



Выпускная квалификационная работа студента на тему:

Определение фонов, связанных с процессами образования топ кварков, при поиске возбужденных лептонов в эксперименте ATLAS

Студент: Ван А.М.

Научный руководитель: Солдатов Е.Ю.

Научный консультант: Мягков А.Г.

28.06.2023



МОТИВАЦИЯ

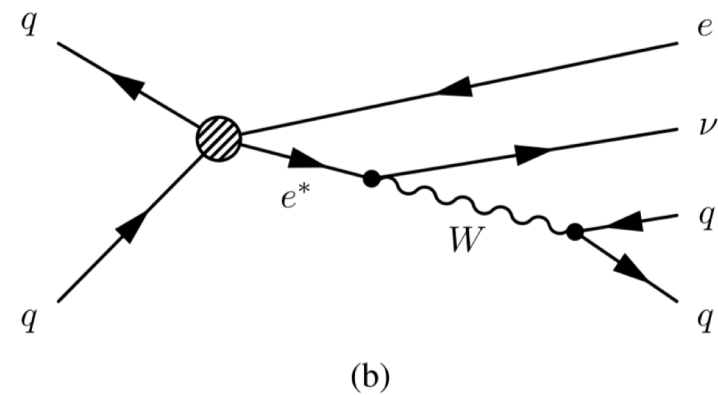
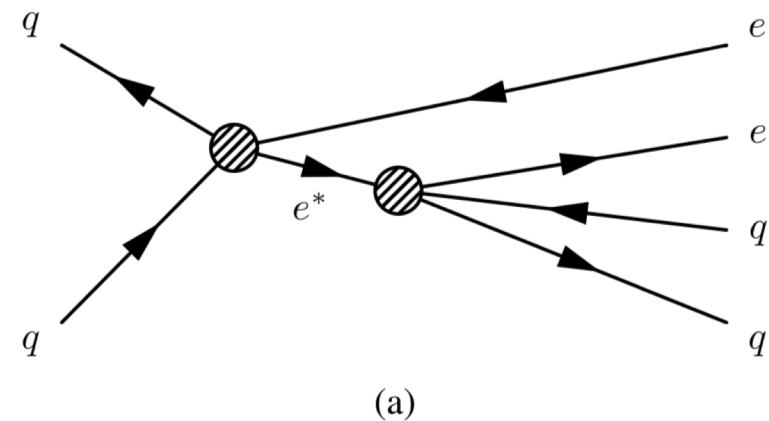
Проблемы СМ:

- Скрытая масса
- Проблема иерархии масс и структуры поколений
- Темная энергия и т.д.

Диаграммы Фейнмана для образования возбужденного лептона с последующим распадом

(a) через контактное взаимодействие

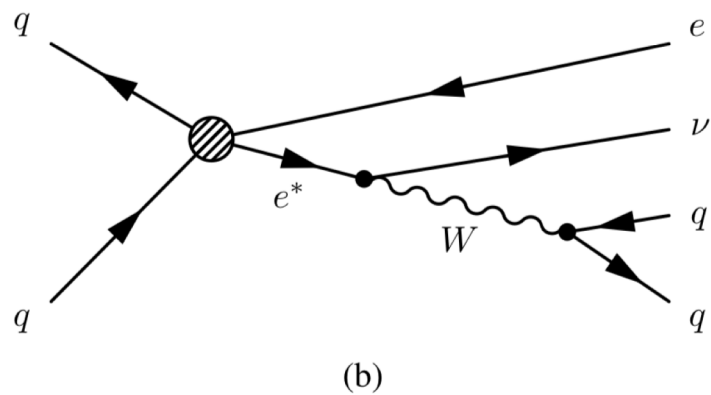
(b) через калибровочный бозон



Целью ВКР является определение фонов, связанных с образованием топ-кварков, с помощью Монте-Карло моделированных данных при поиске возбужденных лептонов в эксперименте ATLAS и **корректировка Монте-Карло данных** с учетом экспериментальных данных.

В соответствии с поставленной целью **задачами** данной работы были:

- Определение контрольной области для фонового процесса образование пары топ-анти топ для конечного состояния $e\nu J$;
- Построение гистограмм с распределением по инвариантной массе от толстой W -струи и b -меченной струи для различных МК моделированных фоновых процессов и для экспериментальных данных;
- Отладка процедуры нормировки для фоновых процессов;
- Нахождение поправочного коэффициента расхождения МК данных с экспериментальными данными.



Под **сигнальной областью** подразумевается область в фазовом пространстве, которая определяется выборкой сигнала, где значимость сигнала по отношению к фону максимальна. В данном эксперименте по поиску возбужденного электрона проводится поиск сигнала от конечного состояния $e\nu$.

В зависимости от массы возбужденного электрона существуют разные сигнальные области, оптимизированные для определенного интервала масс. Для каждой сигнальной области определяется несколько **контрольных областей**, соответствующих основным фоновым процессам.

m_e^* GeV	$m_T(E_t^{miss}, J)$ GeV
100-500	50 - 560
500-1000	560 - 850
>1000	>850

Рассматривается контрольная область образования пары топ-антитоп и условия – наличие в событии b-меченных струй.

Определение контрольной области $t\bar{t}$ для конечного состояния $e\nu\bar{\nu}$



Критерии отбора на b -меченные струи

$$p_{t,jet} > 30 \text{ ГэВ} , |\eta|_{jet} < 2.5$$

$$R > 0.5$$

$$R = \sqrt{(\eta_{bjet} - \eta_{Wjet})^2 + (\phi_{bjet} - \phi_{Wjet})^2}$$

Кроме того ставилось условие на количество b -меченных струй в событии: $k \geq 1$.

