

Магистерская дипломная работа на тему:

Моделирование рождения странных частиц в
нейтрино-нуклонных взаимодействиях при
помощи нейтринного генератора GENIE в
эксперименте Nova

Докладчик: Аллахвердян В. А.

Науч. Руководитель: Самойлов О. Б.

Ольшевский А. Г.

Дубна 2019

Задачи

- Провести моделирование нейтринных взаимодействий по каналу глубоко-неупругого рассеяния (ГНР) с рождением странных адронов при помощи генератора GENIE в ближнем детекторе эксперимента NOvA.
- Получить относительные выходы странных адронов как функции кинематических переменных рассматриваемого процесса.
- Сравнить исследуемые распределения с данными эксперимента NOMAD.

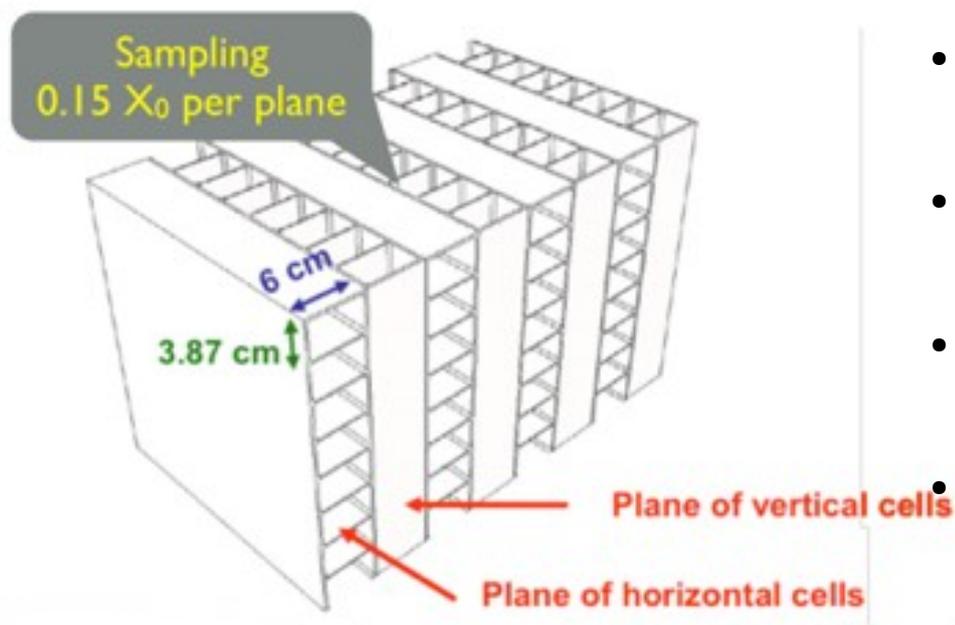
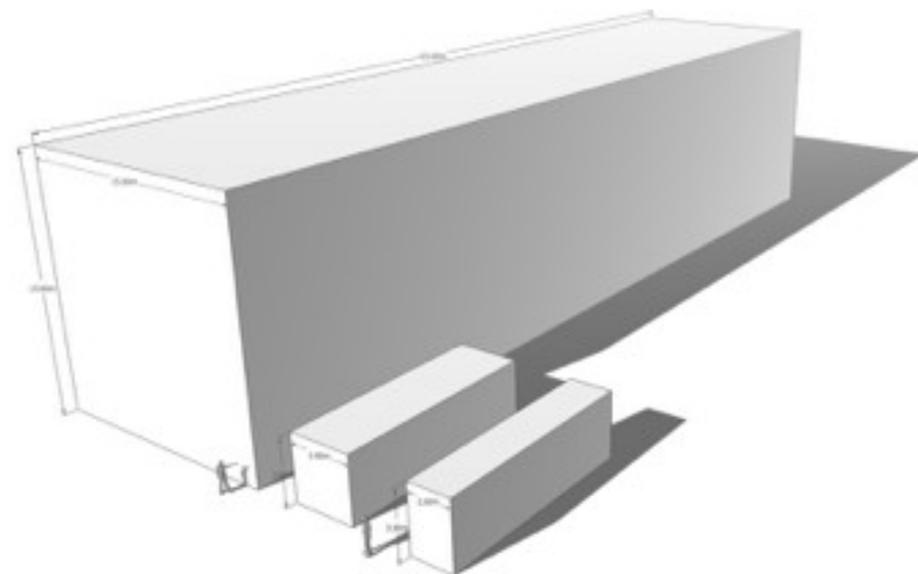
Эксперимент NOvA

- NOvA – это нейтринный эксперимент, направленный на изучение нейтринных осцилляций на пучке мюонных (анти)нейтрино от ускорительного комплекса NuMI в Лаборатории Ферми (США).
- Расположение двух детекторов вне оси пучка на 14 мрад позволяет регистрировать узкий нейтринный спектр со средней энергией нейтрино около 2 ГэВ.
- Ближний детектор регистрирует первоначальный неосцилляционный спектр, Дальний детектор на расстоянии 810 км. расположен в первом осцилляционном максимуме по величине L/E .
- Через канал появления электронных нейтрино и антинейтрино NOvA чувствительна к измерению иерархии масс нейтрино и фазы нарушения CP-четности.
- Через канал выживания мюонных (анти)нейтрино NOvA измеряет параметры δm_{32}^2 и θ_{23} .
- Большая интенсивность нейтринного пучка позволяет также проводить измерения сечений нейтринных взаимодействий в Ближнем детекторе NovA.
- В данный момент в коллаборацию NOvA входят 240 ученых из 49 институтов (7 стран)



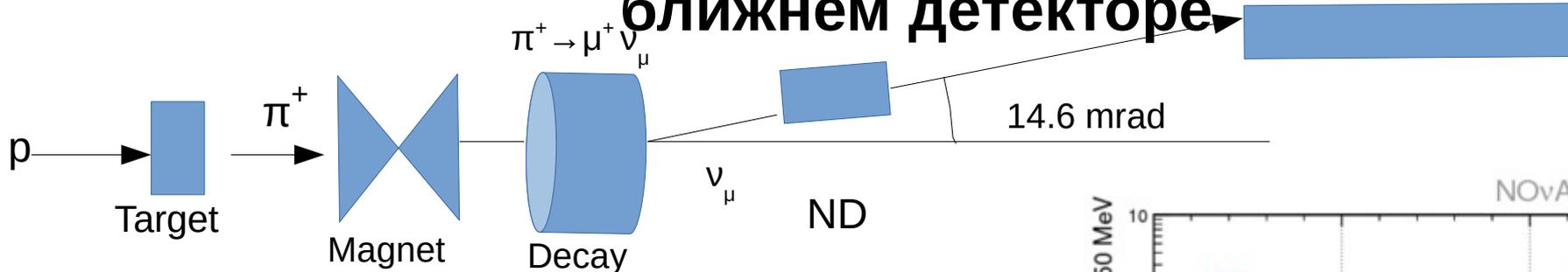
Детекторы NOvA

- В NOvA есть два идентичных детектора: высокоструктурированные, low-Z, высокоактивные калориметры(65%).
- Дальний детектор: 14-кт, 15.6 x 15.6 x 60 м³, 896 плоскостей, 344'064 каналы (Ash River, MN).
- Ближний детектор: 300 т, 4.2 x 4.2 x 14.0 м³, 214 плоскостей, 20'192 каналов (FNAL, IL).

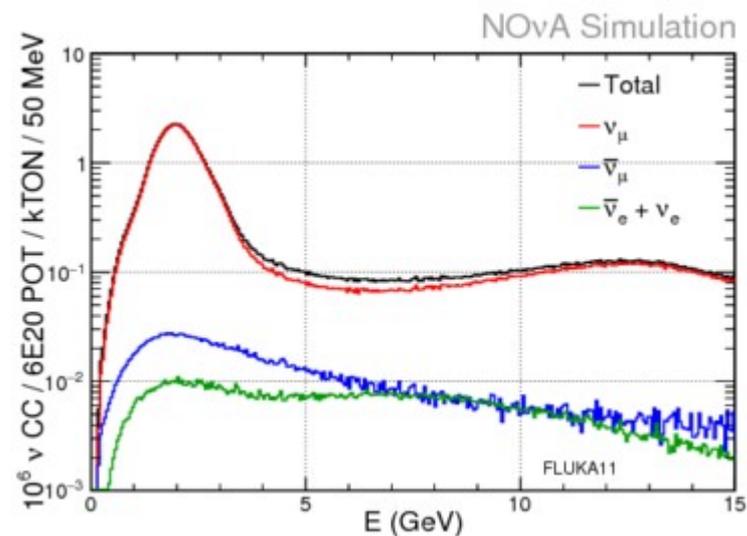


- Оба детектора содержат ПВХ ячейки вместе с сцинтиллятором.
- Каждая ячейка содержит волокно, сдвигающее длину волны.
- Модуль (32 ячейки) считывается одним лавинным фотодиодом (APD).
- Отличная эффективность для восстановления электронов и нейтральных пионов и мюонов.

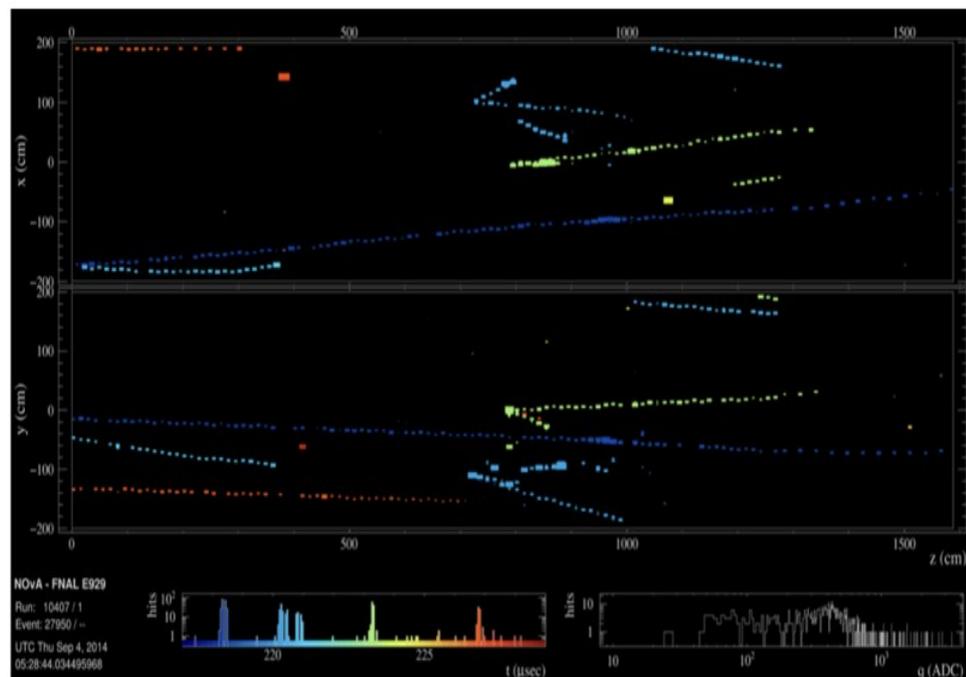
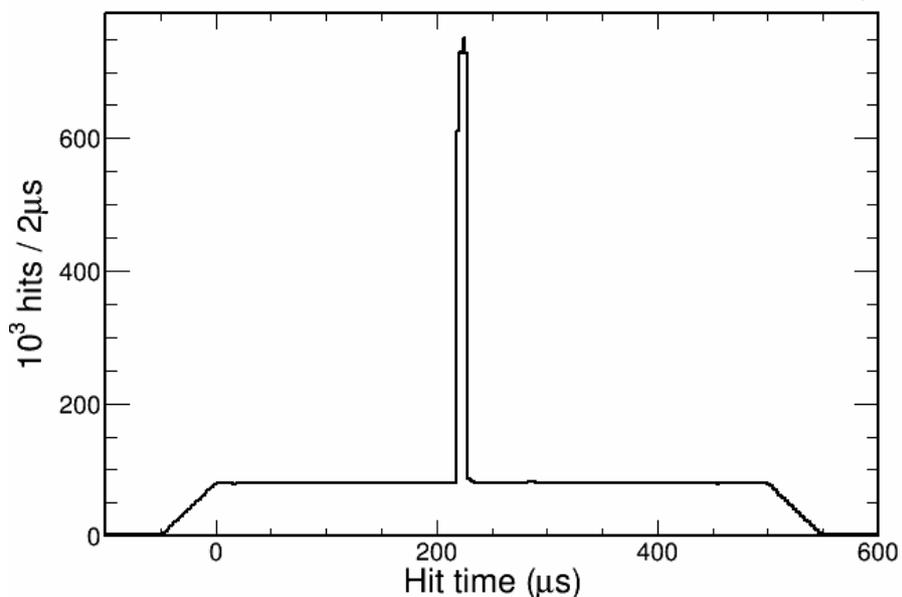
Эксперимент NOvA: нейтринные взаимодействия в ближнем детекторе



- Ускорительный нейтринный комплекс NuMI использует стандартную схему рождения мюонных нейтрино.
- Благодаря измерению потока нейтрино вне оси пучка мы получаем достаточно узкий спектр около 2 ГэВ. Однако “хвост” спектра захватывает энергии до 30 ГэВ.
- Нейтринный пучок производится во временном окне 10 мкс каждые 1.3 секунды.

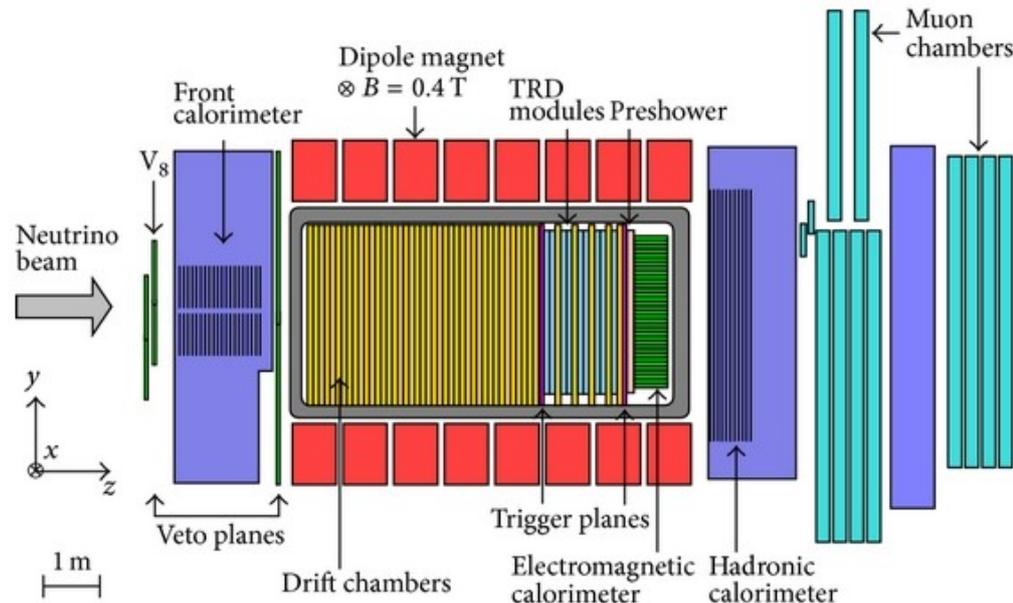


NOvA ND Data Preliminary



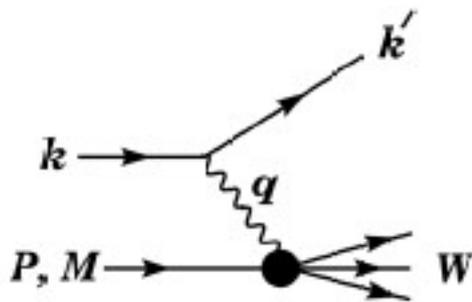
Эксперимент NOMAD

- NOMAD — это эксперимент по поиску осцилляций мюонного нейтрино в таонное.
- (Основные осцилляционные результаты по анализу опубликованы в 2001 году, но в течение многих лет полученные данные использовались для изучения взаимодействия нейтрино с нуклоном).
- Пик нейтринного пучка этого эксперимента приходится на 23 ГэВ.
- Интерес данной работы к эксперименту NOMAD связан с наличием опубликованных данных по выходам нейтральных странных частиц: каонов и лямбда-гиперонов. Детектор NOMAD являлся одним из первых детекторов с электронным съемом и записью информации.



