

МГУ им. М.В. Ломоносова
Физический факультет
Кафедра общей ядерной физики

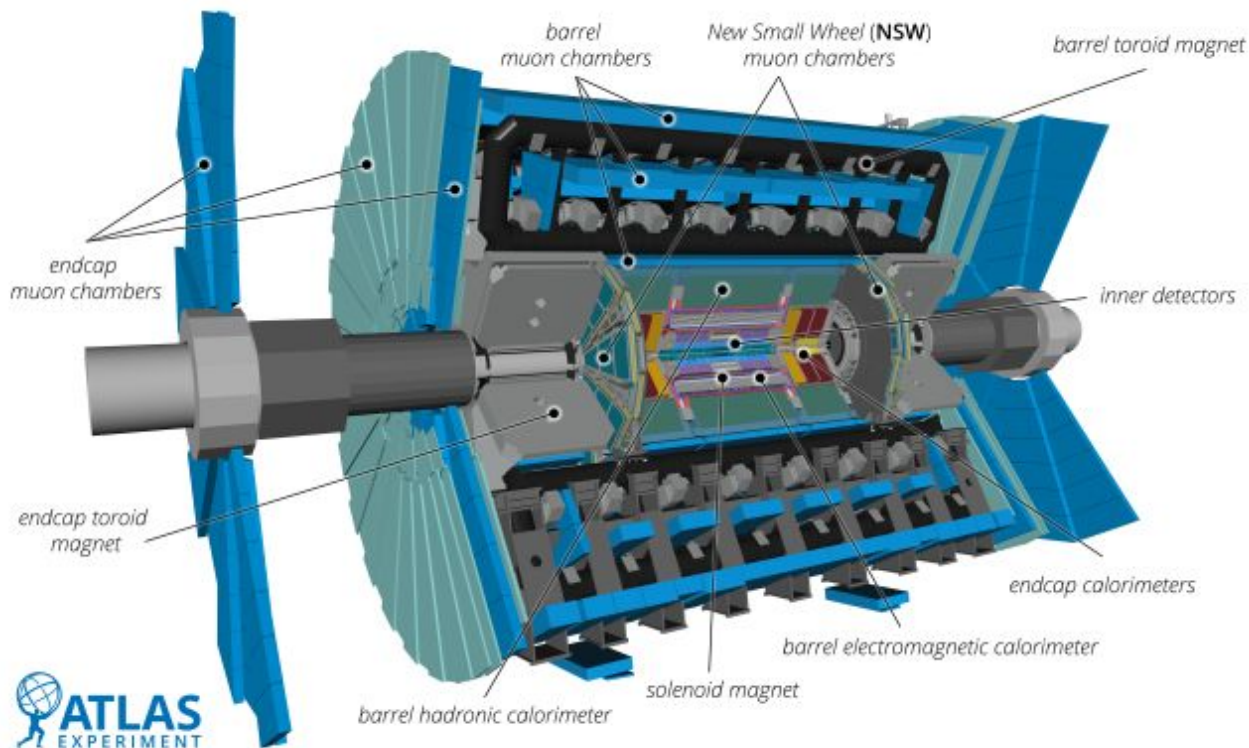
ПОИСК РОЖДЕНИЯ ТРЁХ W БОЗОНОВ В РР СОУДАРЕНИЯХ ПРИ ЭНЕРГИИ 13 ТэВ

Выполнил
студент 413 группы
Фадеевко Богдан Александрович

Научный руководитель:
д.ф.-м.н.
Смирнова Лидия Николаевна

Москва, 2023

Эксперимент ATLAS Большого адронного коллайдера



Большое количество рождений векторных бозонов дает возможность исследовать не только одиночное, но и множественное рождение бозонов

Структура детектора ATLAS в сеансе Run 3

Рождение векторных бозонов в pp соударениях

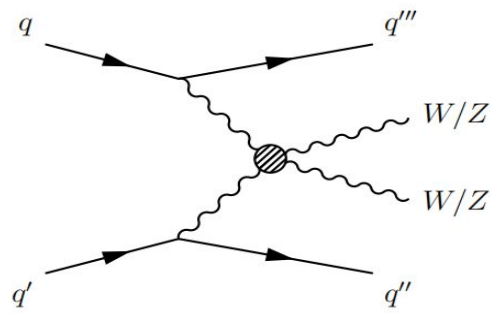
- Векторные бозоны W и Z являются переносчиками электрослабого взаимодействия, с массами $80,377 \pm 0,012$ ГэВ и $91,1876 \pm 0,0021$ ГэВ соответственно. Были открыты в 1983 году на коллайдере SPS.
- Большое количество рожденных векторных W и Z бозонов дает возможность исследовать не только одиночное, но и множественное рождение бозонов в сопровождении струй и без.
- W бозоны имеют лептонный и адронный канал распада:

$$Br(W \rightarrow e^\pm \nu) = (10.71 \pm 0.16)\%$$

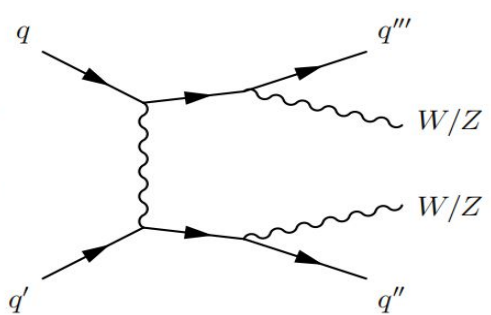
$$Br(W \rightarrow \mu^\pm \nu) = (10.63 \pm 0.15)\%$$

$$Br(W \rightarrow qq') = (67.41 \pm 0.27)\%$$

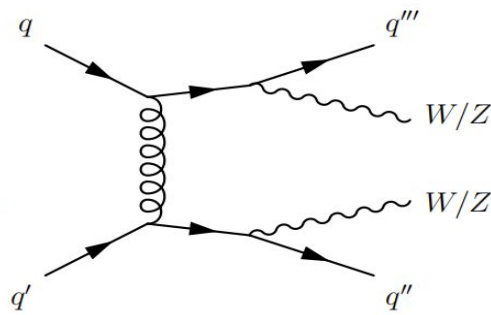
Процессы рождение пар бозонов в сопровождении струй и



(a)

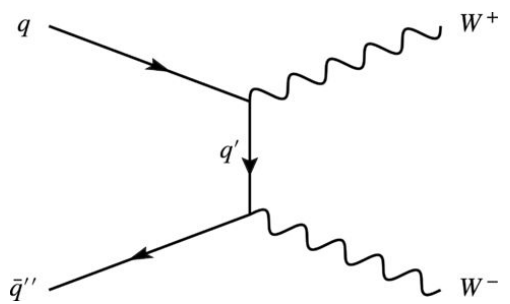


(b)



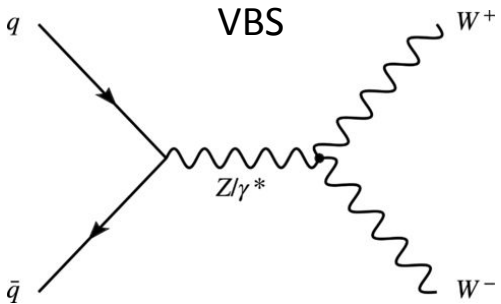
(c)

Электрослабое рождение с
рассеянием VBS



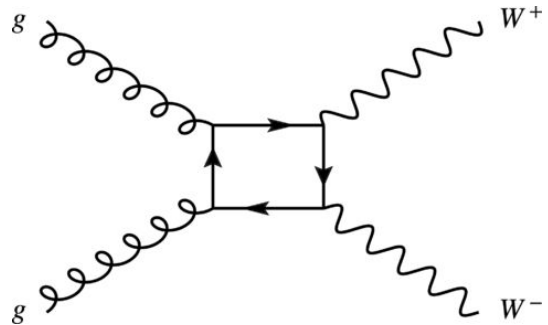
t-канал

Электрослабое рождение без рассеяния
VBS



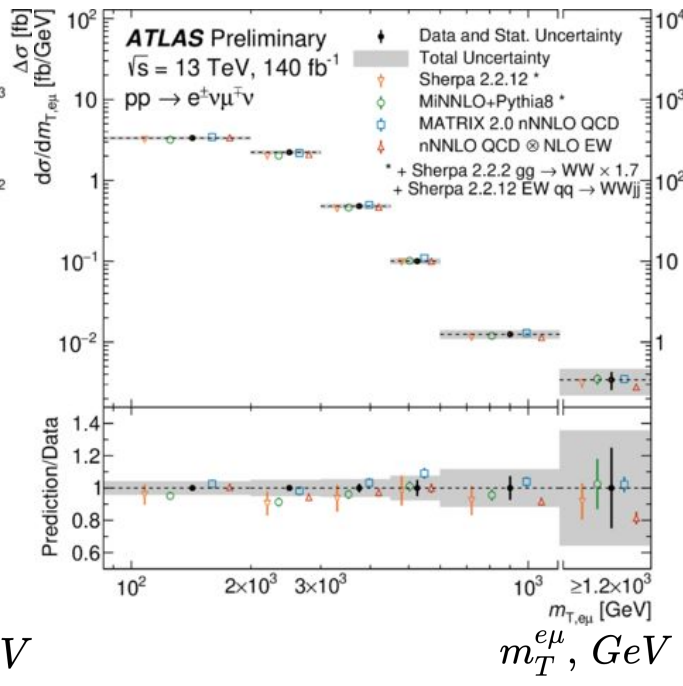
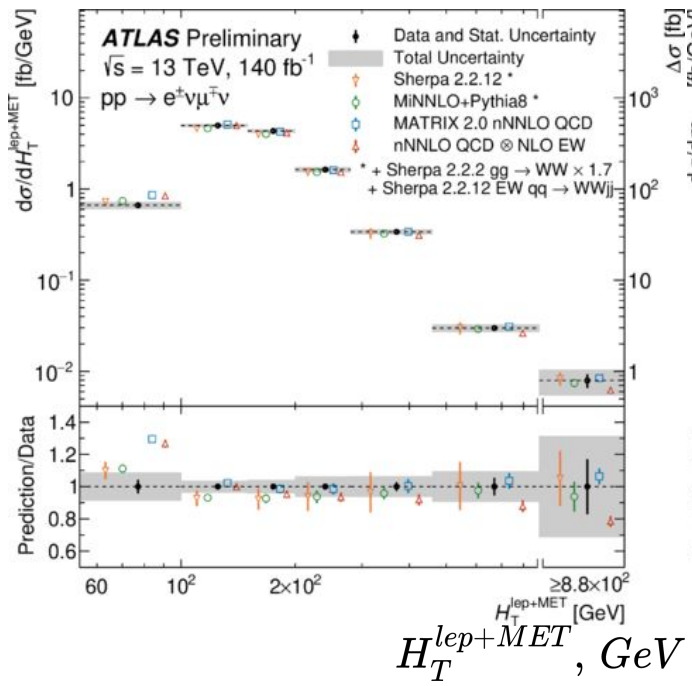
s-канал