Идентификация W -струи и ограничения

$$p_{t,J} > 100 \text{ ГэВ} , |\eta|_J < 2$$

$$\text{fatjet0_wtag50_mass_d2}==7$$

Механизм отчистки толстой струи заключается в том, что струя проходит отбор по верхнему и нижнему пределам на массу и проходит успешный отбор на энергетически корреляционную переменную $D2$.

Маркер « W -tag50» оптимизирован для достижения эффективности сигнала 50% с подавлением фона 40–80.

Определение контрольной области ttbar для конечного состояния eν



Ограничения на конечное состояние eν

$p_{t,e} > 65$ ГэВ,

$|\eta|_e < 2.4$

$E_t^{miss} > 100$ ГэВ

$1.37 < |\eta_e| < 1.52$

исключаются

$$m_T(E_t^{miss}, J) = \sqrt{(m^W)^2 + 2 \times (\sqrt{(m^W)^2 + (p_T^W)^2} \times E_t^{miss} - p_x^W \times E_x^{miss} - p_y^W \times E_y^{miss})}.$$

m_e^* GeV	$m_T(E_t^{miss}, J)$ GeV
100-500	50 - 560
500-1000	560 - 850
>1000	>850

Объект	Отбор
b-tag струи	$k \geq 1,$ $p_t > 30$ ГэВ, $ \eta < 2.5$.
Толстая струя	fatjet0_wtag50_mass_d2==7
Электрон	$p_t > 65$ ГэВ, $ \eta < 2.47,$ Исключаются $1.37 < \eta < 1.52,$ accept_el_tight==1.

Процедура нормировки и распределения по инвариантной массе толстой W -струи и b -тагированной струи



Распределения по инвариантной массе толстой и b -меченной струй построено для реальных данных, содержащих значение светимости $L=26.1635 \text{ fb}^{-1}$.