Глубоконеупругое рассеяние

Когда говорят о глубоконеупругом рассеянии (ГНР), обычно подразумевают неупругое рассеяние лептона (в данном случае мюонного нейтрино) на одном из составляющих нуклона (в данном случае кварк). Диаграмма этого процесса в однобозонном приближении показана ниже.



$$Q^2 = -q^2 = 2(E E' - \mathbf{k} \mathbf{k}') - m_l^2 - m_l^2 \geq 0,$$

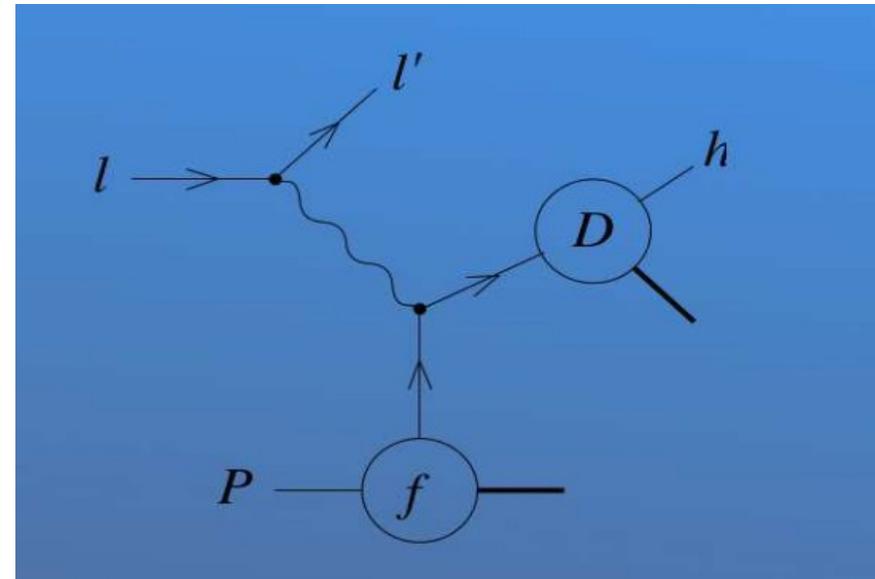
$$W^2 = (\mathcal{P} + q)^2 = M^2 + 2M\nu - Q^2.$$

$$x = \frac{Q^2}{2M\nu}$$

$$y = \frac{q \cdot \mathcal{P}}{k \cdot \mathcal{P}} = \frac{\nu}{E}.$$

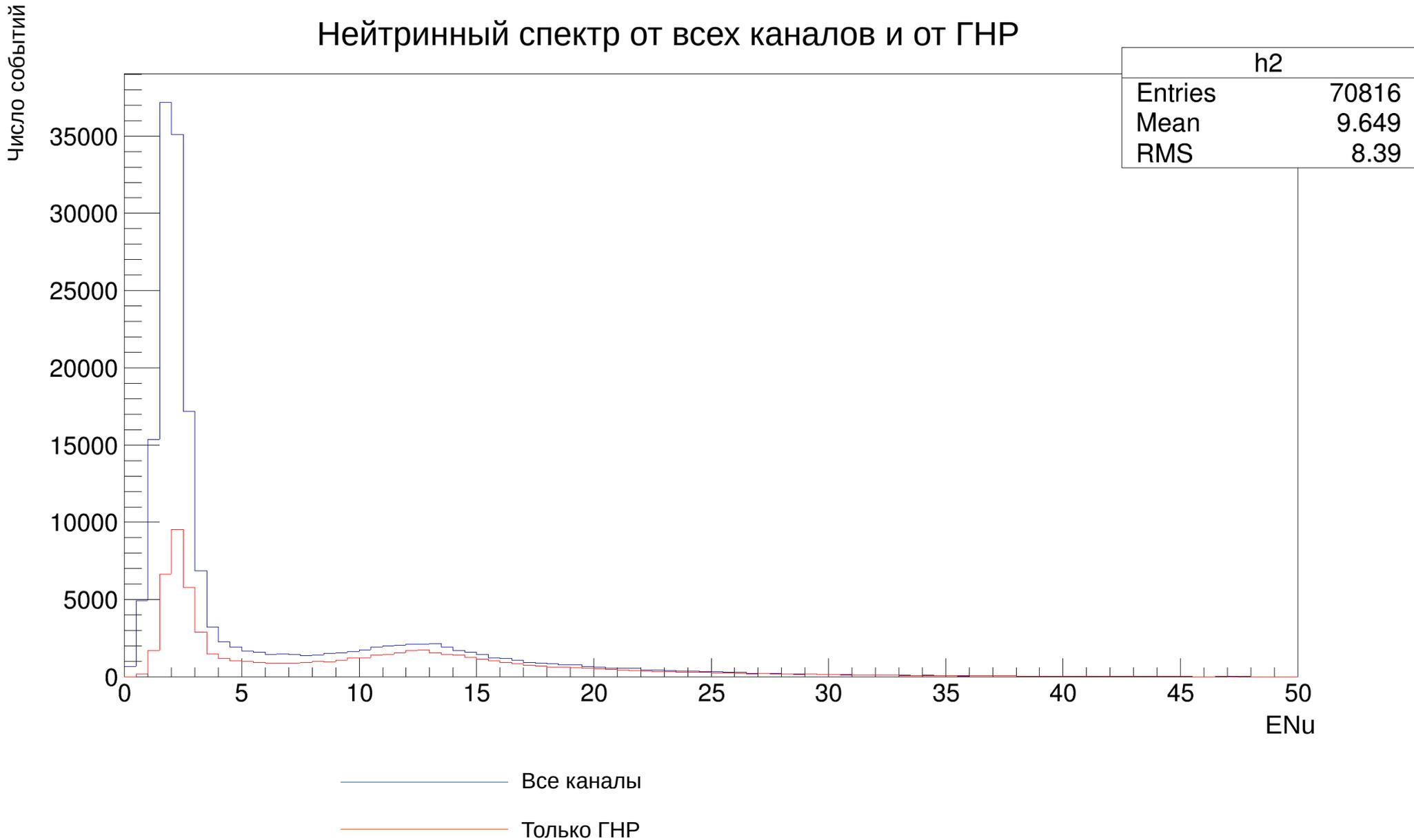
Глубоконеупругое рассеяние

- После рассеяния лептона на кварке по каналу заряженного или нейтрального тока происходит процесс адронизации: так как кварк не может существовать в свободном состоянии (конфайнмент), то он начинает испускать адронную струю. Адроны в струе летят в узком угловом конусе вместе (направление задается импульсом кварка, который породил адронную струю).
- Процесс рождения адронов в струе можно описать с помощью функций фрагментации $D_q^h(z)$, которые дают вероятность того, что кварк q фрагментирует в адрон h со значением z (доля энергии кварка, уходящая на энергию адрона).
- Таким образом сечения процессов ГНР можно выразить через адронные функции фрагментации, а их самих измерять в эксперименте



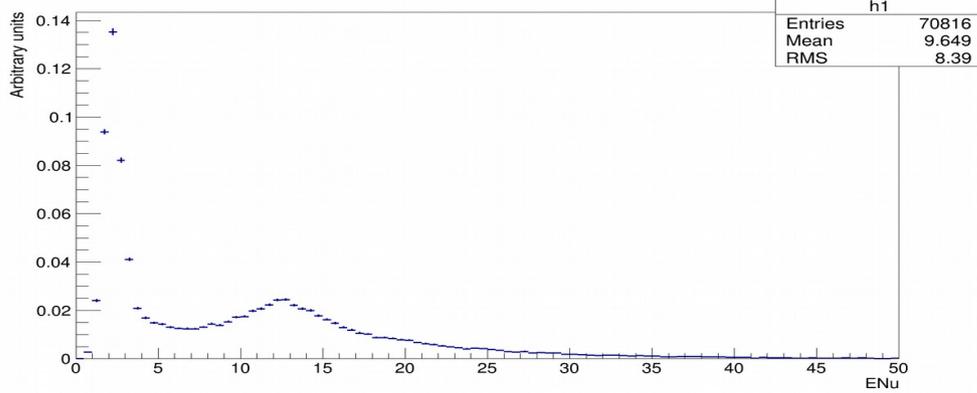
Основные распределения ГНР в NOvA

Нейтринный спектр от всех каналов и от ГНР

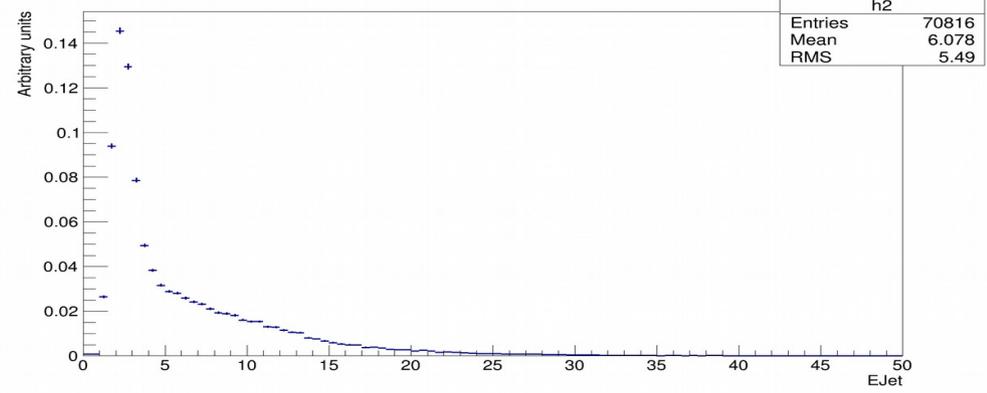


Остальные распределения ГНР(нормированные на число нейтринных событий)

