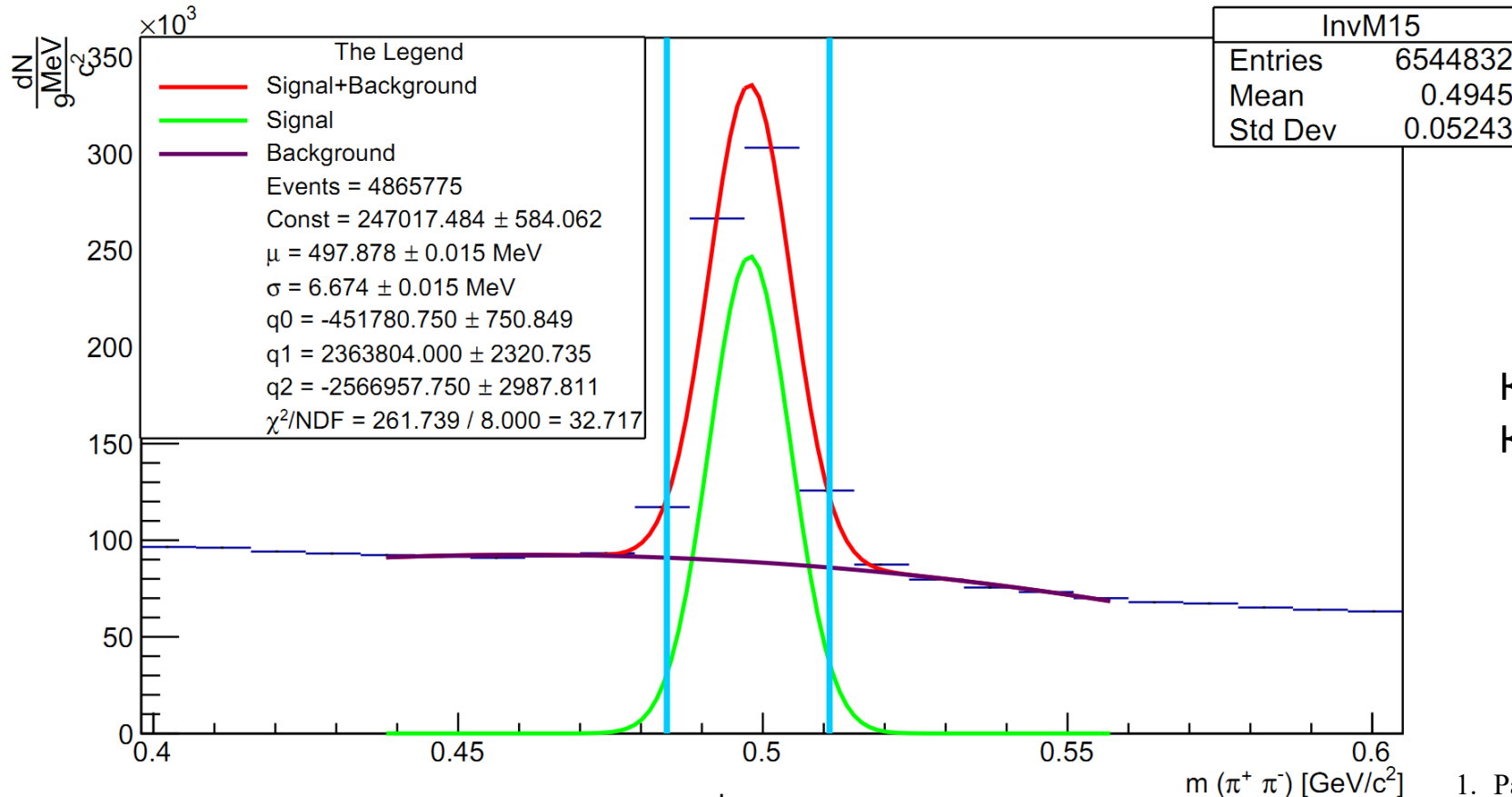
Функция для фона+сигнала $f_{B+S} =$

$$C \times e^{-0.5 \times \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} + q_0 \times x^2 + q_1 \times x + q_2$$

Функция для фона $f_B = q_0 \times x^2 + q_1 \times x + q_2$

Функция для сигнала $f_S = C \times e^{-0.5 \times \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$

Invmass_pions_with_cuts_for_compinatorial_background



Табличное¹ значение массы K_S^0

$$m_{K_S^0} = 497.611 \pm 0.013 \frac{\text{МэВ}}{c^2}$$

Полученное значение:

$$m_{K_S^0} = 497.878 \pm 6.674 \frac{\text{МэВ}}{c^2}$$

Кол-во событий в сигнале: S=3943

Кол-во событий в фоне: B=2368

Оценка насколько сигнал
превышает фон

$$\frac{S}{\sqrt{S+B}} \approx 50$$

Спектр инвариантной массы $\pi^+\pi^-$ после применения
топологических ограничений

1. Particle Physics Booklet. Extracted from the Review of Particle Physics P.A. Zyla et al. (Particle Data Group), Prog. Theor. Exp. Phys. 2020. 083C01 (2020)

Заключение

1. Выполнена обработка данных d+Au столкновений при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ
2. Выполнен отбор и идентификация протонов
3. Выполнена реконструкция K_S^0 -мезонов по распада на $\pi^+ \pi^-$

Спасибо за внимание!