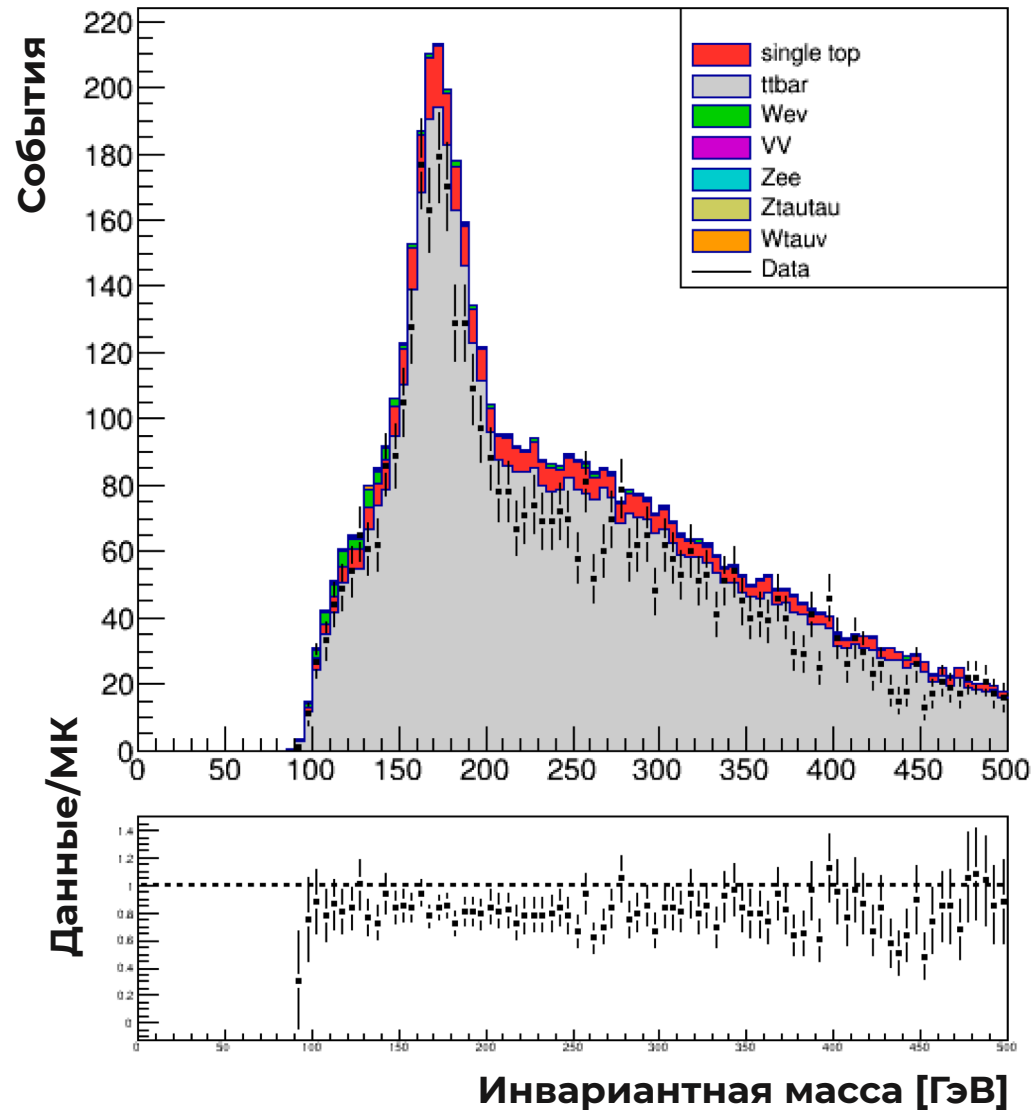
Нормировочный коэффициент

$$Scale = \frac{\sigma \times L \times \epsilon_{gen} \times k_F}{N_{MC}}$$

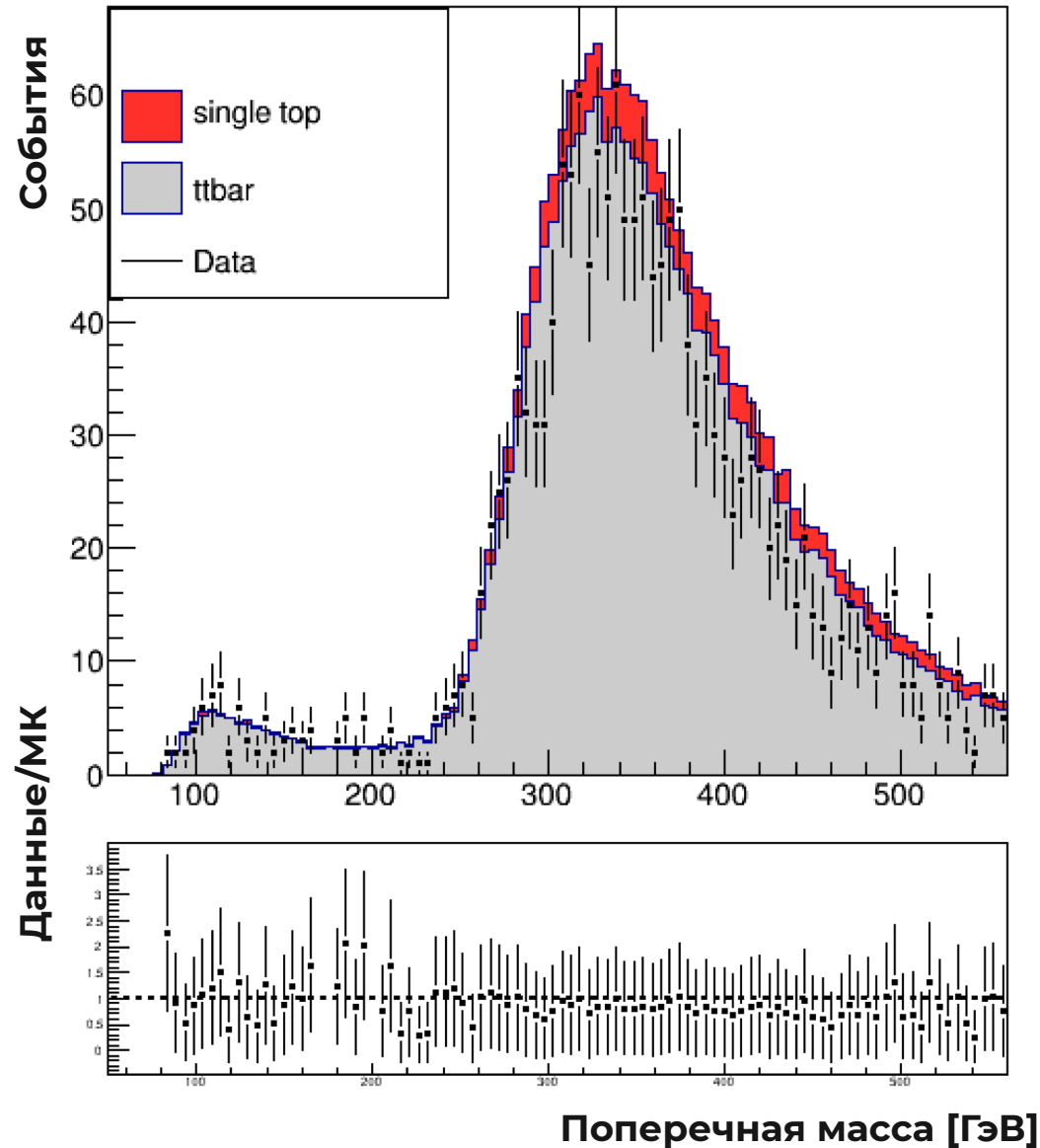
Фоновые процессы

- Образование пары топ-анти топ
- Образование одиночного топ кварка
- Образование двух векторных бозонов
- Образование W -бозона с последующим распадом в e и ν
- Образование Z -бозона с последующим распадом в e^- и e^+
- Образование Z -бозона с последующим распадом в τ^+ и τ^-
- Образование W -бозона с последующим распадом в τ и ν