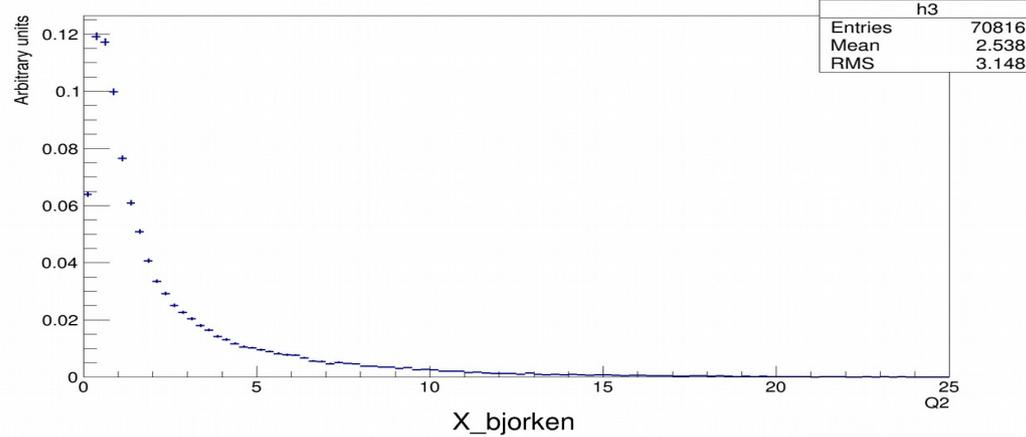
Energy neutrino



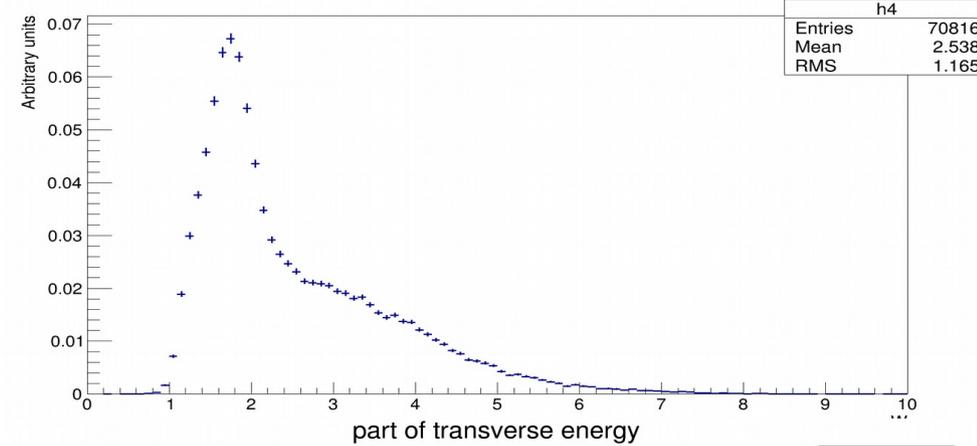
Jet Energy



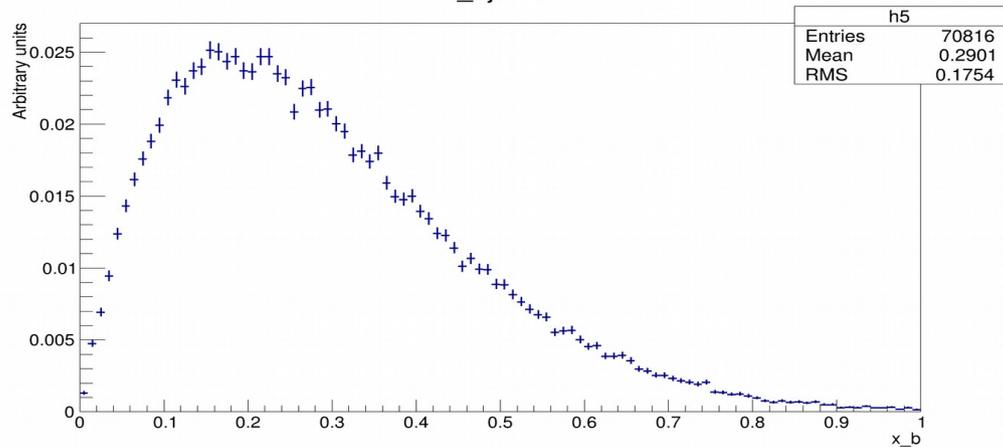
Square of transverse 4-momentum



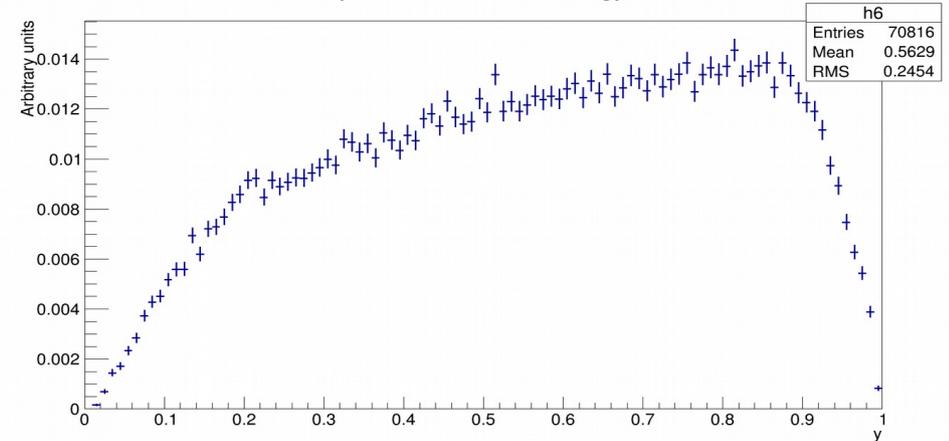
W



X_bjorken

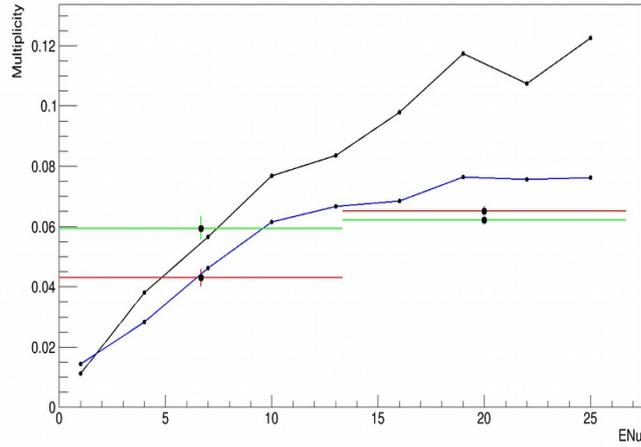


part of transverse energy

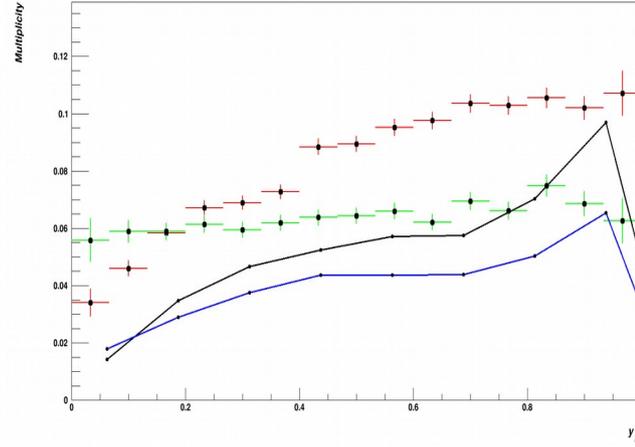


Сравнение относительных выходов каонов в зависимости от переменных ГНР

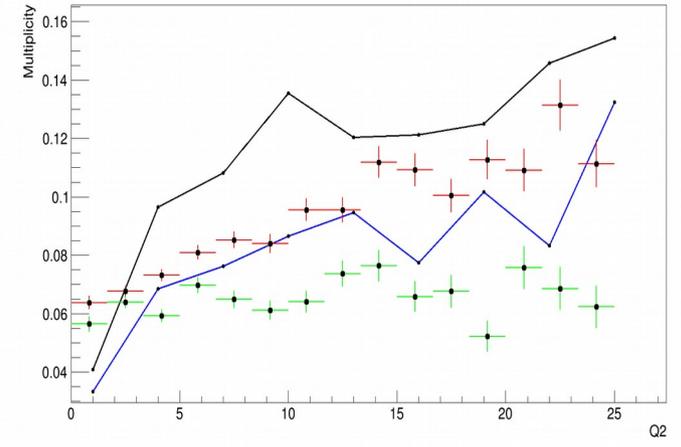
Energy neutrino



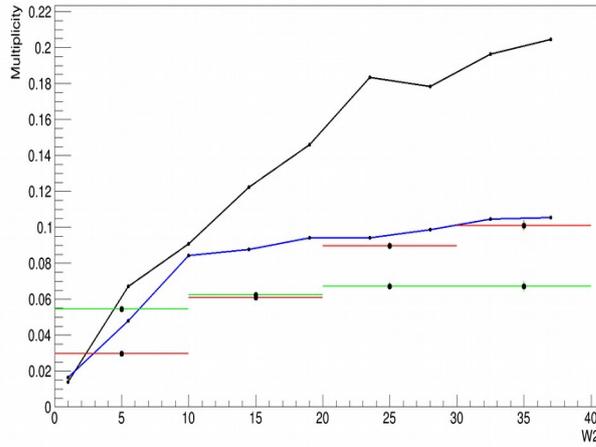
Y variable



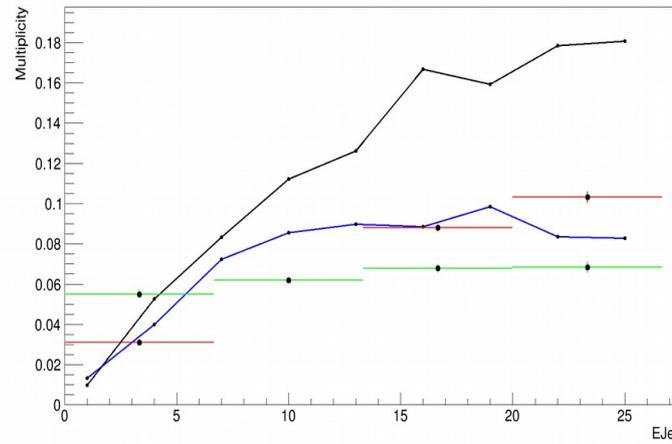
Square of transverse 4-momentum



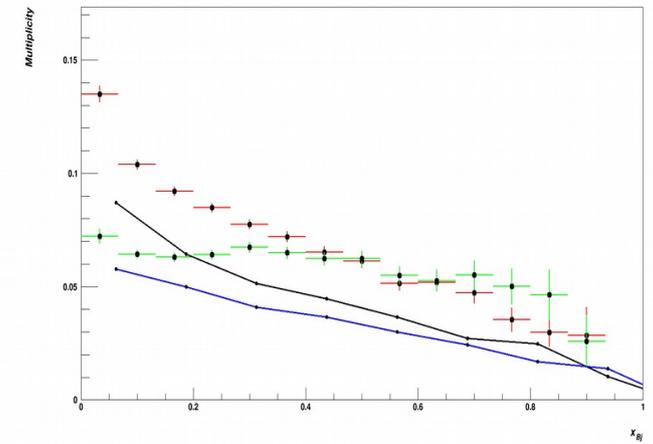
W2



Jet Energy



X_bjorken



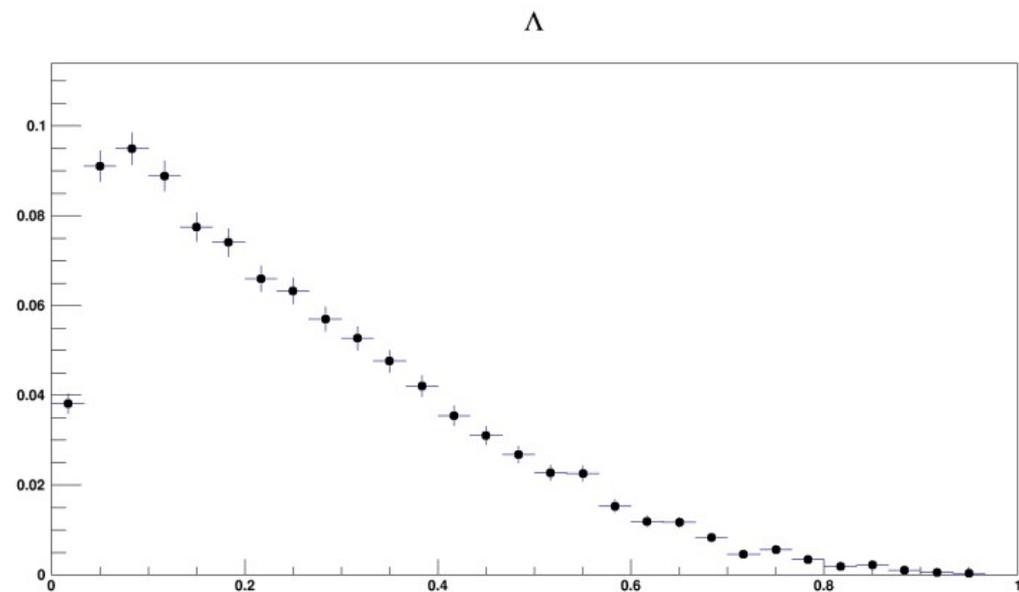
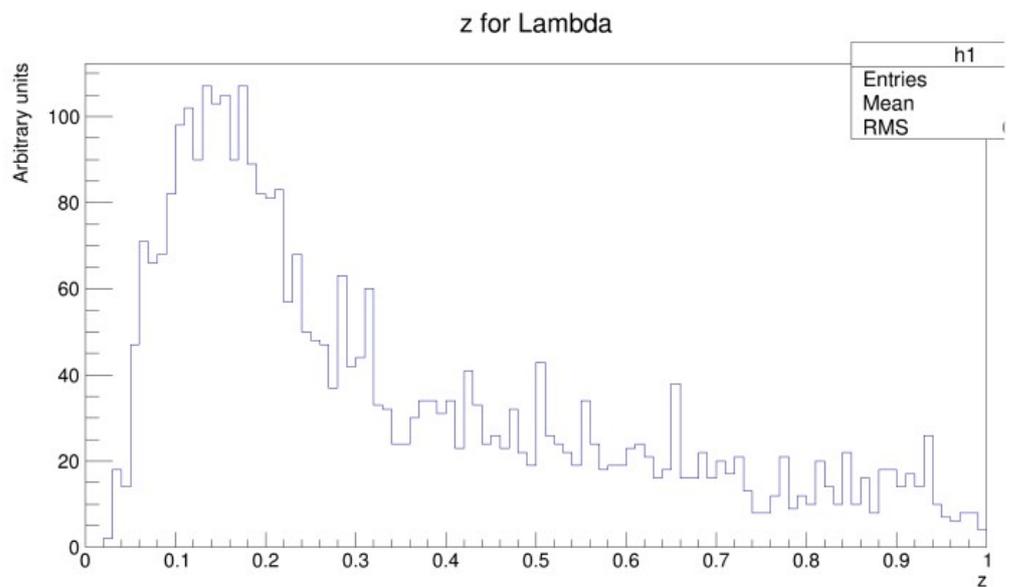
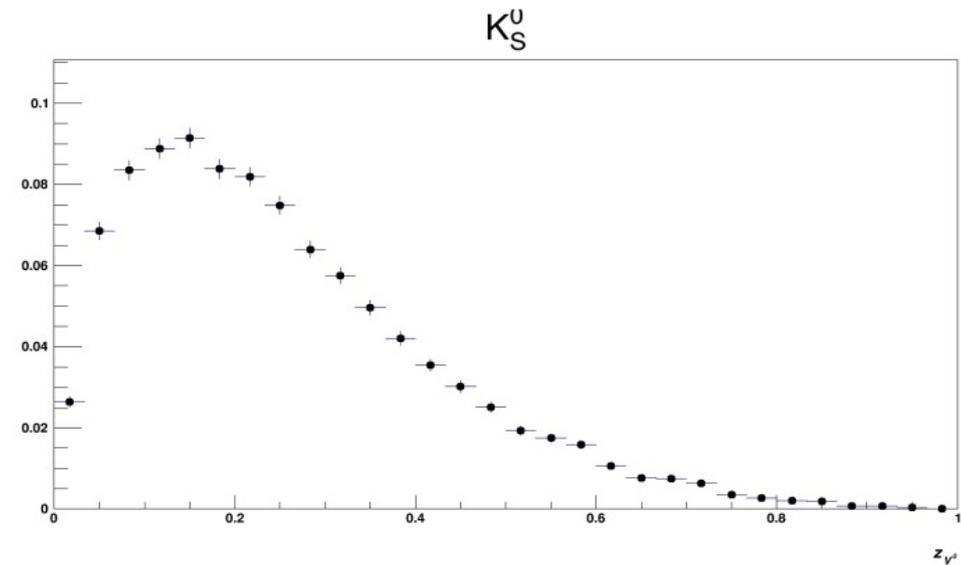
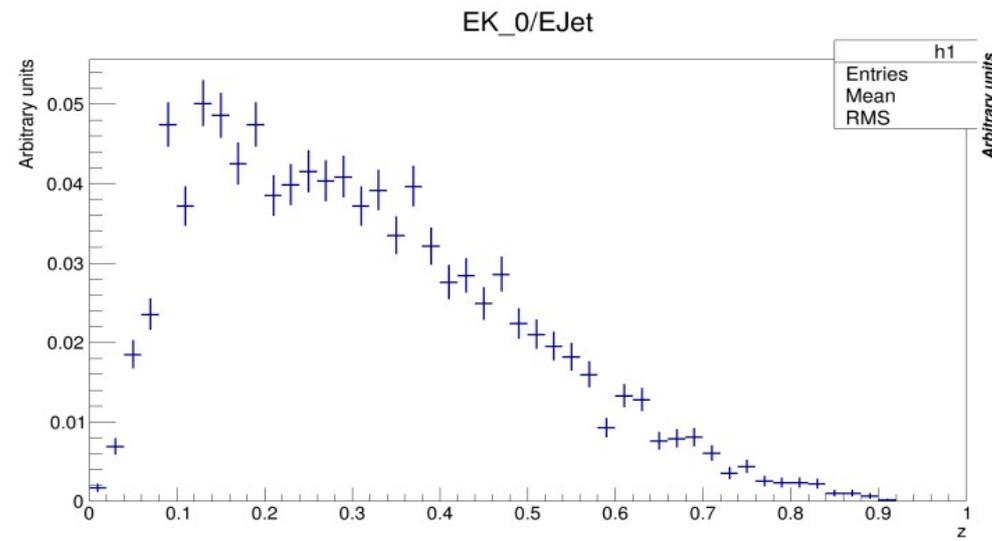
— Каоны, NOvA

— Лямбда, NOvA

— Каоны, NOMAD

— Лямбда, NOMAD

Распределения по переменной z для каонов и лямбда-гиперонов



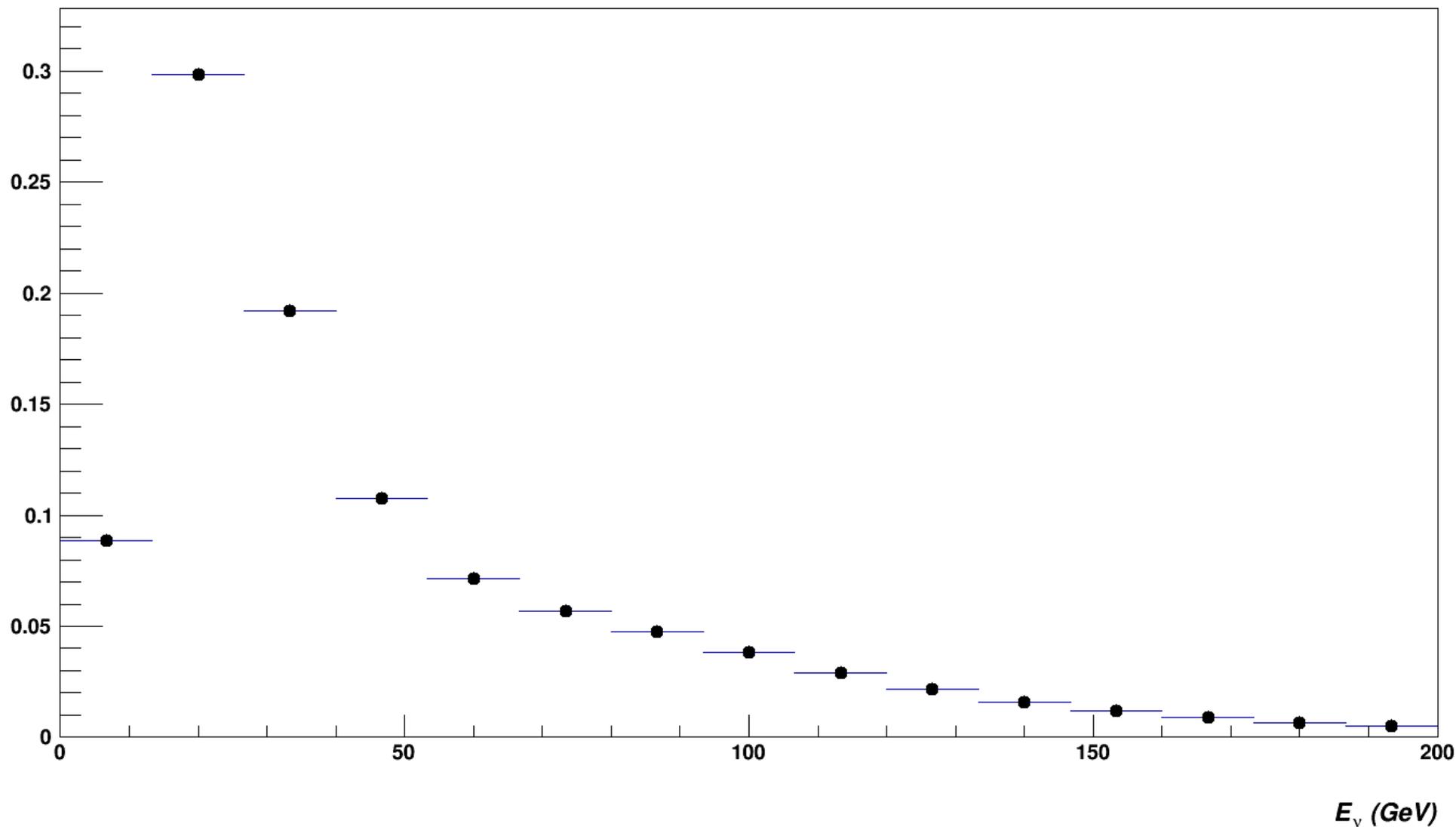
Выводы

- Было проведено моделирование нейтринных взаимодействий по каналу глубоко-неупругого рассеяния(ГНР) с рождением странных адронов при помощи генератора GENIE в ближнем детекторе эксперимента NovaA.
- Были получены относительные выходы странных адронов(каонов и лямбда-гиперонов) как функции кинематических переменных рассматриваемого процесса.
- Проведено сравнение исследуемых распределений с данными эксперимента NOMAD.
- Мы наблюдаем расхождение в распределениях нашего моделирования и экспериментальных результатов NOMAD
- В ходе выполнения работы было обнаружено, что процесс рождения с-кварка не заложен в симуляции (моделировании) GENIE. Соответствующие уточнения к графикам будут сделаны в дальнейшей работе.