КХД рождение



Глюонное взаимодействие

Дифференциальные сечения рождения пар WW при 13 ТэВ по H_T и $m_{T,\mu}$



Отбор

- $|\eta^l| < 2.5; m_{e\mu} > 55 \text{ ГэВ}; p_T^{e\mu} > 30 \text{ ГэВ}$
- $E_T^{miss} > 20 \text{ ГэВ}$
- отсутствие струй с $p_T > 35 \text{ ГэВ}, |\eta| < 4.5$

Измеренные сечения рождения WW

$pp \rightarrow WW \rightarrow e^+\nu\mu^+\bar{\nu}$

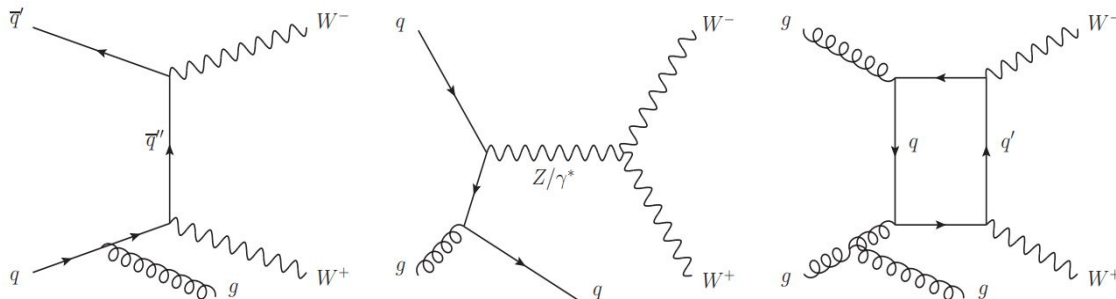
$\sigma_{fid} = 707 \pm 7 \pm 20 \text{ фб}$

$\sigma_{tot} = 127 \pm 4 \text{ пб}$

$$H_T^{lep+MET} = \sum_{l=1} |p_{T_l}^{\vec{}}| + |E_T^{miss}|; m_{T,\mu}^{e\mu} = \sqrt{(E_T^{e\mu} + E_T^{miss})^2 - (p_{T,\mu}^{\vec{}} + p_{T,\mu}^{\vec{}})^2}$$