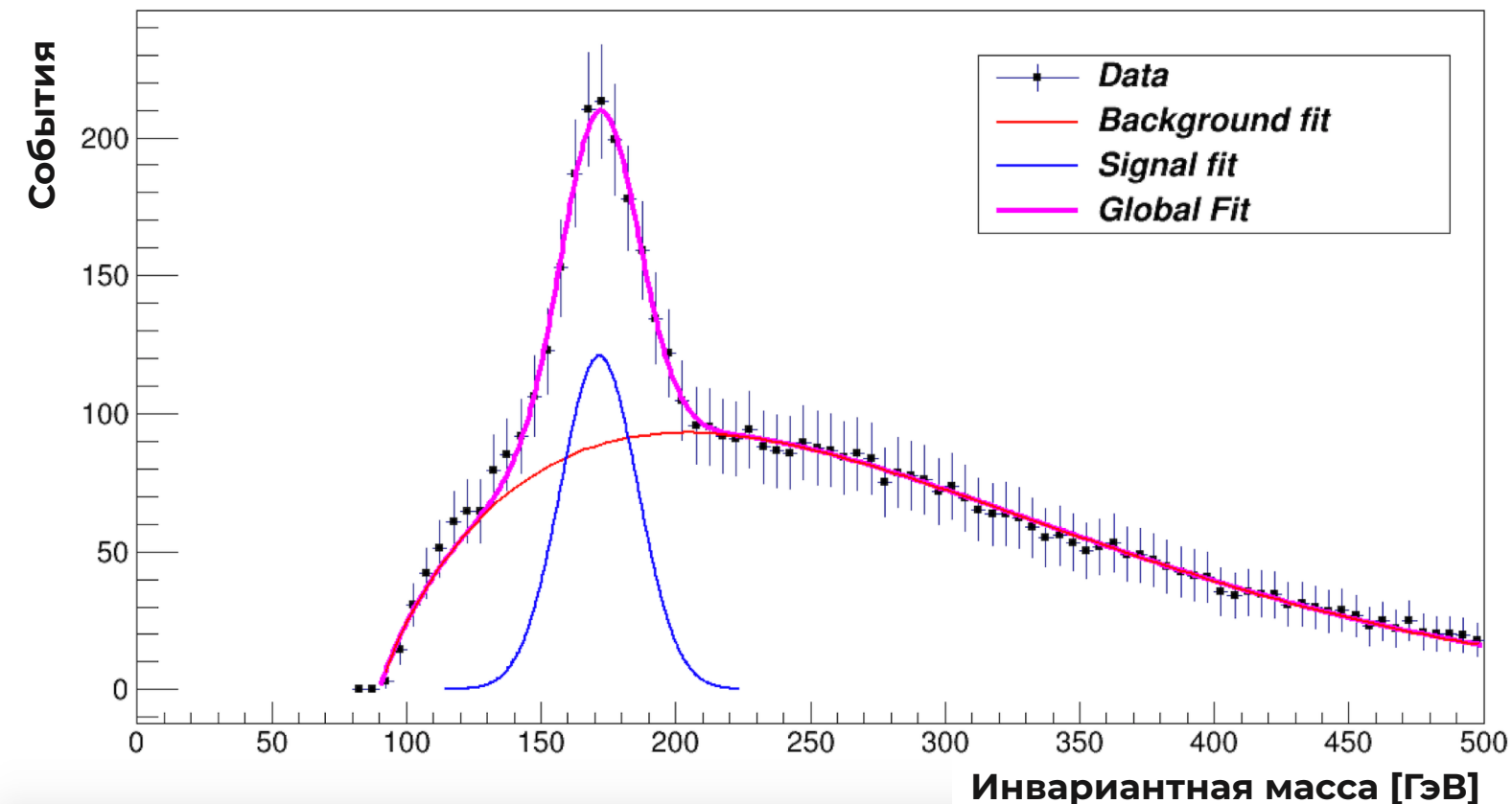
Распределение по инвариантной массе W, b -струй



Распределение по поперечной массе



Фитирование МК данных



$$f_b(x) = p_0(x - 90)^{p_1} \times (p_2 - x + 90)^{p_3}$$

$$f_s(x) = const \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

Параметр	Значение	Ошибка
p_0	1.05878e-15	6.80110e-16
p_1	8.51926e-01	4.53999e-02
p_2	8.26428e+02	2.72026e+01
p_3	5.32531e+00	8.63736e-02
$const$	1.20897e+02	1.08006e+01
μ	1.71710e+02	1.30882e+00
σ	1.43753e+01	1.46504e+00