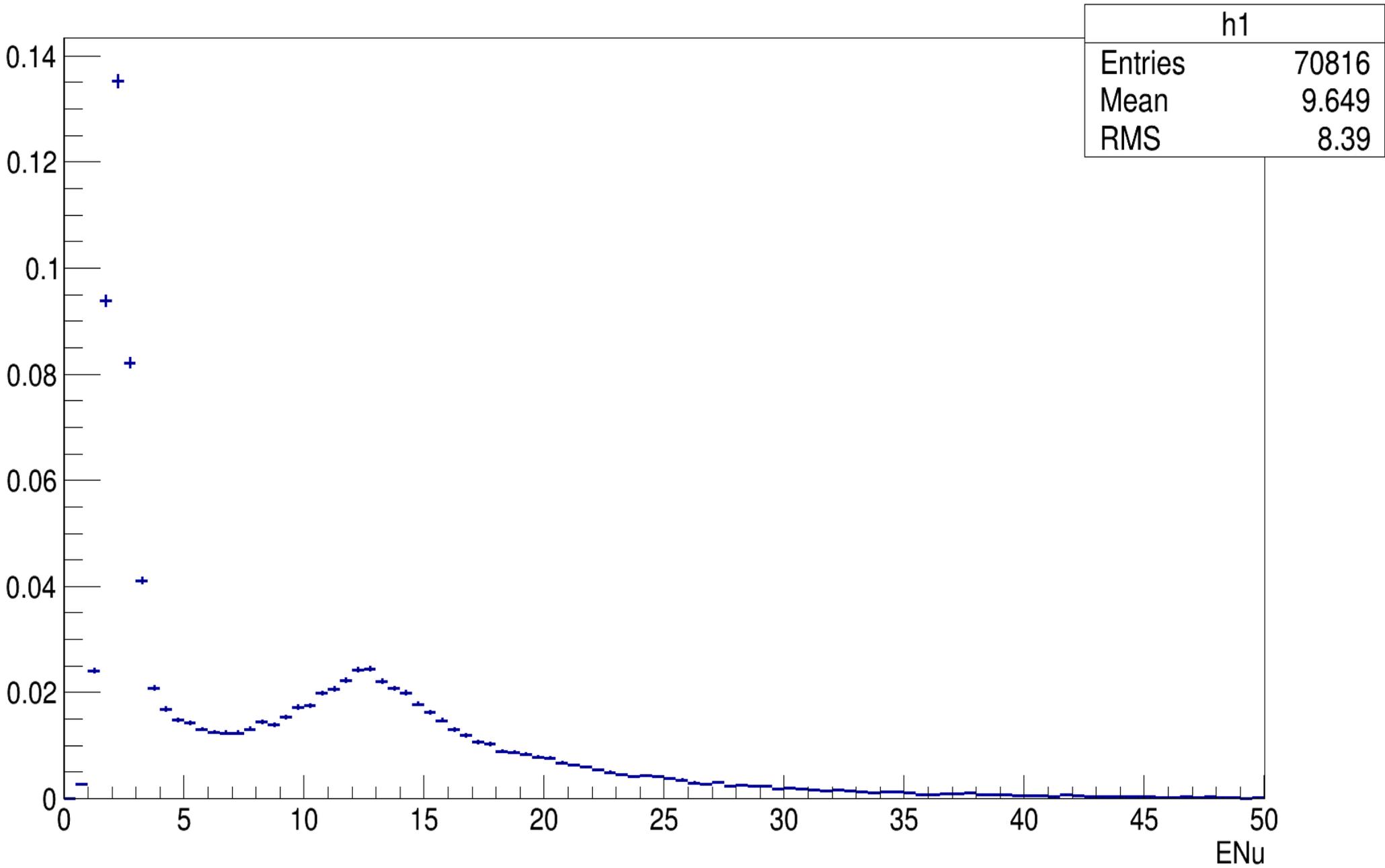
Backup slides

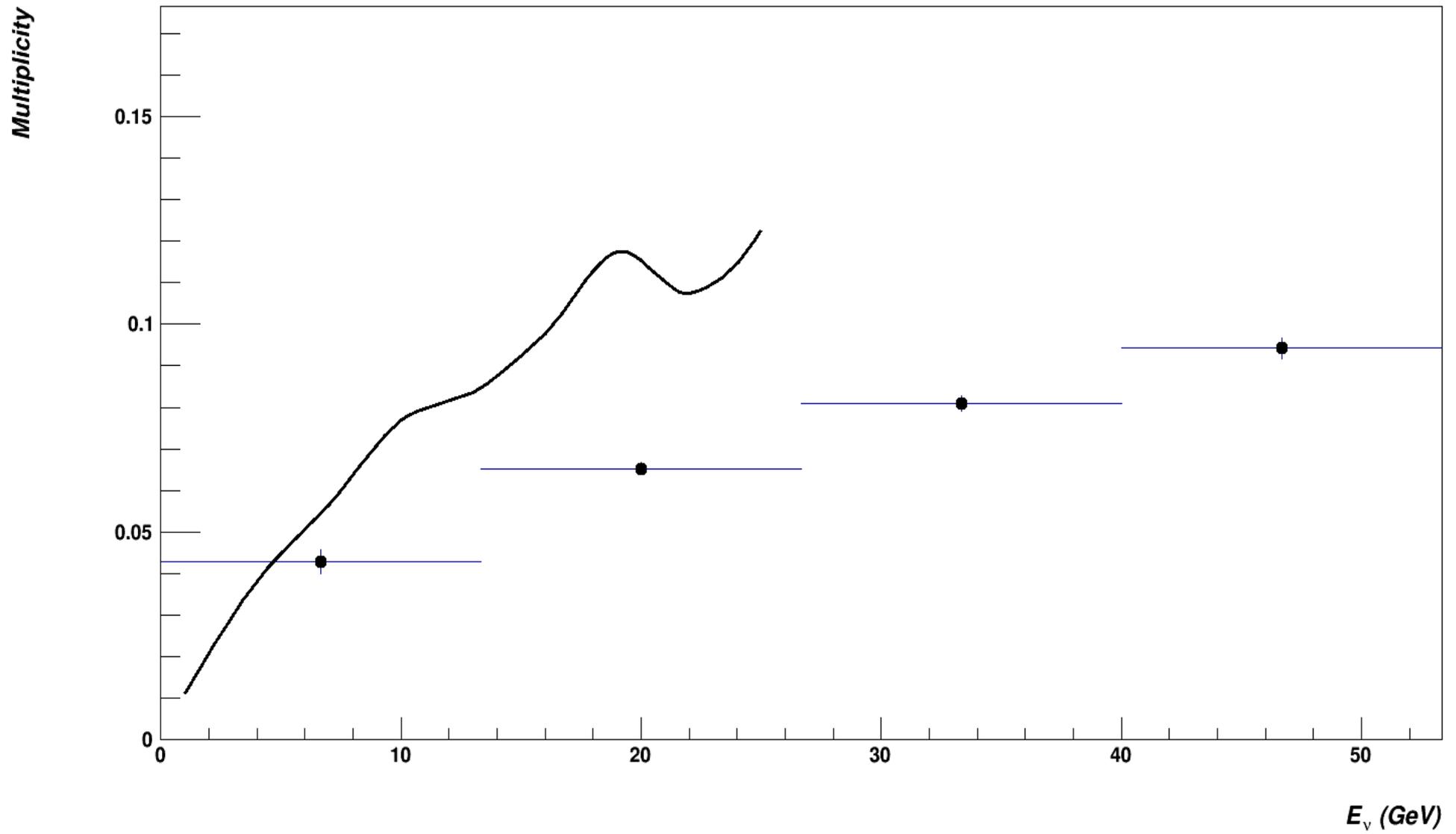
Энергия нейтрино

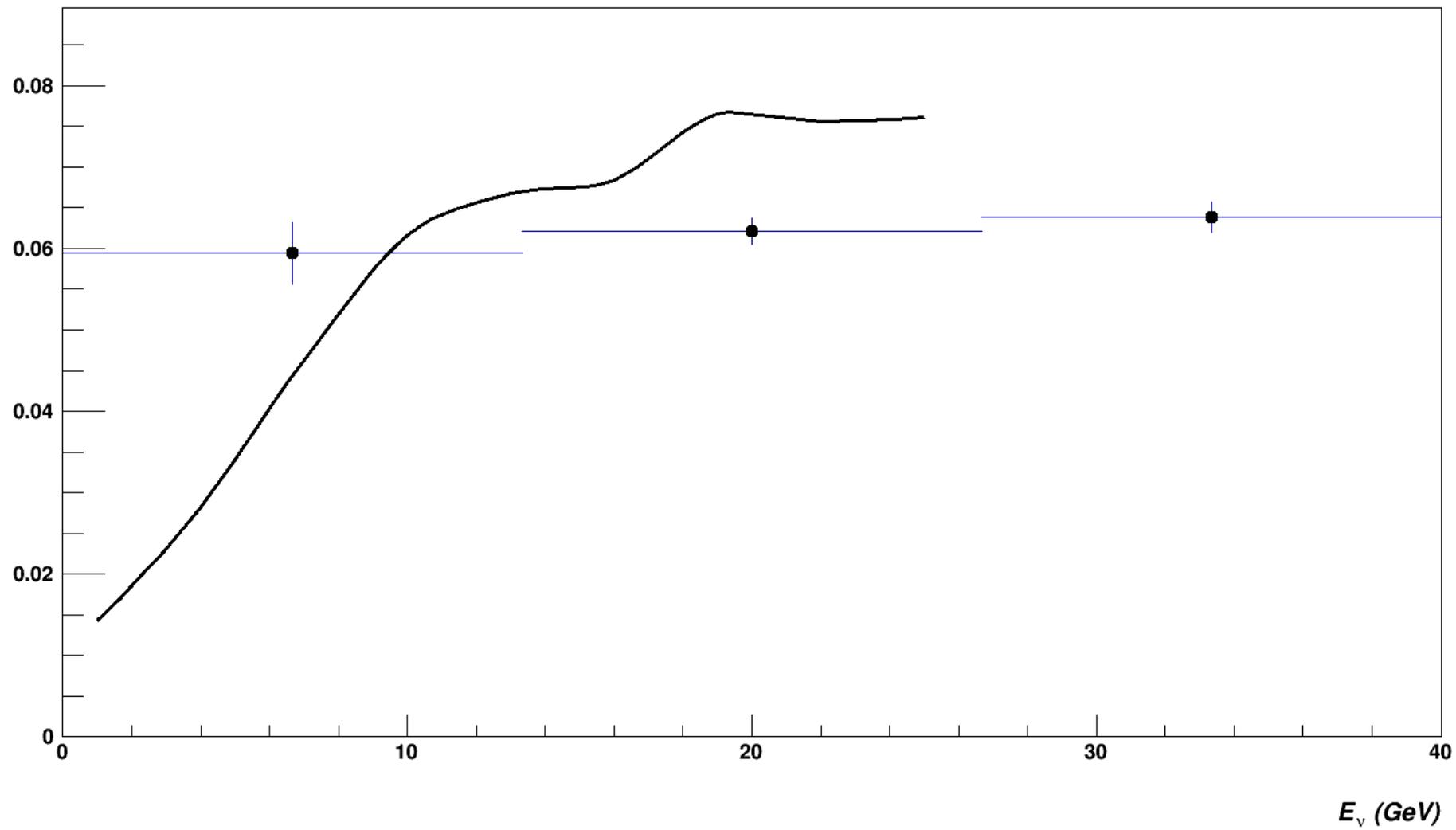
Global variable



Energy neutrino

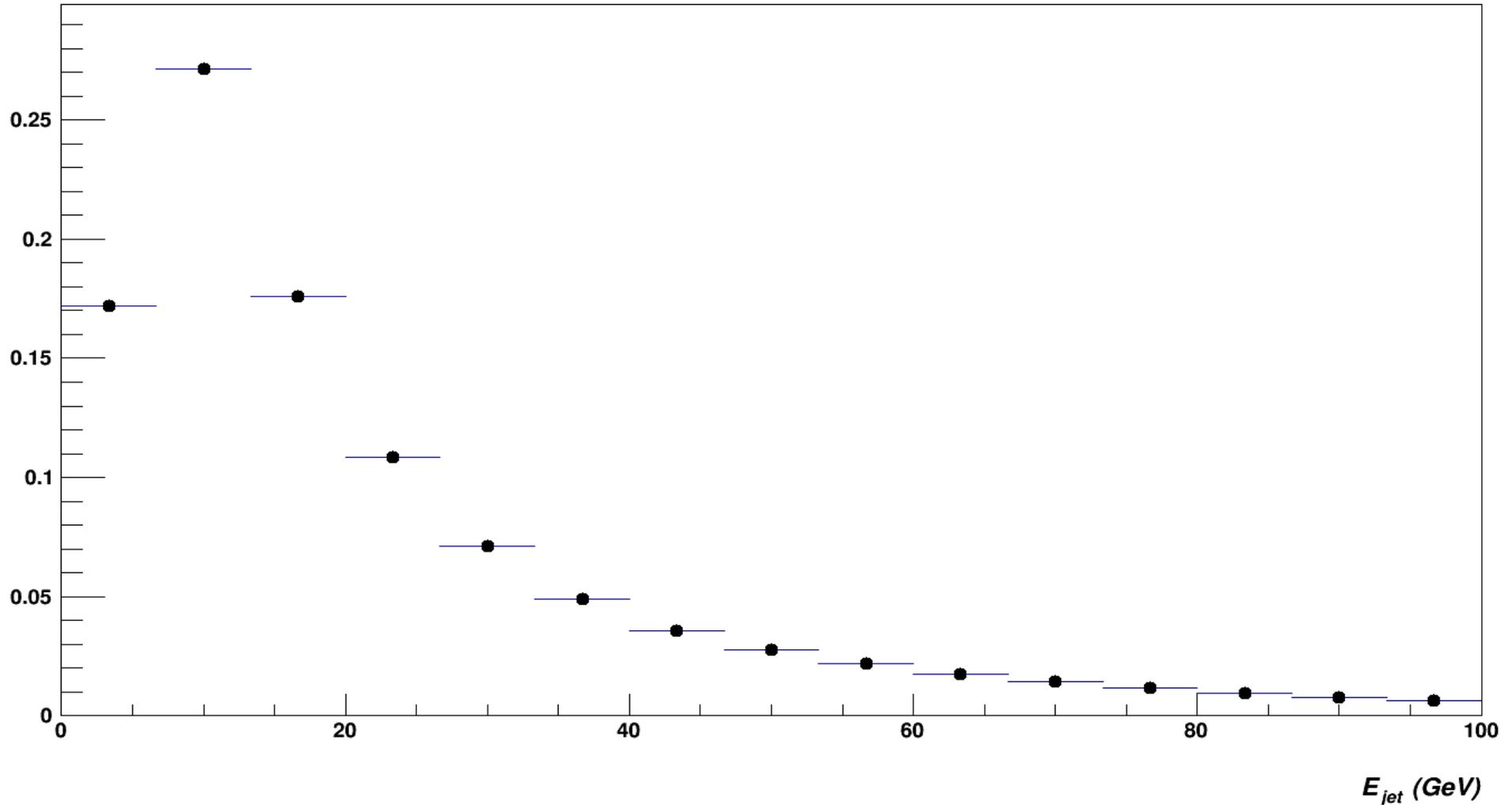


K_S^0 