ATLAS-CONF-2023-012

Спектры для событий с парами WW и ≥ 1 струй



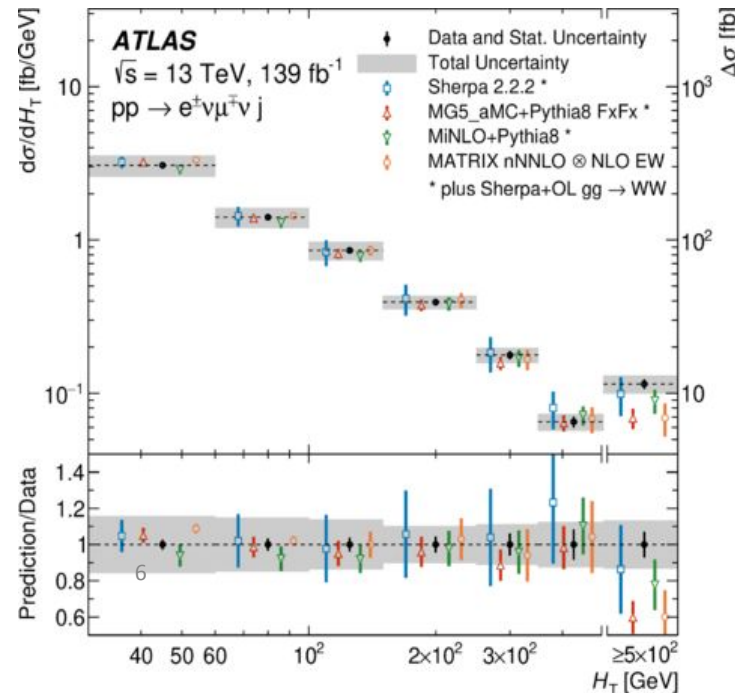
Рождение пар WW в сопровождении струй

Отбор

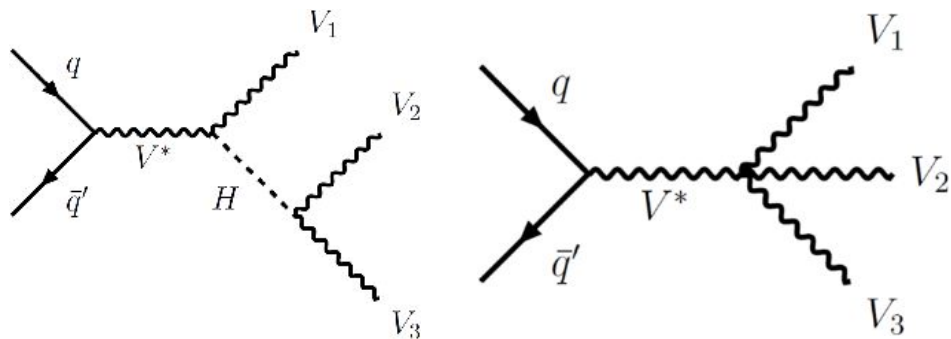
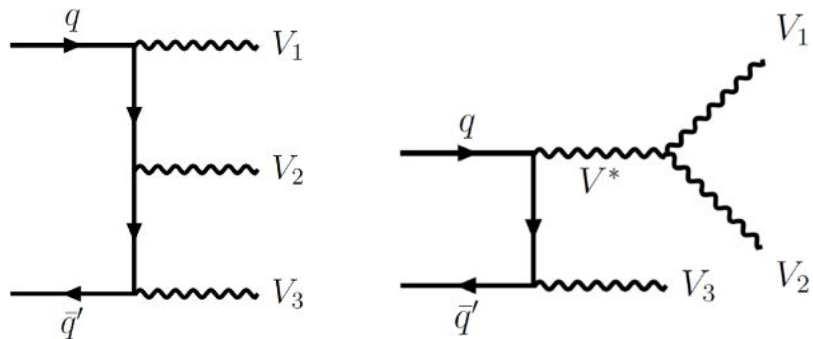
$$p_T^l > 27 \text{ ГэВ}, |\eta^l| < 2.5, m_{e\mu} > 85 \text{ ГэВ}$$

$$p_T^j > 30 \text{ ГэВ}, |\eta^j| < 4.5$$

$$\sigma_{fid} = 258 \pm 4 \pm 25 \text{ фб}$$



Процессы рождения трех WWW бозонов



$$p_T^l > 20 \text{ ГэВ}, |\eta| < 2.47 \text{ (2.5)}$$

исключая электроны из $1.37 < |\eta| < 1.52$

$$p_T^j (|\eta| > 2.5) > 30 \text{ ГэВ}, p_T^j (|\eta| < 2.5) > 20 \text{ ГэВ}$$

$$\sigma_{pp \rightarrow WWW} = 820 \pm 100 \pm 80 \text{ фб}$$

$$\sigma_{SM} = 511 \pm 18 \text{ фб, где}$$

$$\sigma_{on-shell} = 209 \pm 17 \text{ фб,}$$

$$\sigma_{off-shell} = 302 \pm 8 \text{ фб,}$$

	$e^\pm e^\pm$	$e^\pm \mu^\pm$	$\mu^\pm \mu^\pm$	3ℓ
WWW signal	28.4 ± 4.3	124 ± 19	82 ± 12	34.8 ± 5.2
WZ	81.1 ± 5.7	346 ± 22	170 ± 10	16.4 ± 1.5
Charge-flip	31.1 ± 7.3	19 ± 5	...	1.7 ± 0.4
γ conversions	60.8 ± 8.5	139 ± 15	...	1.5 ± 0.1
Nonprompt	17.0 ± 4.0	145 ± 23	104 ± 21	26.6 ± 2.9
Other	22.3 ± 2.4	100 ± 10	58 ± 6	8.0 ± 0.9
Total predicted	241 ± 11	873 ± 22	415 ± 17	89.0 ± 5.4
Data	242	885	418	79

ATLAS Open Data

Энергия соударения $\sqrt{s} = 13$ ТэВ

Интегральная светимость $L_{int} = 10$ фб⁻¹

Final-state categories	Leading object p_T (min) [GeV]	Collection name
$N_\ell = 1$	25	1lep
$N_\ell \geq 2$	25	2lep
$N_\ell = 3$	25	3lep
$N_\ell \geq 4$	25	4lep
$N_{\text{largeRjet}} \geq 1 \ \& \ N_\ell = 1$	250 (large- R jet), 25 (lepton)	1largeRjet1lep
$N_{\tau\text{-had}} = 1 \ \& \ N_\ell = 1$	20 (τ_h), 25 (lepton)	1lep1tau
$N_\gamma \geq 2$	35	GamGam

Анализ событий открытых данных ATLAS с тремя лептонами с высокими p_T (WWW, Монте-Карло WZ)