Определение поправочного коэффициента

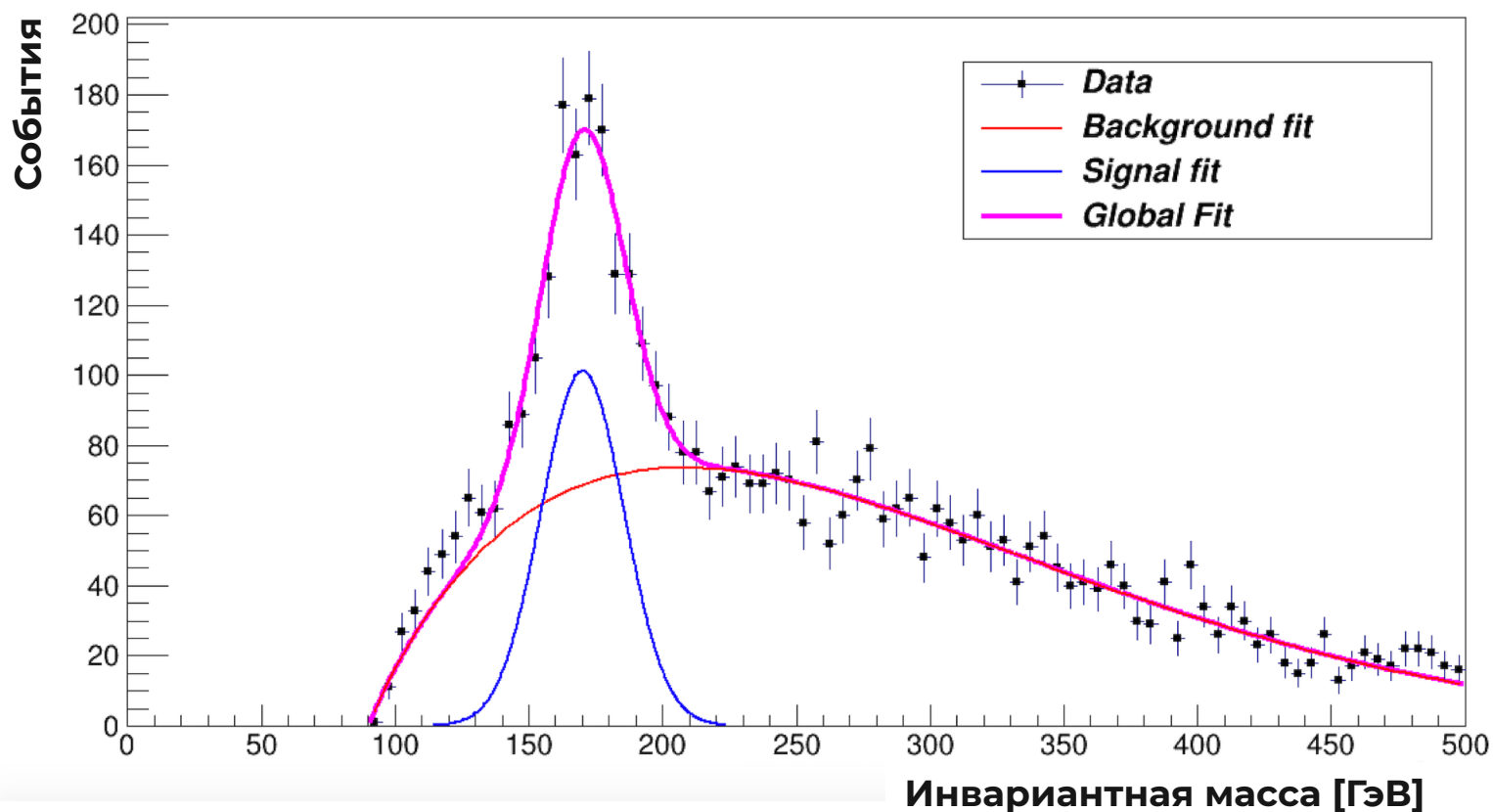


Фитирование экспериментальных данных

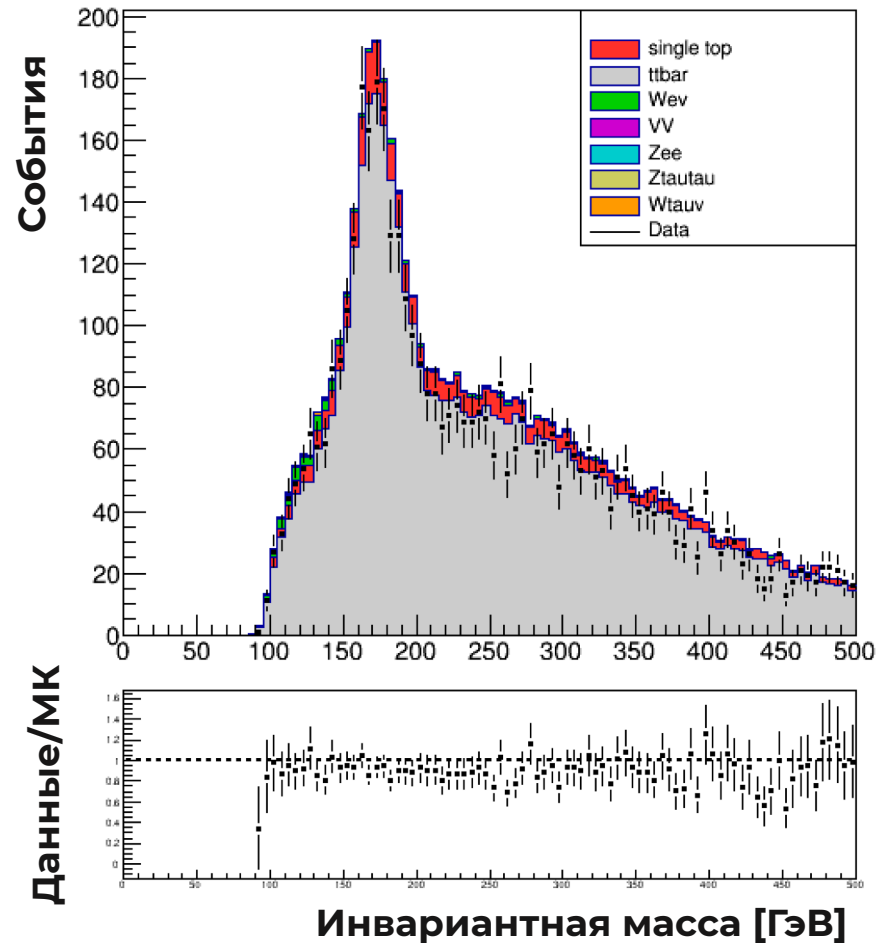
$$f_b(x) = p_0(x - 90)^{p_1} \times (p_2 - x + 90)^{p_3}$$

$$f_s(x) = const \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

Параметр	Значение	Ошибка
p_0	4.39330e-16	1.88456e-16
p_1	9.24992e-01	3.39623e-02
p_2	8.05515e+02	1.87886e+01
p_3	5.39537e+00	5.88738e-02
$const$	1.01179e+02	6.79156e+00
μ	1.70168e+02	9.74465e-01
σ	1.54978e+01	1.26107e+00



Определение поправочного коэффициента



$$\begin{aligned} \text{Интеграл(МК)} &= 4300 \pm 400 \\ \text{Интеграл(Данные)} &= 3900 \pm 300 \end{aligned}$$

$$k = 0.90 \pm 0.10$$

Распределение по инвариантной массе W-струи и b-меченной струи с учетом корректировки

В рамках работы изучены методы мечения струй, образованных b -кварком, механизмы отчистки от фона толстой струи.