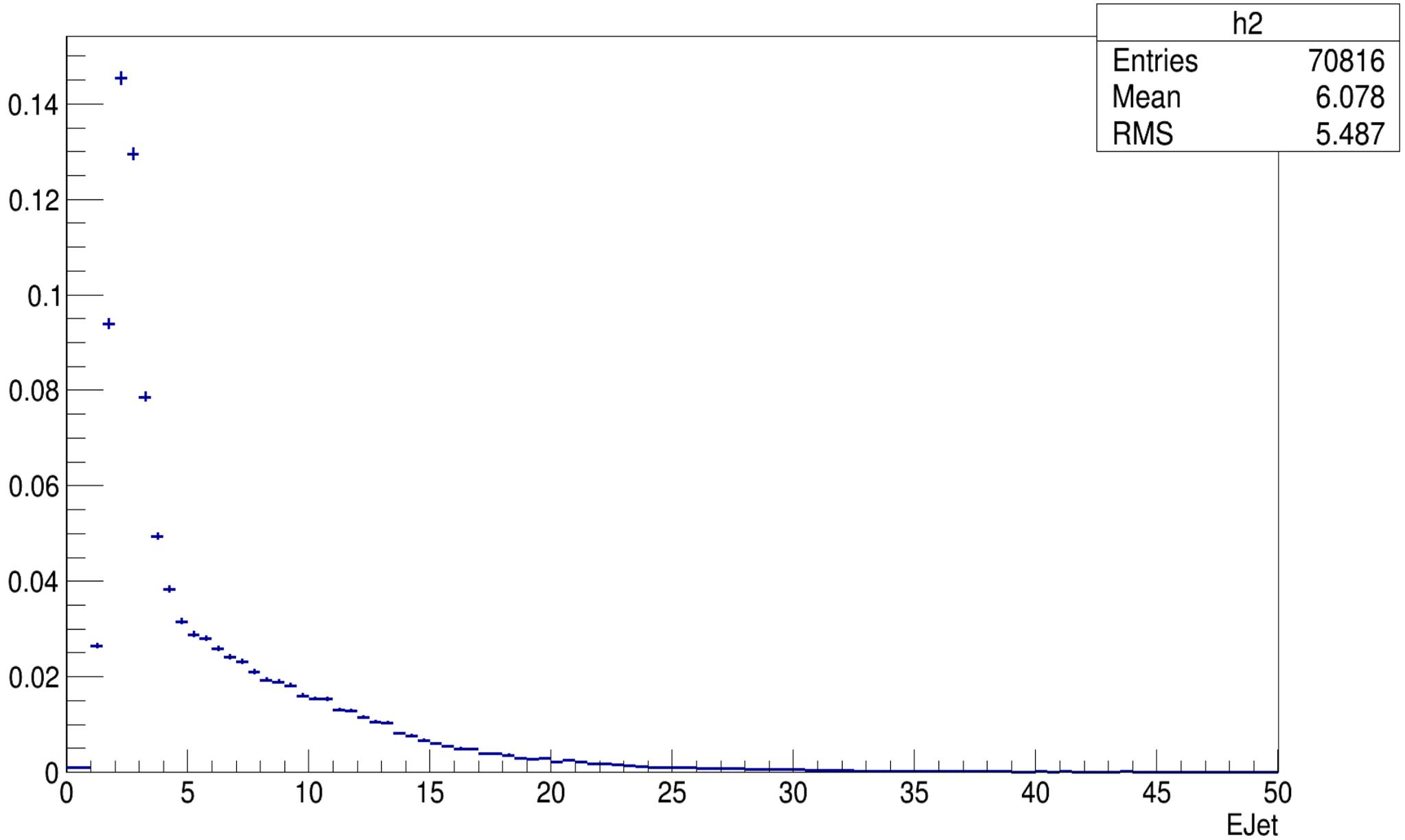
Λ 

Адронная энергия

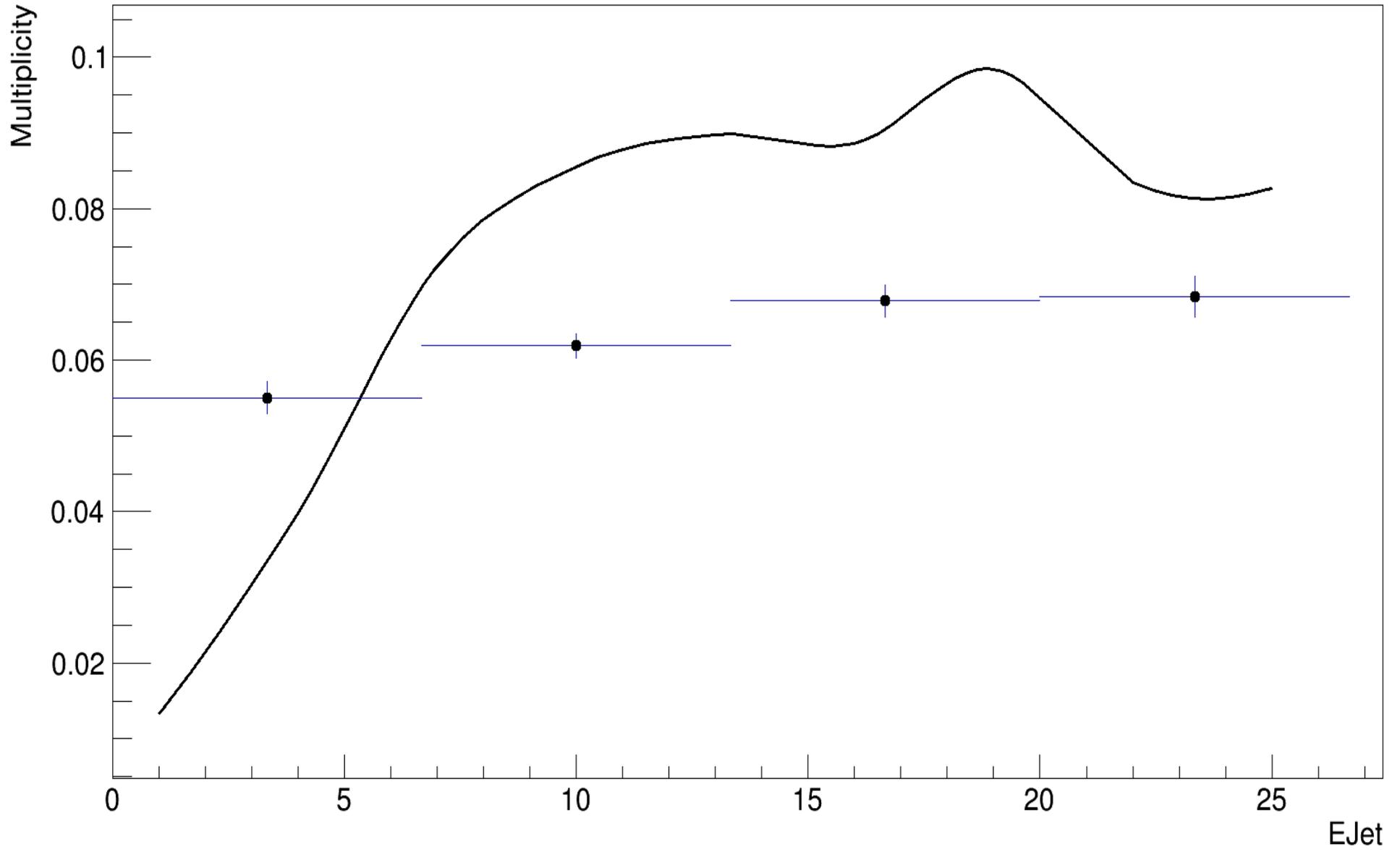
Global variable



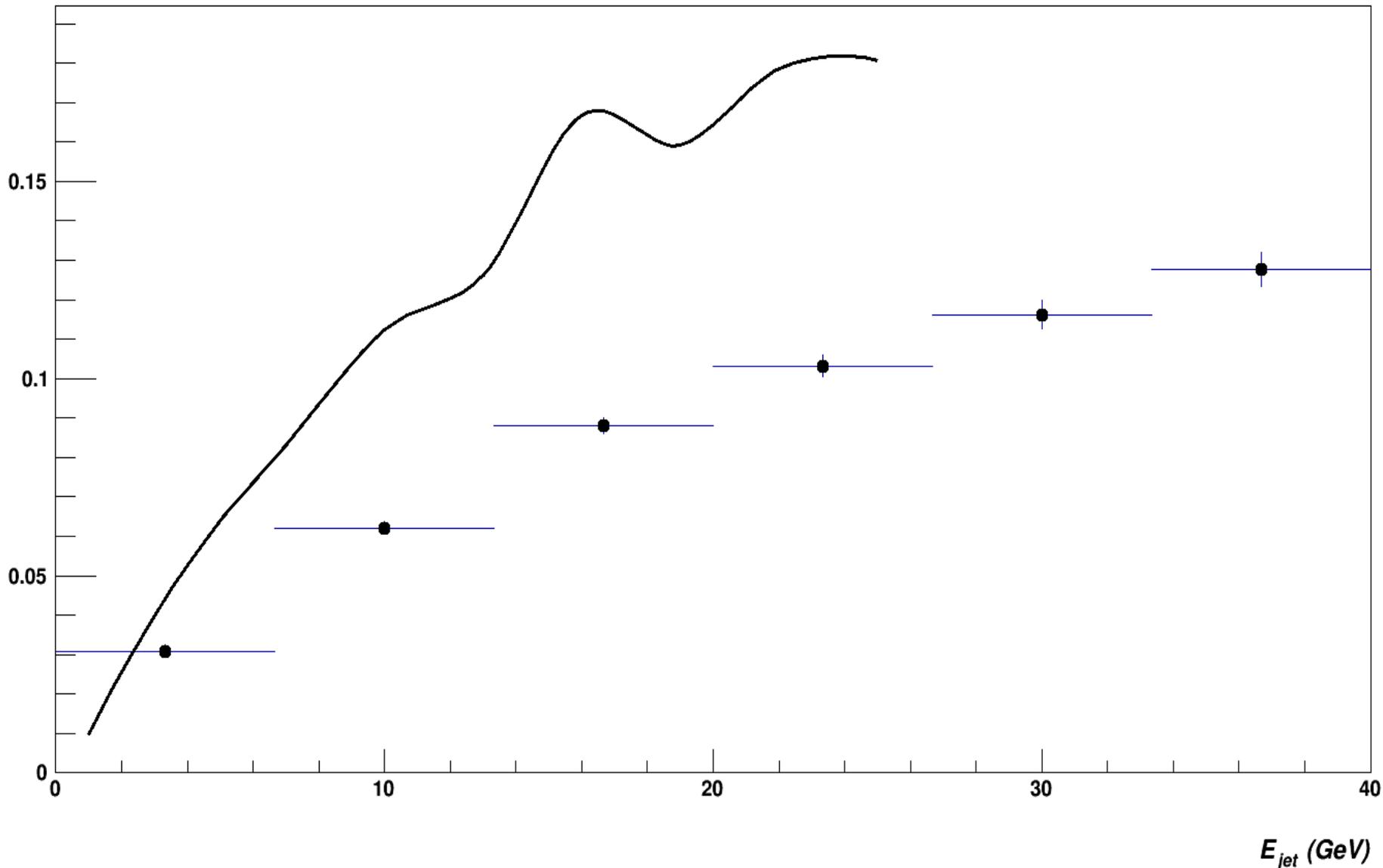
Jet Energy



Jet Energy

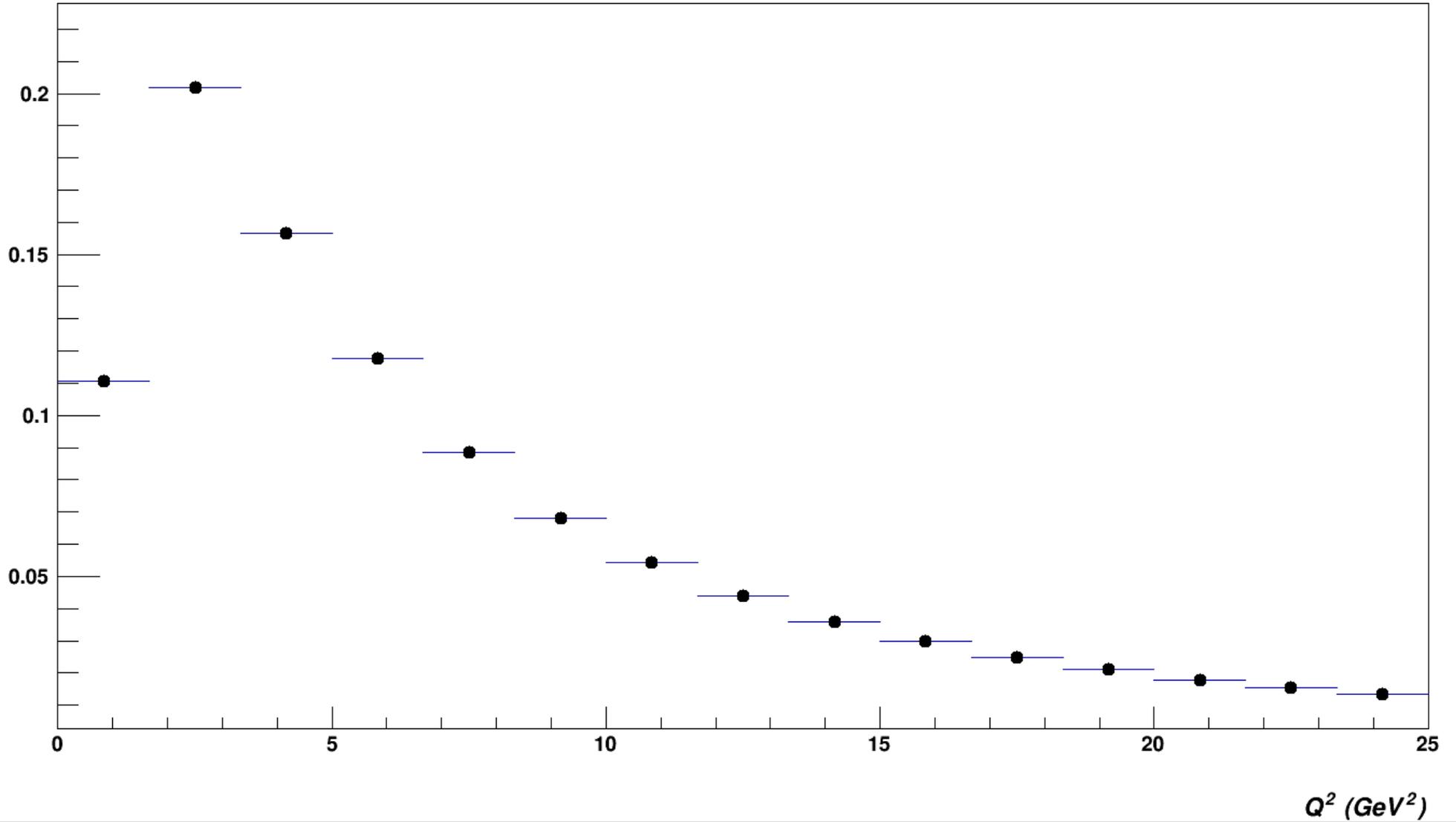


K_S^0