1. Наличие ровно 3 лептонов.
2. Для лептонов $p_t > 20$ ГэВ, $p_{t_{lead}} > 25$ ГэВ
3. $E_t^{miss} > 30$ ГэВ, $m_t^W > 30$ ГэВ в канале WZ
4. $|\eta| < 2.47$ (2.5), исключая электроны из $1.37 < |\eta| < 1.52$
5. $\left| \frac{d_0}{\sigma_{d_0}} \right| < 5$ (3), $|z_0 \sin(\theta)| < 0.5$ мм
6. $\left| \frac{p_{t_{cone30}}}{p_t} \right| < 0.15$
7. $\sum q_l = \pm 1$
8. Отсутствие / наличие Z бозона.
9. Присутствуют струи с $p_T > 20$ ГэВ и $|\eta| < 2.5$

Характеристики, используемые в анализе

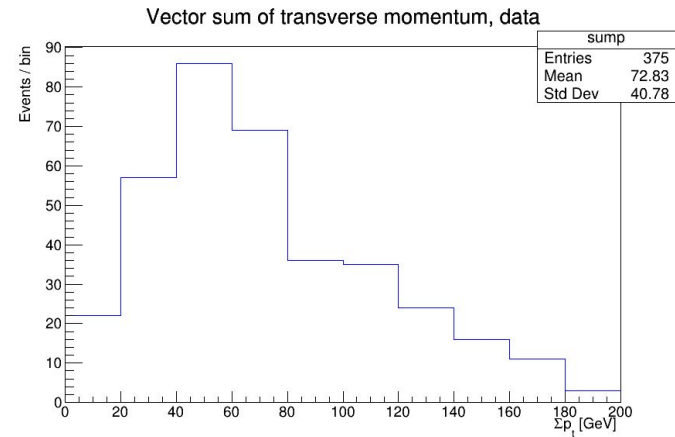
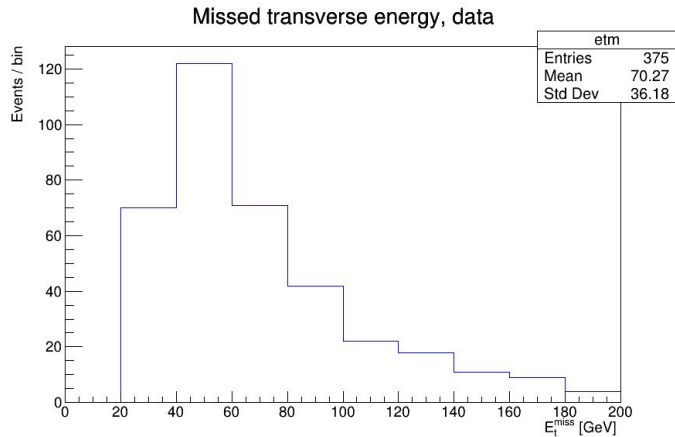
$$|\vec{p}_{t_{III}}| = \left| \sum_{l=1}^3 \vec{p}_{t_l} \right|; E_t^{\vec{miss}} = - \sum_{i=1}^N \vec{p}_{t_i} = \vec{p}_{t_{VVV}}$$

$$H_t = \sum_{l=1}^3 |\vec{p}_{t_l}|$$

$$m_t^{WZ} = \sqrt{\left(\sum_{l=1}^3 p_t^l + E_t^{\vec{miss}} \right)^2 - \left[\left(\sum_{l=1}^3 p_x^l + E_x^{\vec{miss}} \right)^2 + \left(\sum_{l=1}^3 p_y^l + E_y^{\vec{miss}} \right)^2 \right]}$$

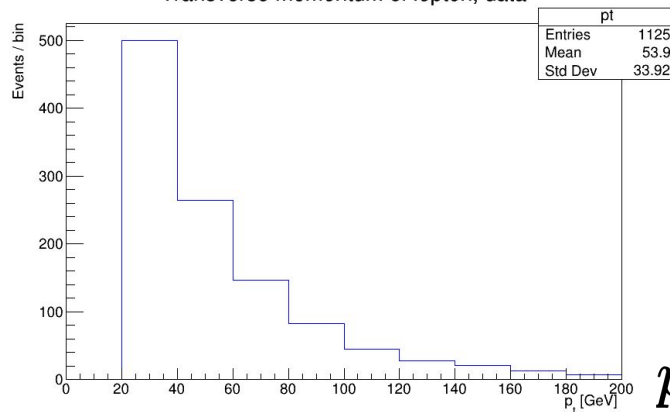
$$m_t^{WWW} = \sqrt{4 \left(\sum_{l=1}^3 p_t^l \right)^2 - \left[\left(\sum_{l=1}^3 p_x^l + E_x^{\vec{miss}} \right)^2 + \left(\sum_{l=1}^3 p_y^l + E_y^{\vec{miss}} \right)^2 \right]}$$

Общие кинематические характеристики событий с тремя лептонами (WWW, отобрано 375 событий)