- Определены **критерии отбора** на b -меченные струи, толстые струи и электрон. Для конечного состояния $e\nu\bar{\nu}$ **определена контрольная область** процесса образования пары топ-анти топ.
- Построены гистограммы с распределением **по инвариантной массе** от толстой W -струи и b -меченной струи для различных МК моделированных фоновых процессов и для экспериментальных данных.
- Проведена **отладка процедуры нормировки** для фоновых процессов, оценены вклады фоновых процессов в контрольную область.
- Также для нахождения коэффициента расхождения МК данных с реальными данными проводилось **фитирование** полученных распределений, вследствие чего посчитан интеграл от сигнального пика.

Получено значение поправочного коэффициента:

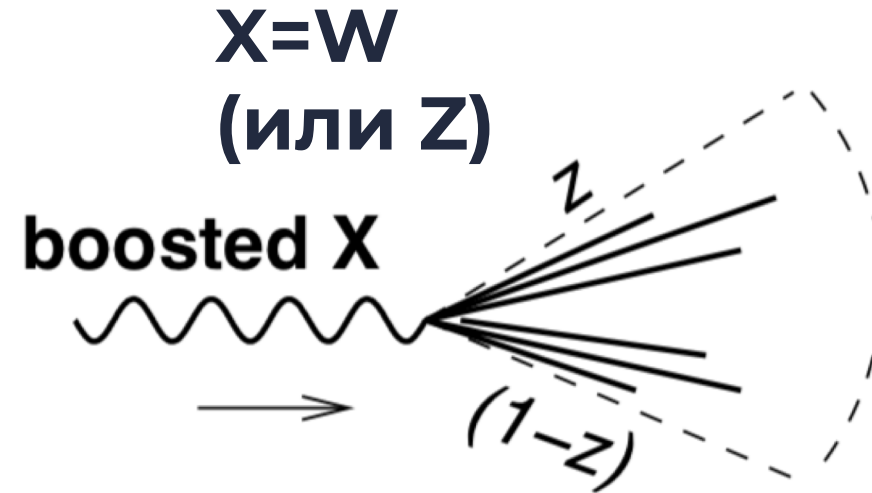
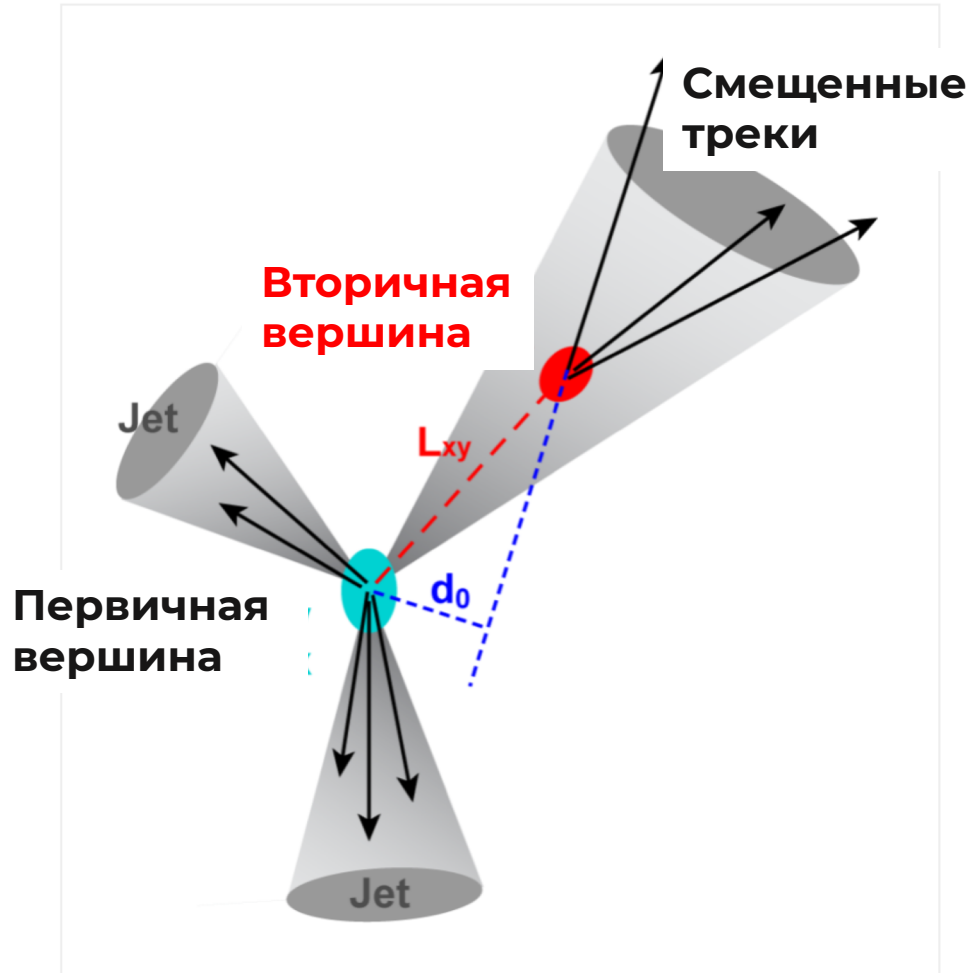
$$k = 0.90 \pm 0.10$$

В результате было построено распределение по инвариантной массе с учетом корректировки.