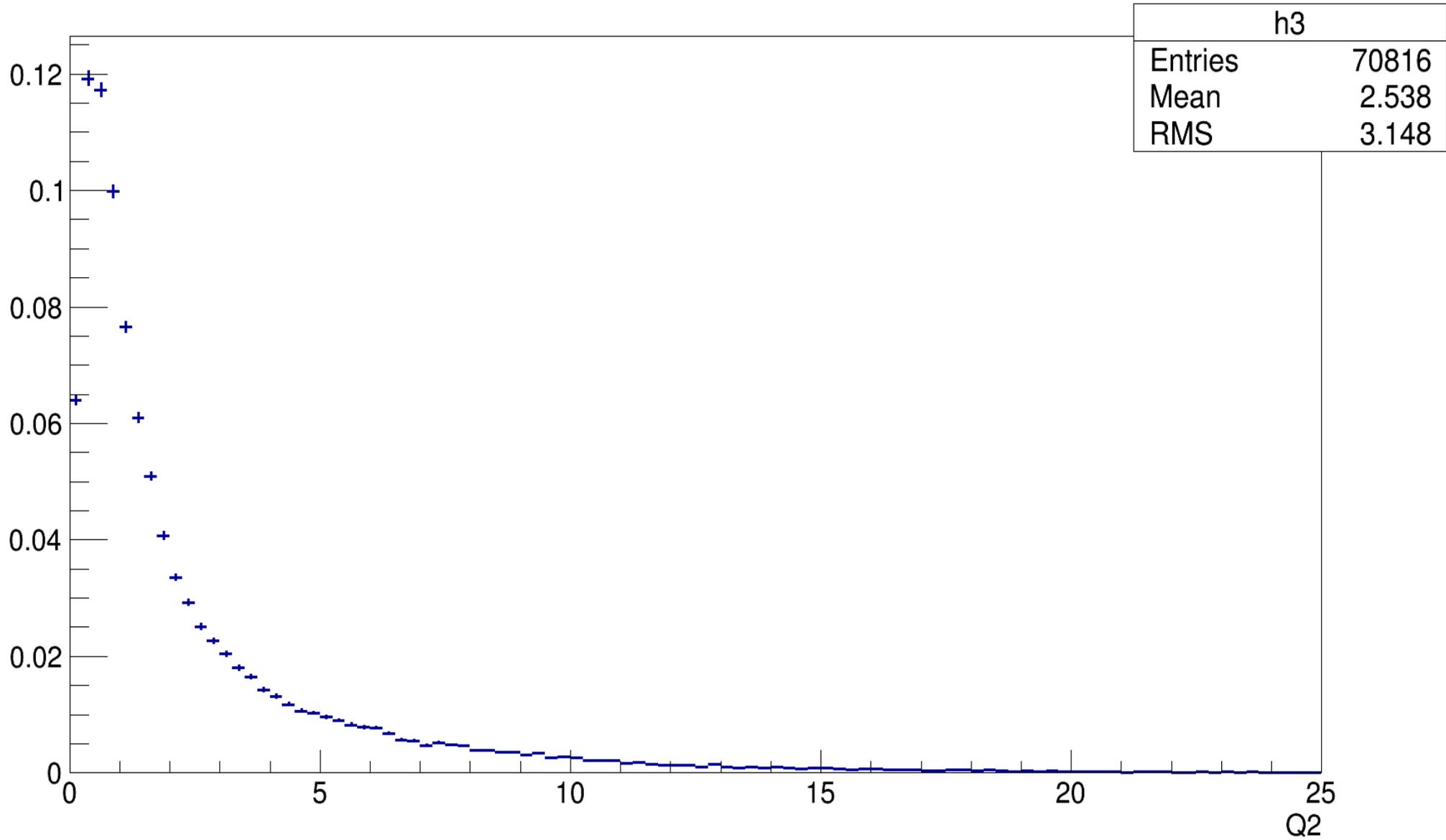


Q2

Global variable

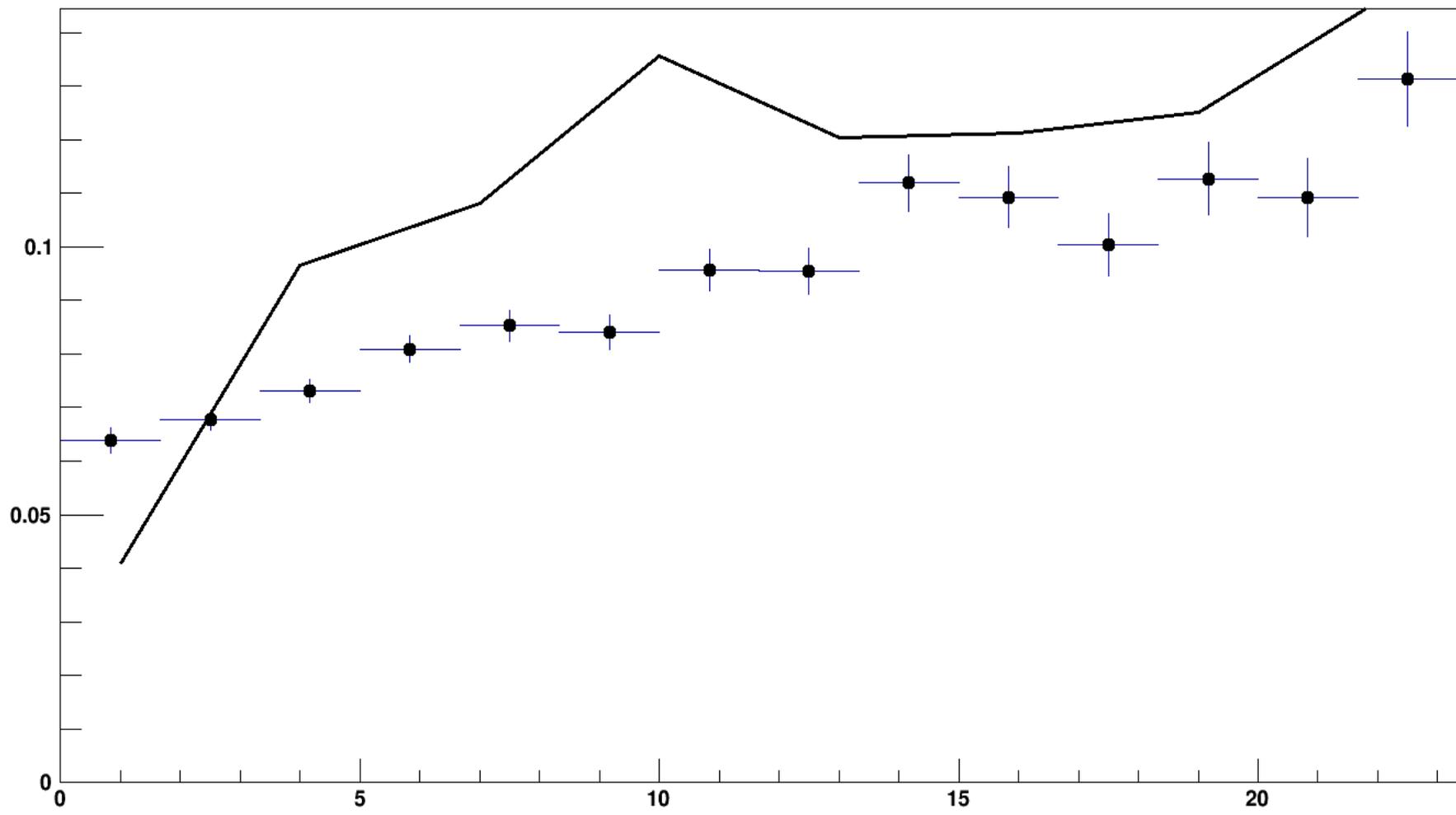


Square of transverse 4-momentum



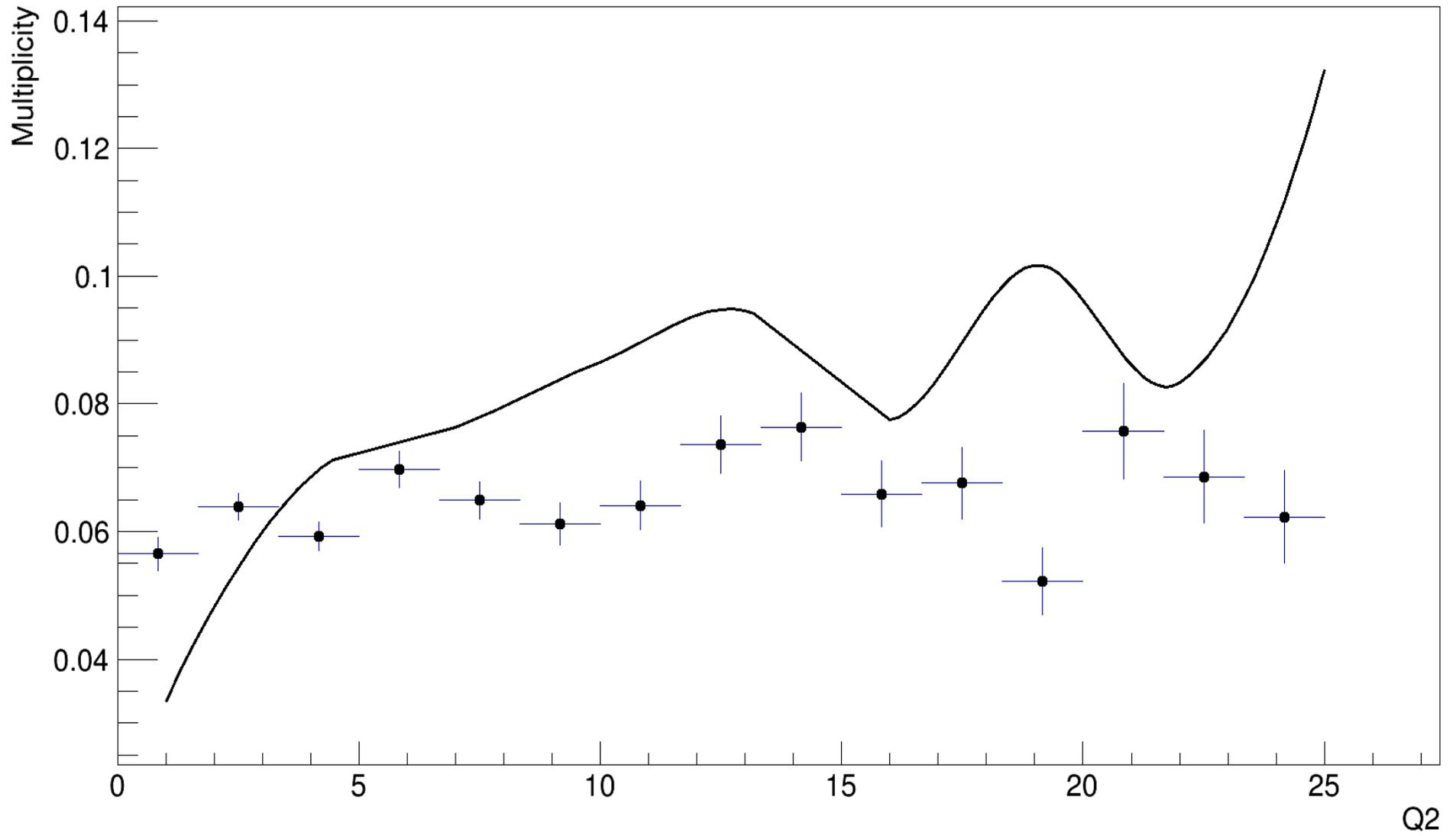
K_S^0

Multiplicity



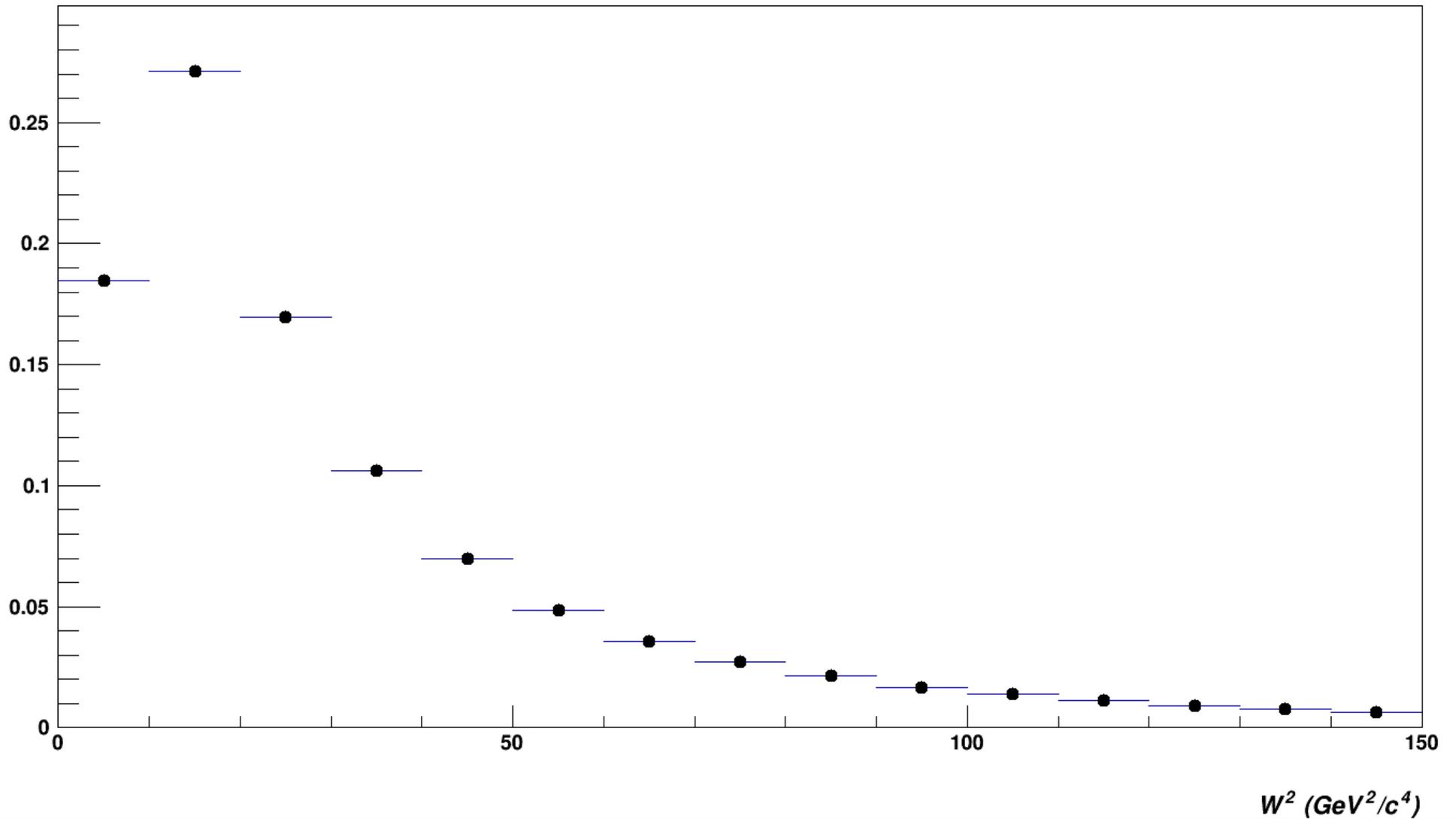
Q^2 (GeV²)