E_t^{miss} , GeV

Transverse momentum of lepton, data

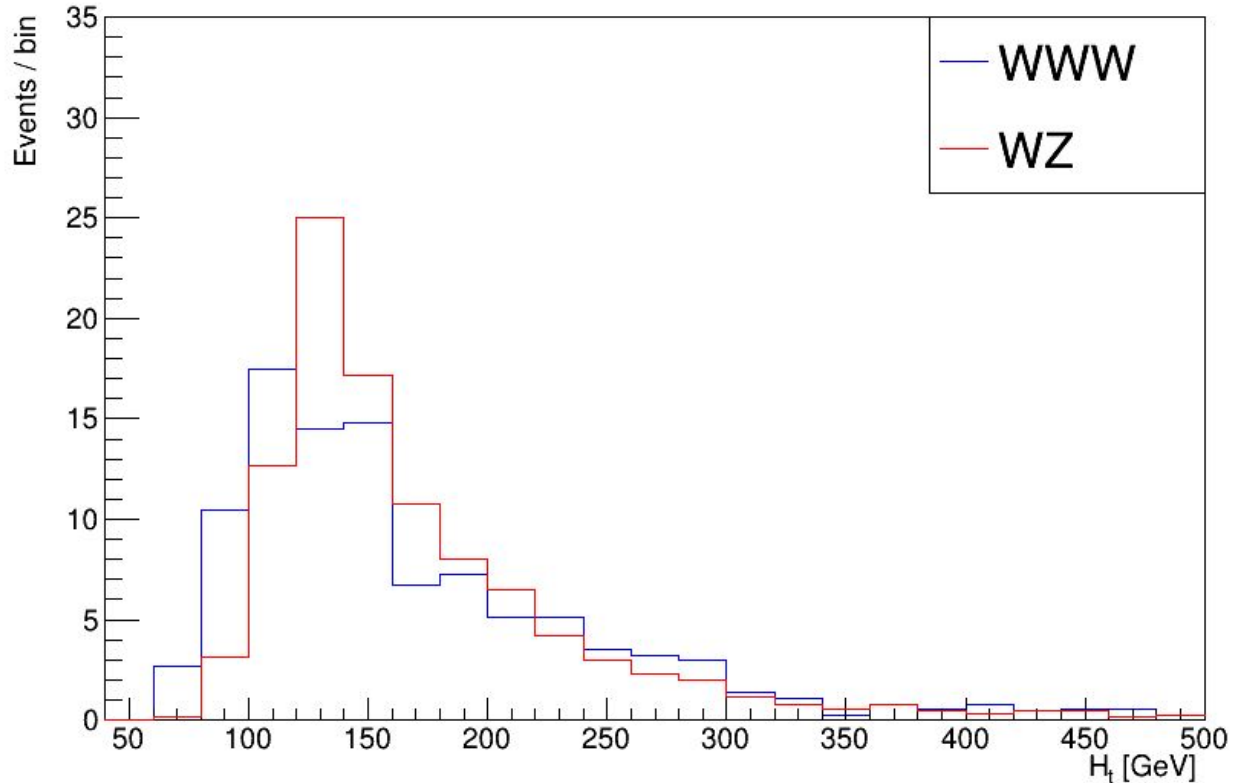


p_t , GeV

$$\left| \sum_{l=1}^3 \vec{p}_{t_l} \right|, \text{ GeV}$$

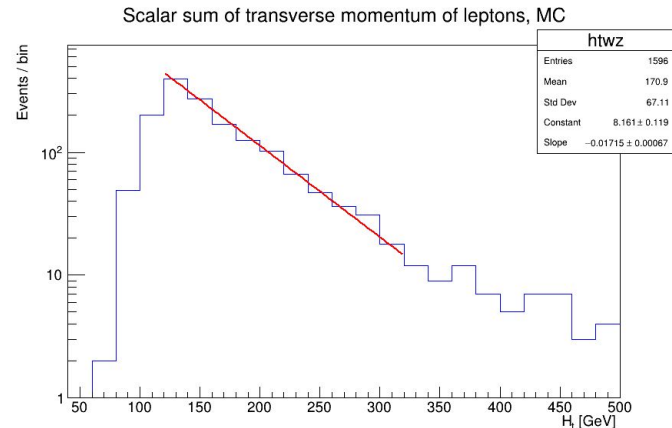
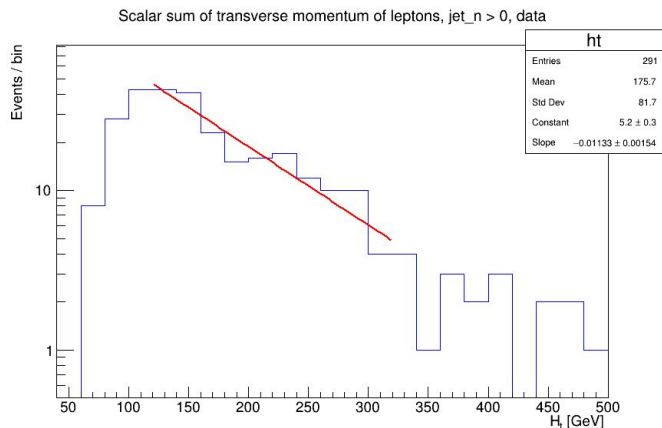
Распределение H_t в событиях с WWW и WZ