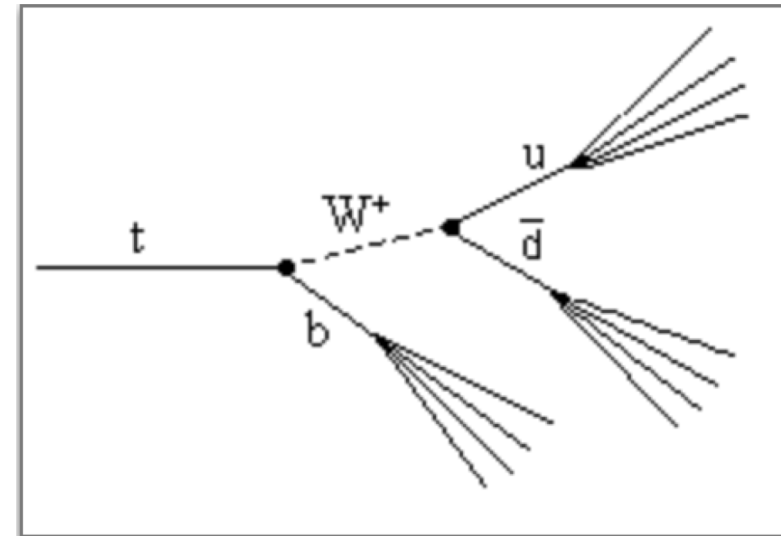
Дополнительные слайды



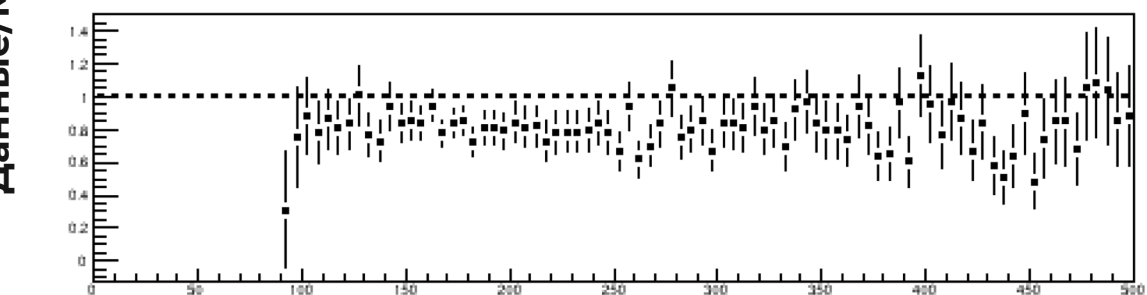
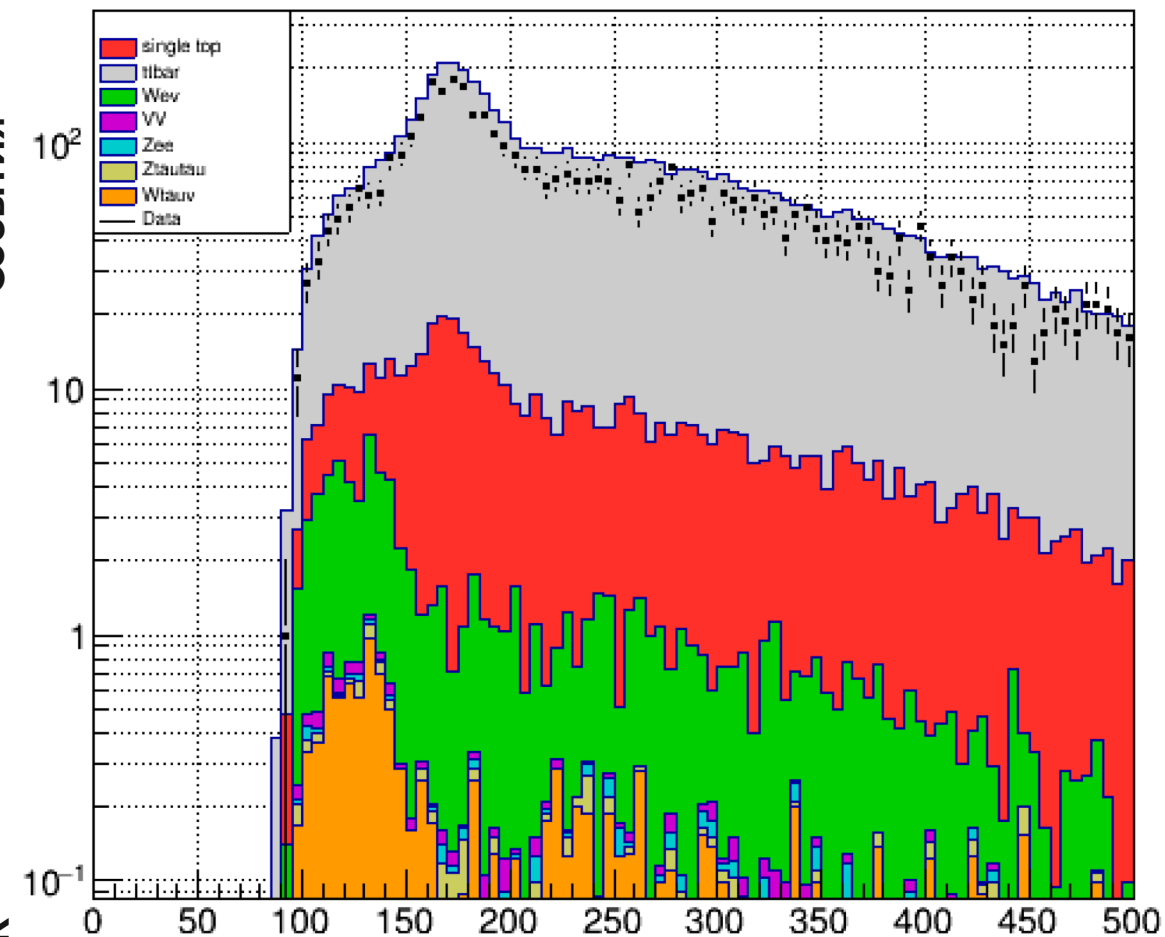
b-мечение. Толстые струи