Square of transverse 4-momentum

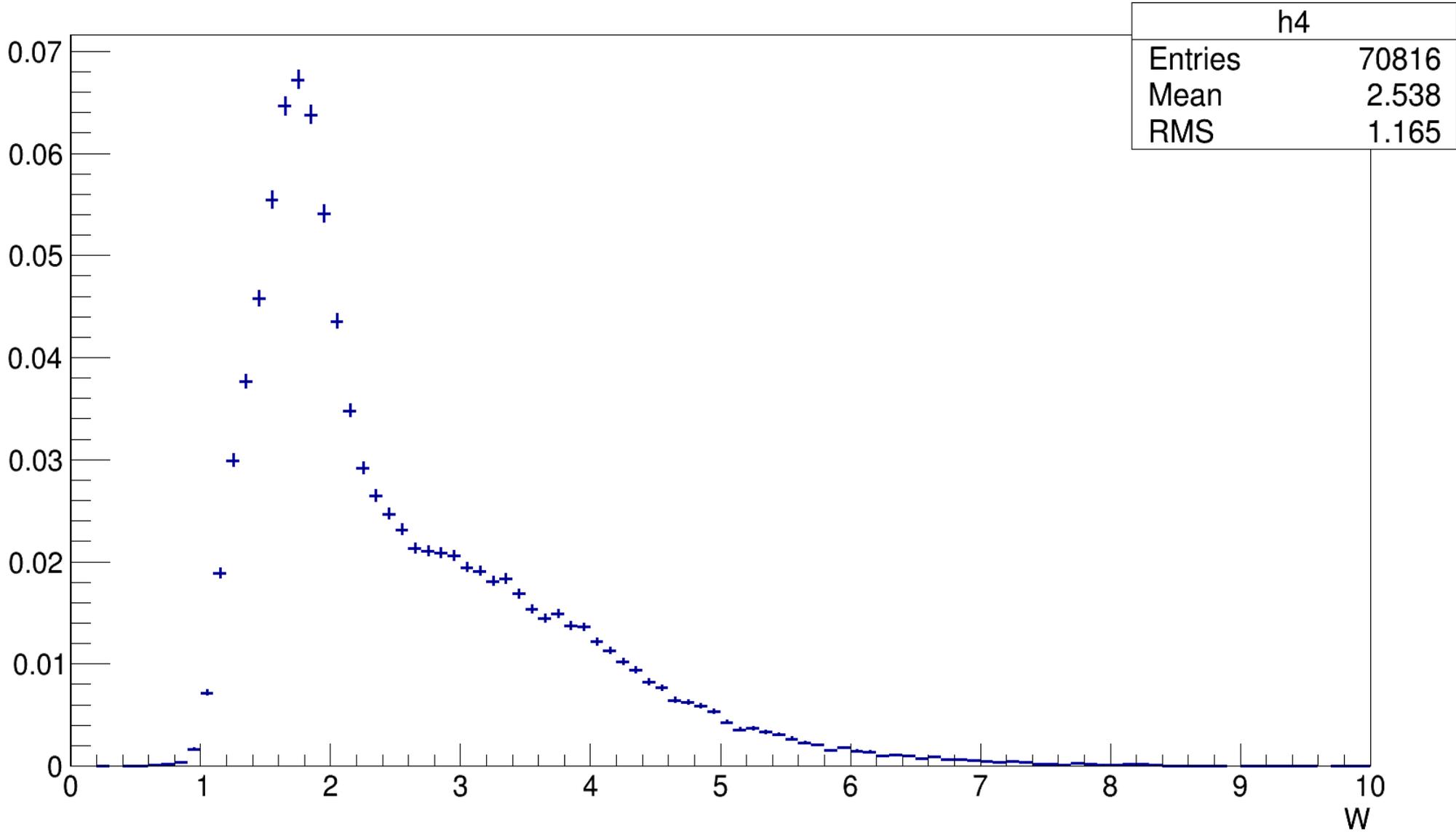


W^2

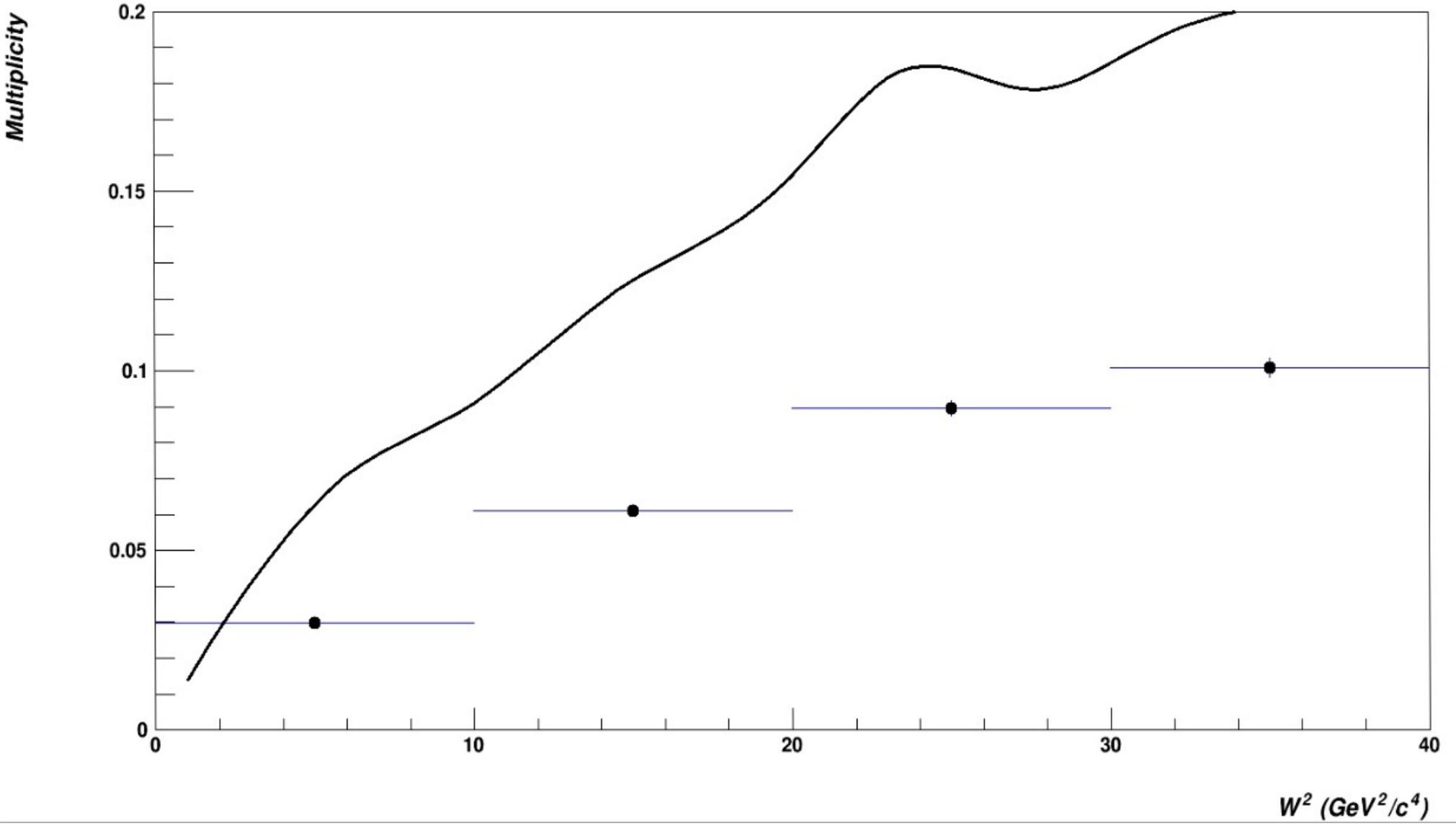
Global variable



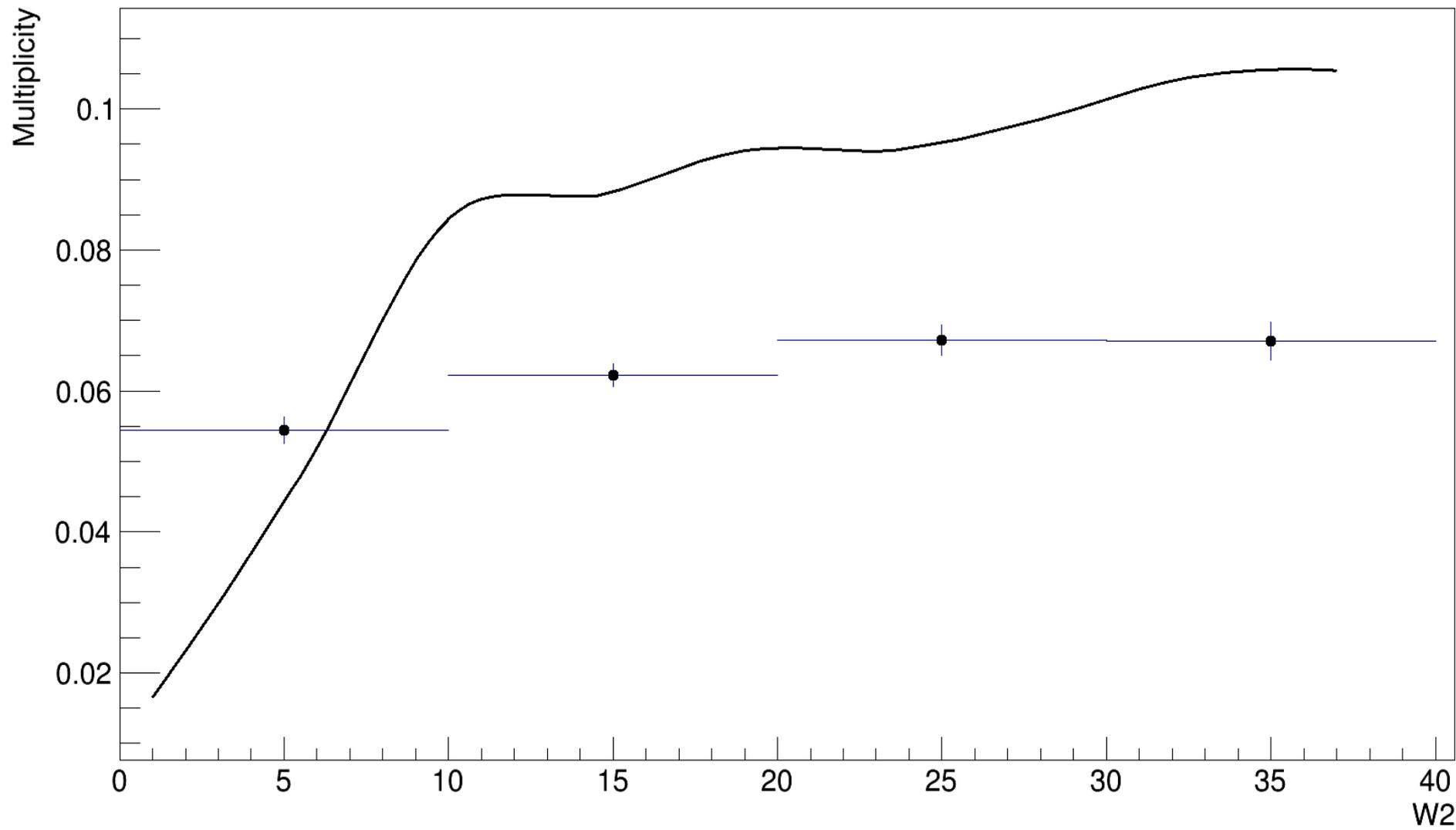
W



K_S^0

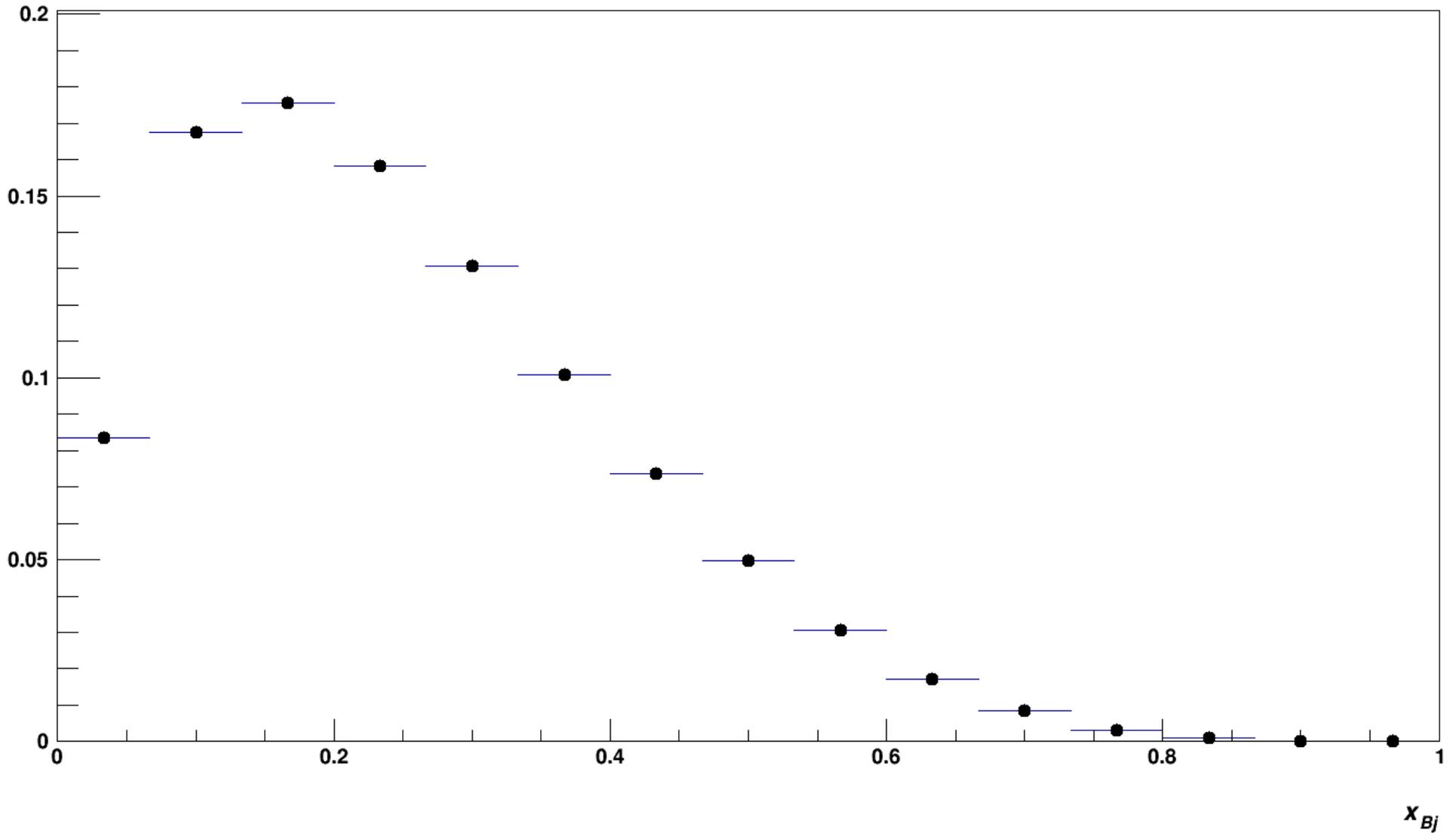


W2

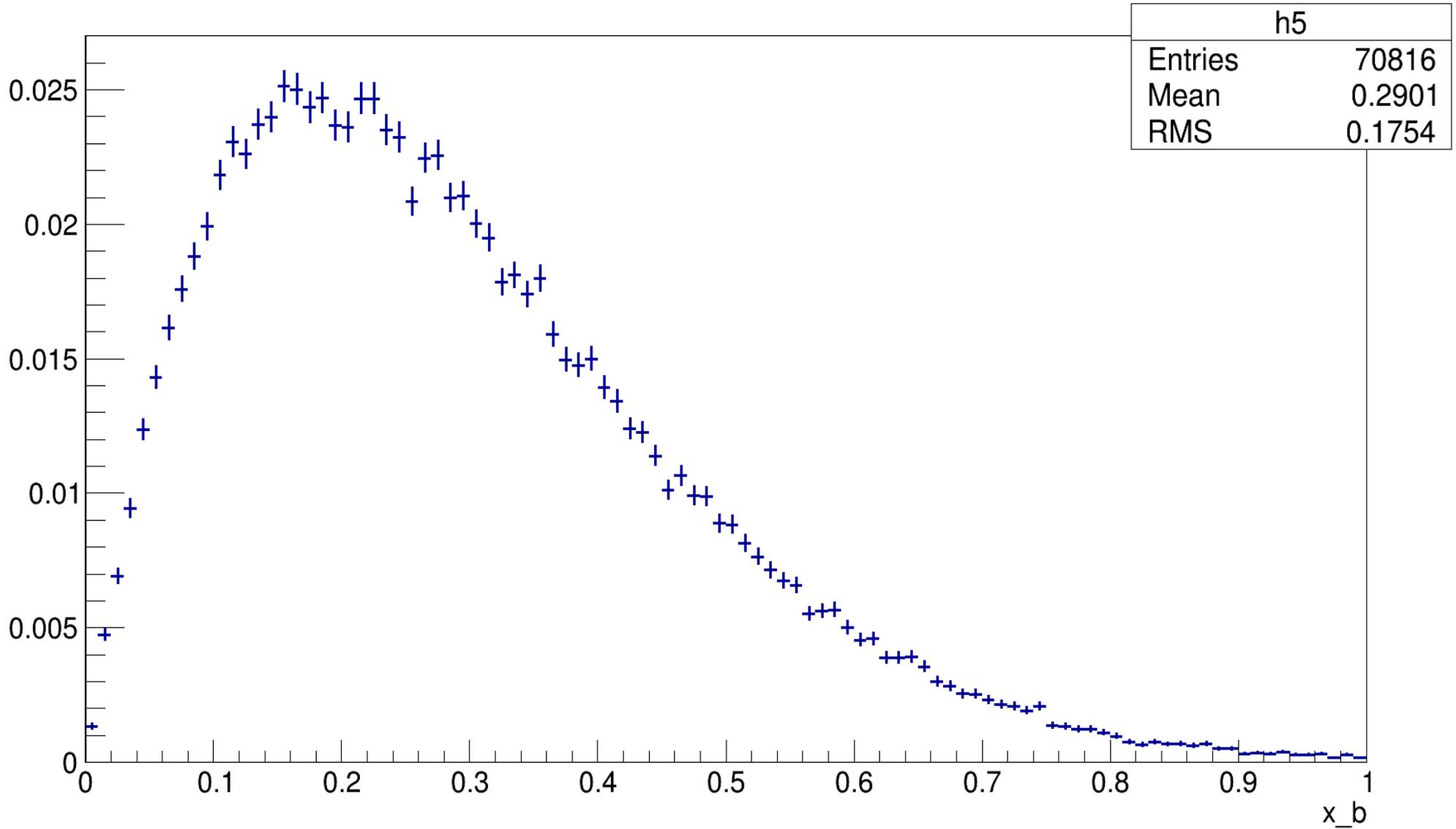


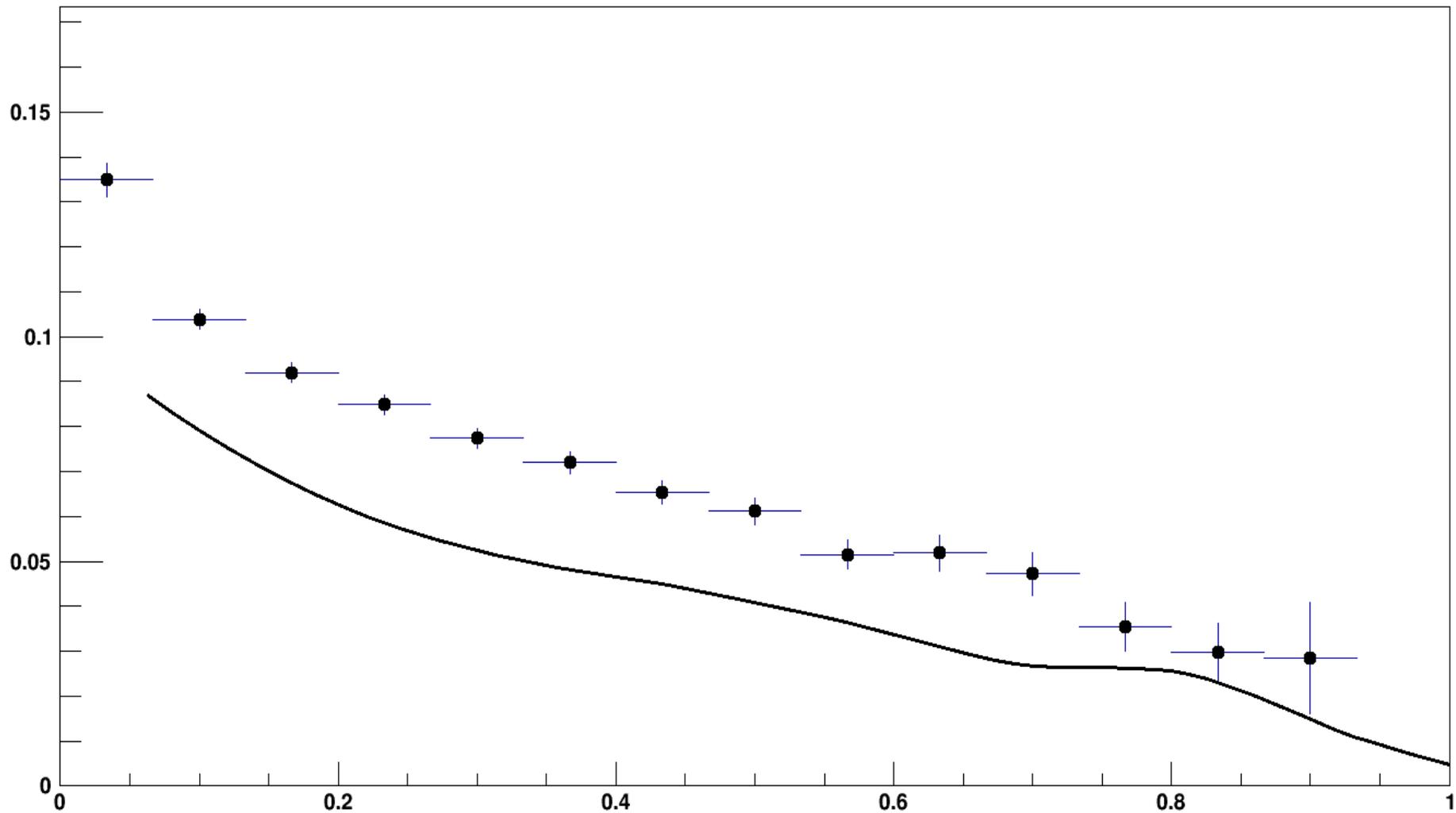
X_bjorken