Scalar sum of transverse momentum of leptons, data



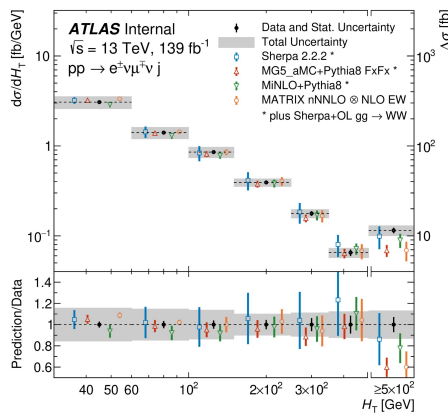
Гистограммы нормированы по площади. Событий с WZ - 1596

Распределение H_t в событиях с WWW и WZ в логарифмическом масштабе



$$a_{WWW+j} = -0.01133 \pm 0.00154$$

$$f(x) = e^{ax+b}$$



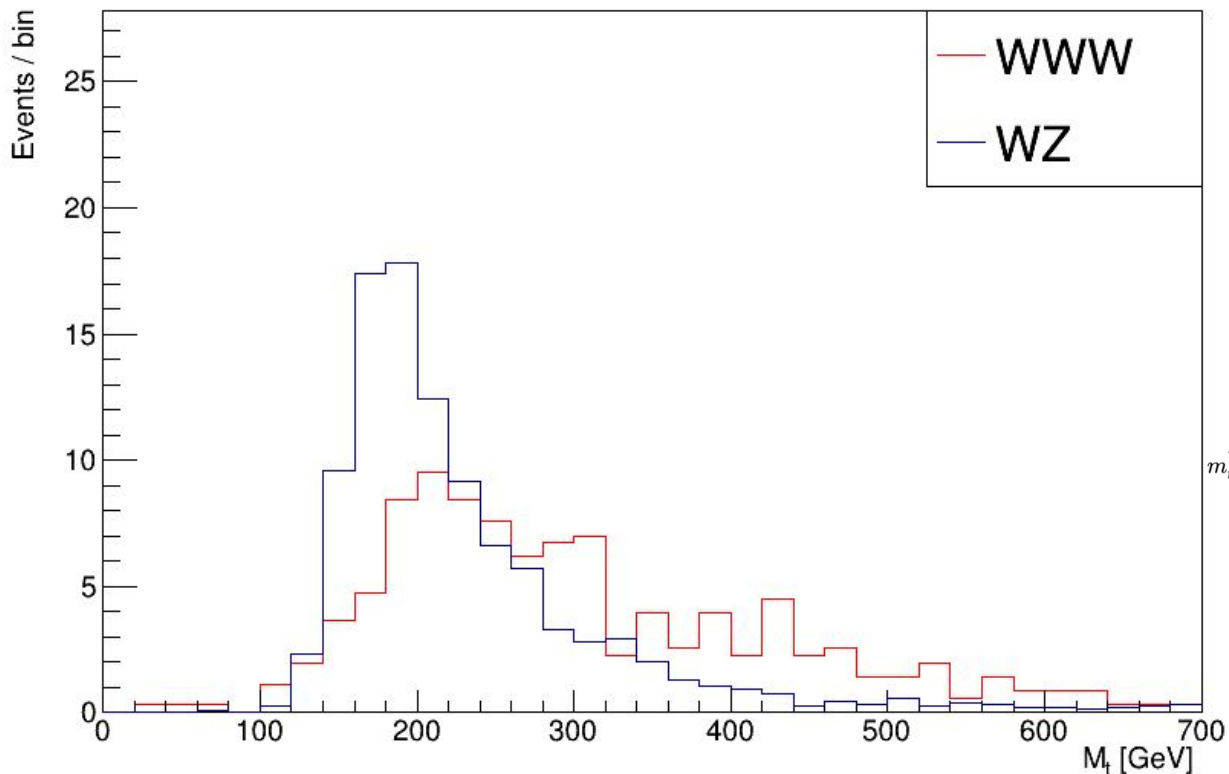
$$a_{WZ} = -0.01715 \pm 0.00067$$

Распределение H_t в событиях с $WW+j$

$$a_{WW+j} \sim 0.011$$

Распределение поперечных масс m_t в событиях WWW и WZ

Transverse mass of WWW and WZ



Гистограммы нормированы по площади

Поперечная масса WWW была получена в предположении равенства суммы модулей поперечных импульсов трех заряженных лептонов и трех нейтрино