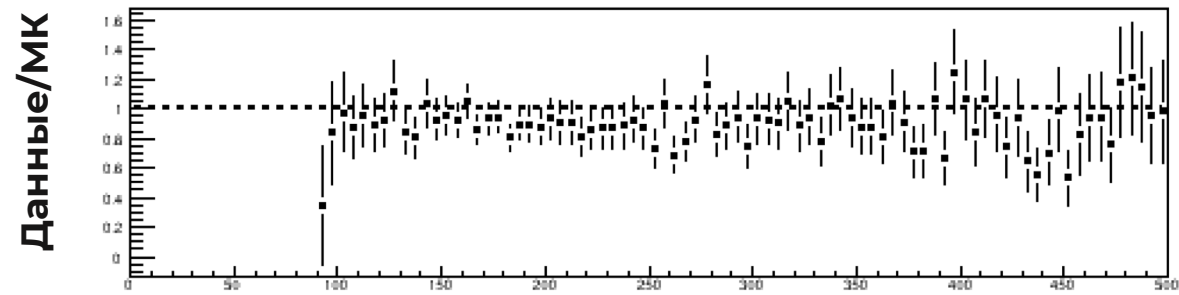
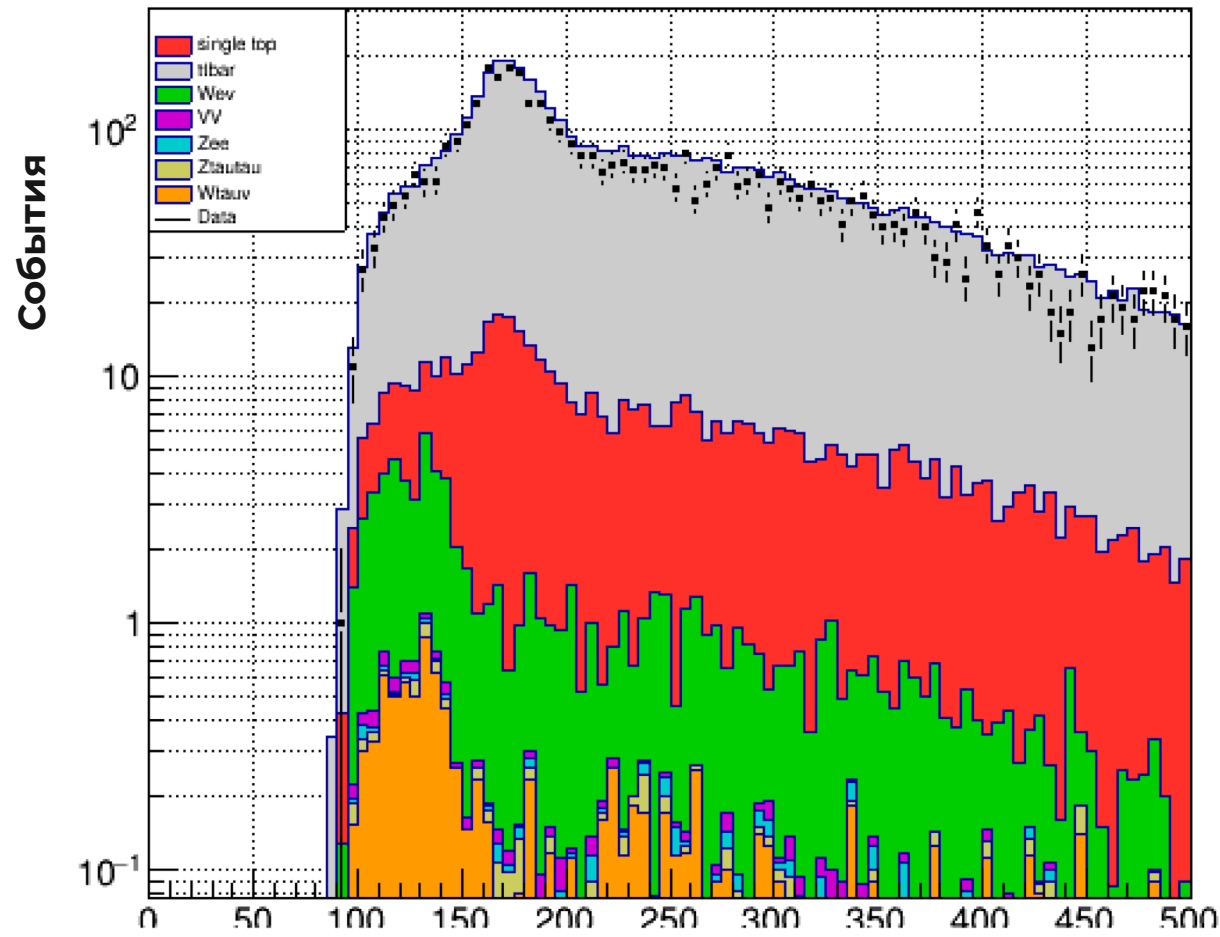
Одиночная толстая струя



Распределение по инвариантной массе W,b-tag струй



Инвариантная масса [ГэВ]



Инвариантная масса [ГэВ]