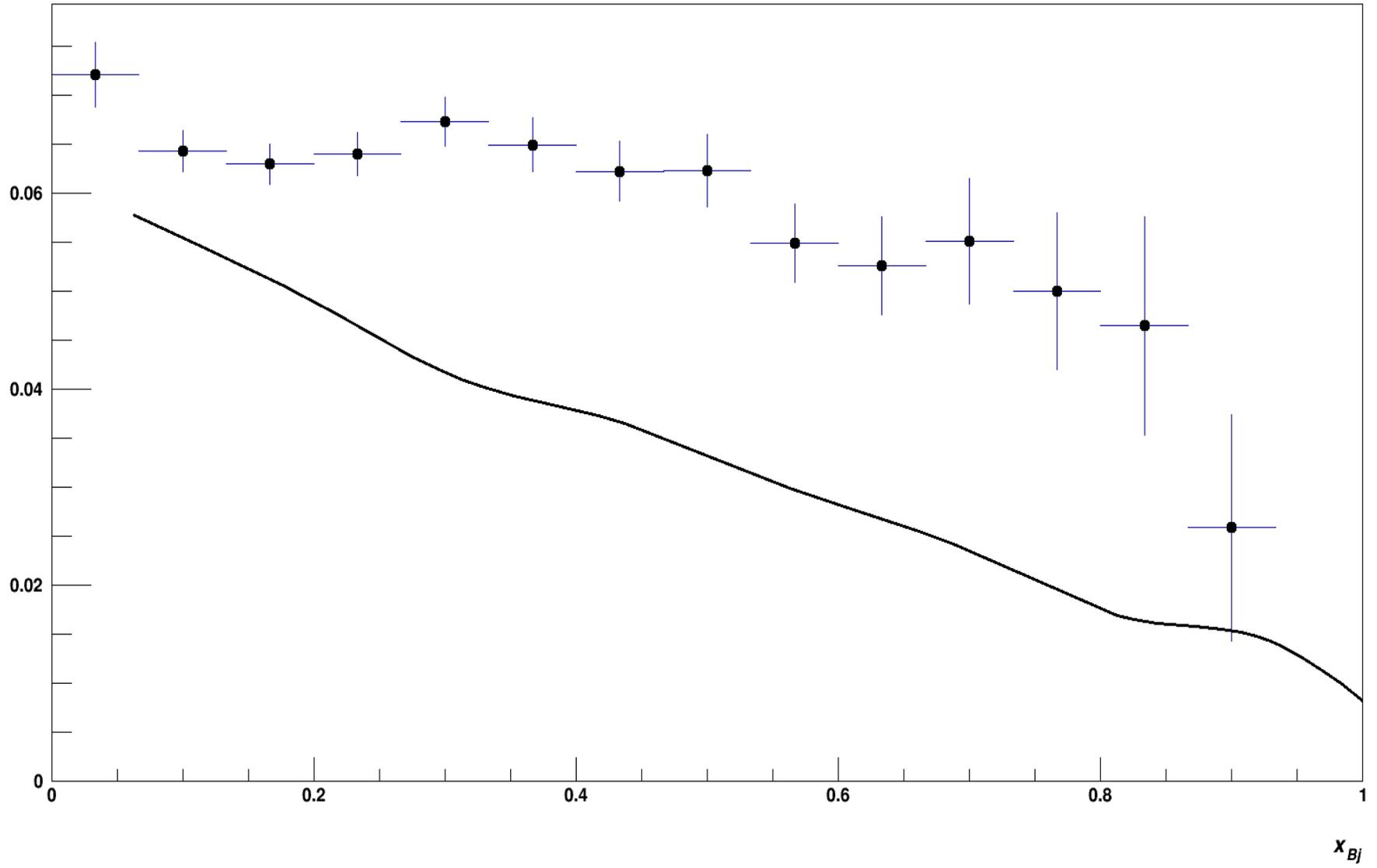
Global variable



X_bjorken

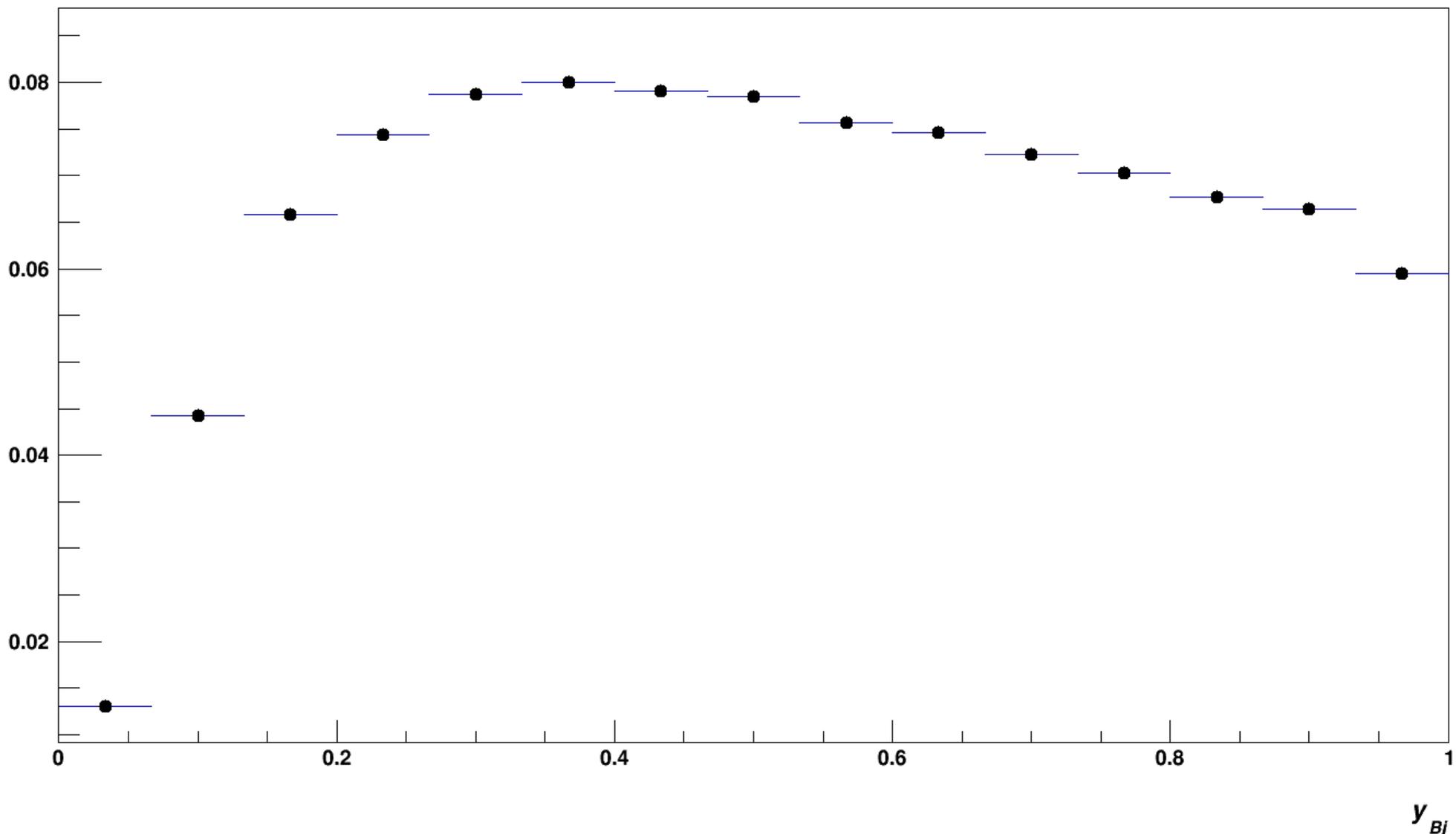


K_S^0 

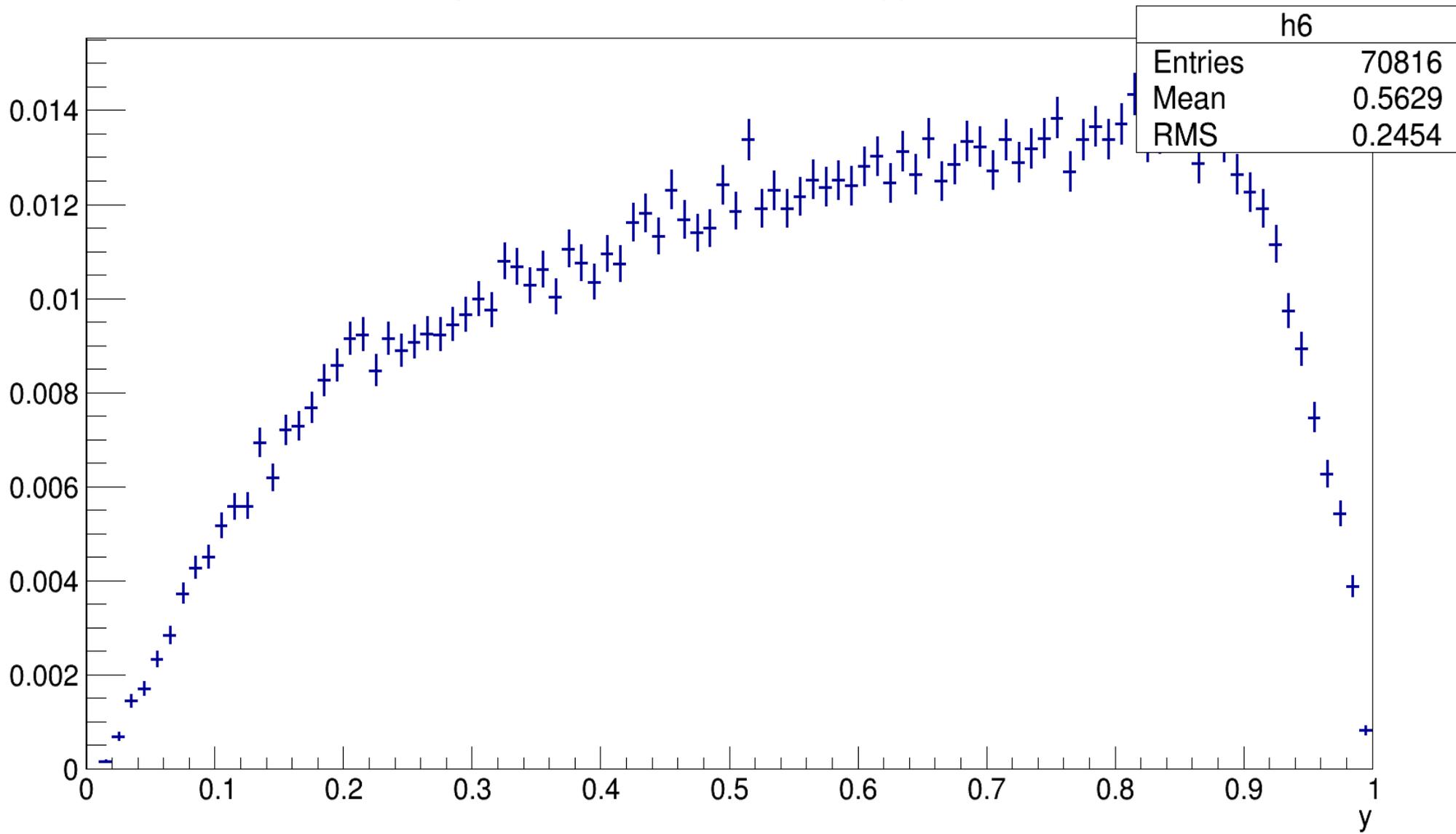
Λ 

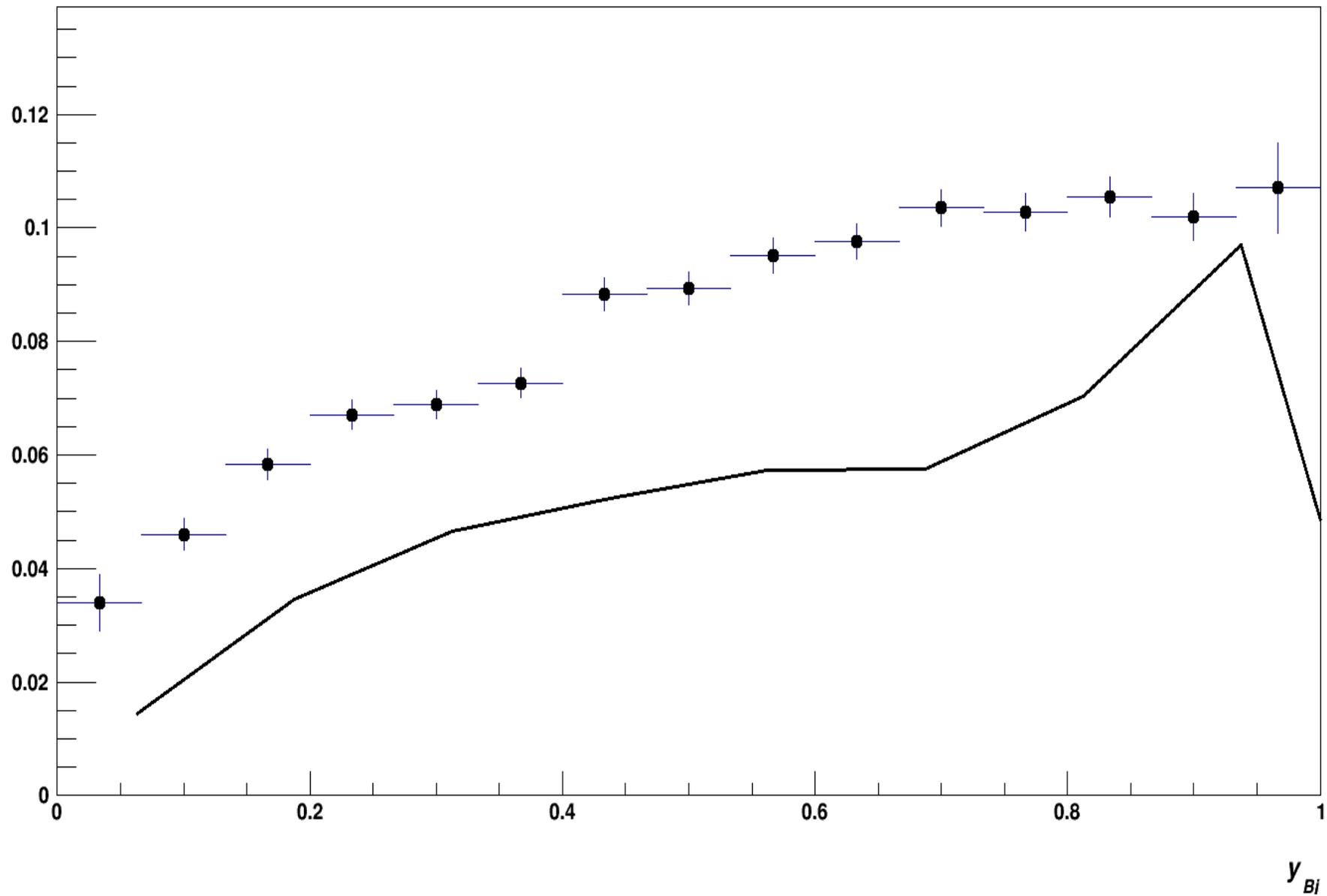
Y

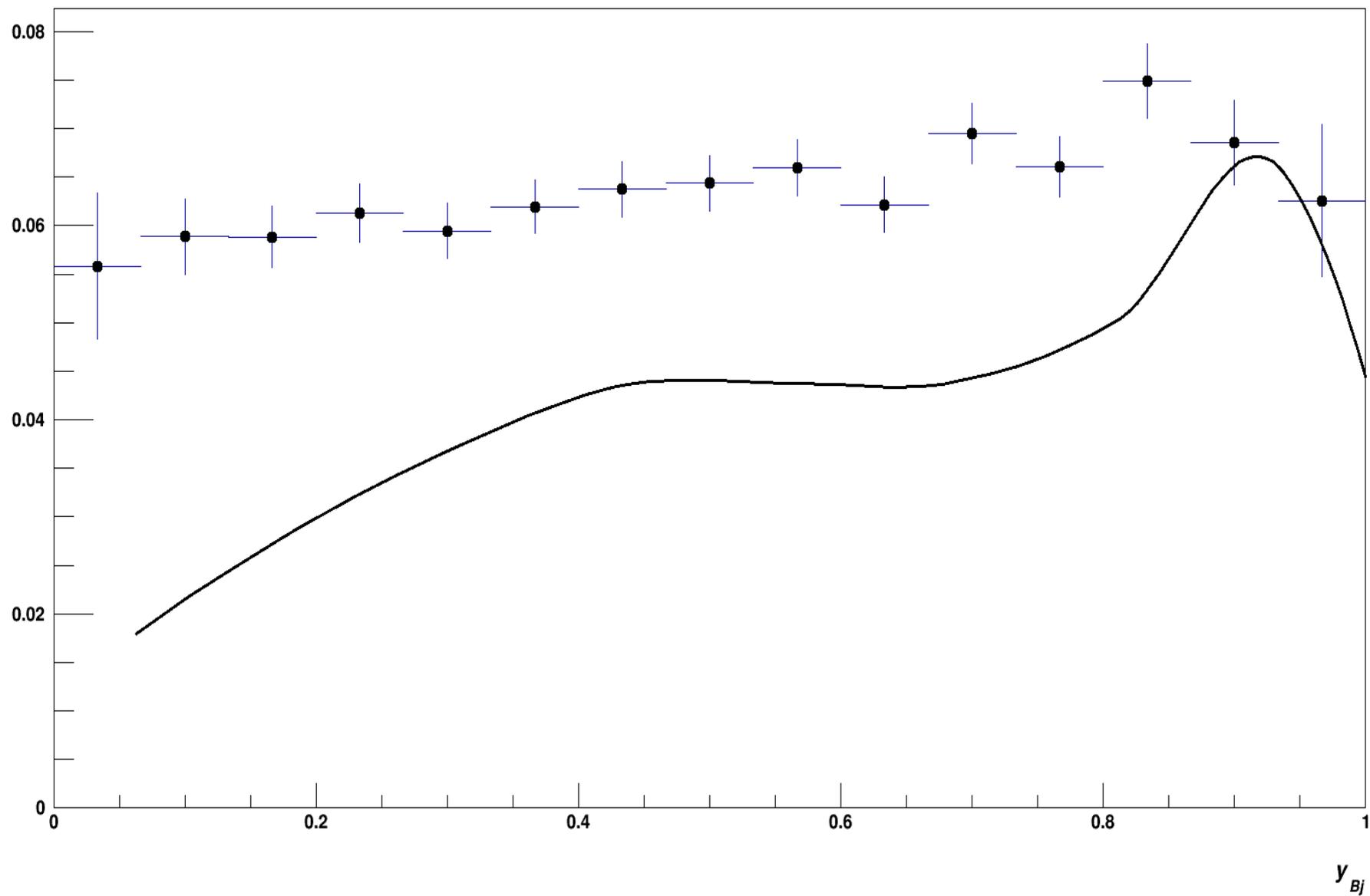
Global variable



part of transverse energy



K_S^0 

Λ 

Переменная z

EK_0/EJet