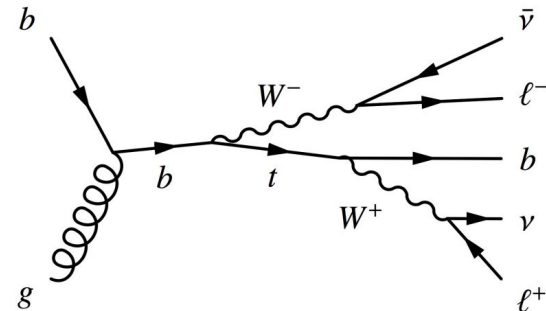
$$m_t^{WWW} = \sqrt{4 \left(\sum_{l=1}^3 p_l^l \right)^2 - \left[\left(\sum_{l=1}^3 p_x^l + E_x^{miss} \right)^2 + \left(\sum_{l=1}^3 p_y^l + E_y^{miss} \right)^2 \right]}$$

Зарядовая асимметрия в рождении WWW

Количество событий с разными зарядовыми СОСТОЯНИЯМ

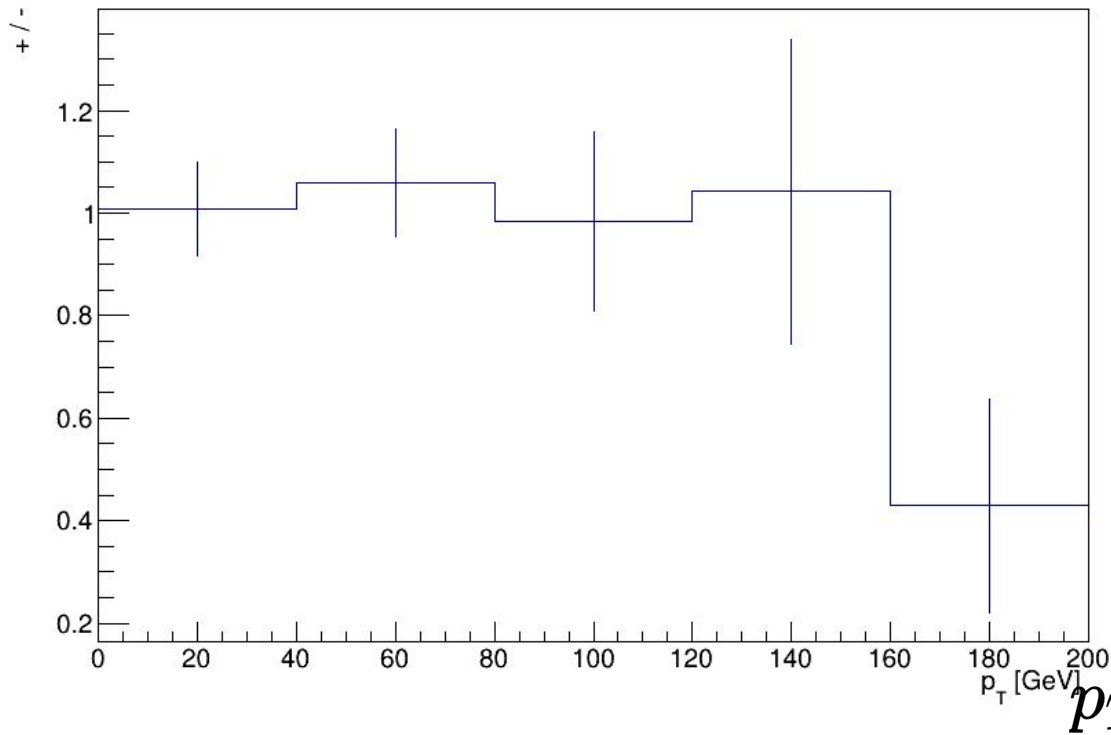
Σq_l	-1	+1	$\frac{N_{W^+}}{N_{W^-}}$
N_{WZ}	672 ± 26	924 ± 30	1.38 ± 0.10
N_{WWW}	186 ± 14	189 ± 14	1.02 ± 0.15
A_c^{WZ}	Eur. Phys. J. C (2019) 79:535		1.47 ± 0.05

$$\frac{\sigma_{W^+}}{\sigma_{W^- \text{ incl}}} = 1.295 \pm 0.003 \pm 0.010$$



Отношение распределений по p_T положительно и отрицательно заряженных лептонов

Charge assymetry, data



В предположении $A_W = 1.295$:

$$\frac{N_+}{N_-} = 1.09$$

В гистограмме:

$$\frac{N_+}{N_-} ([40; 80] \text{ ГэВ}) = 1.06 \pm 0.10$$

По результатам измерений сечений рождения WWW ожидаемое количество событий ожидается от 6 до 26

p_T , ГэВ

Заключение

- Приведены результаты работ по измерению множественного рождения векторных бозонов (W и Z) в эксперименте ATLAS.
- Выполнен анализ событий с тремя лептонами в открытых данных эксперимента ATLAS, кандидатов событий с тремя W бозонами.
- Анализ кинематических характеристик показал наличие более массивной системы частиц в наборе с тремя заряженными лептонами - кандидатов рождения WWW , чем в распределении для WZ .
- Зарядовая асимметрия для системы трех лептонов отсутствует для суммы событий. В отношении спектров лептонов в интервале p_t от 40 до 80 ГэВ не противоречит предположению зарядовой асимметрии в инклюзивном процессе и парах WZ .
- В отобранных событиях доминируют фоновые процессы к рождению трех W бозонов.

Спасибо за внимание!