

Поиск новых векторных бозонов в pp взаимодействиях при энергии 13 ТэВ

Студ. Н.М.Артемяева, асп. И.А.Кочергин, проф. Л.Н.Смирнова,
студ. Б. .Фадееенко

Ломоносовские чтения 2022, 21 апреля

МОТИВАЦИЯ ПОИСКА

- 2022г. – десять лет с момента открытия бозона Хиггса и успешного завершения создания Стандартной модели (СМ) описания электрослабых и сильных фундаментальных взаимодействий
- Всё это время измерения на БАК успешно подтверждают справедливость предсказаний СМ до высоких порядков электрослабой теории (EW) и квантовой хромодинамики (КХД) NNNL
- Теоретики предлагают новые модели, включающие открытый бозон Хиггса как частный случай большего семейства бозонов и другие классы частиц, определяемые как свидетельства «новой физики»
- Мотивацию поиска определяют общее несовершенство СМ, космологические данные, нейтринные осцилляции, ...

Методы поиска резонансных состояний

1. Безмодельный анализ распределений инвариантных масс групп частиц, поиск избытка событий над общим гладким распределением
2. Использование событий, смоделированных методом Монте-Карло, для сигнальных и фоновых событий для проверки конкретных моделей новой физики путем сравнения с экспериментальными распределениями в областях верификации фонов и области ожидаемого сигнала
3. Применение методов нейронных сетей для выделения сигнала при высоком уровне фоновых событий СМ и использование машинного обучения для безмодельного поиска резонансов

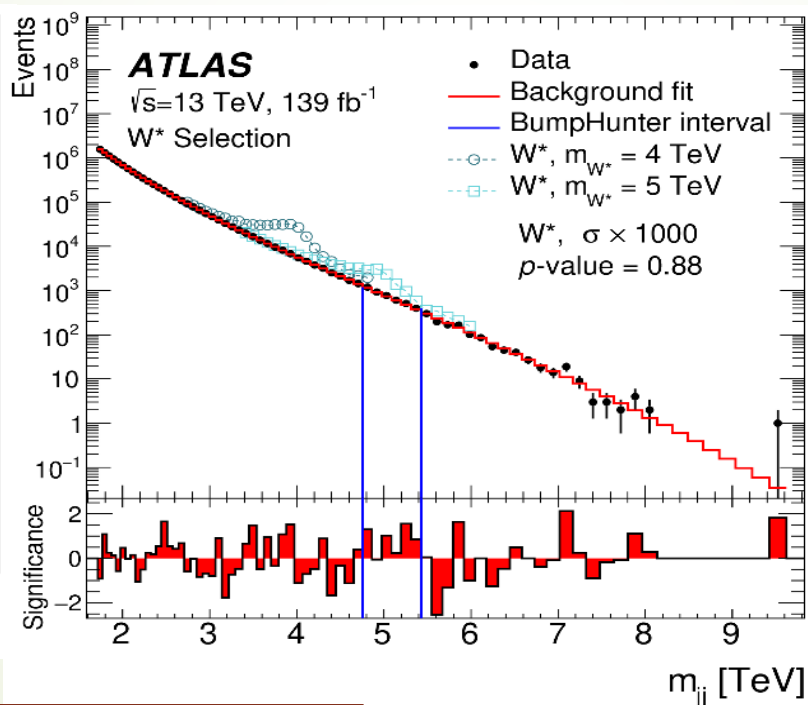
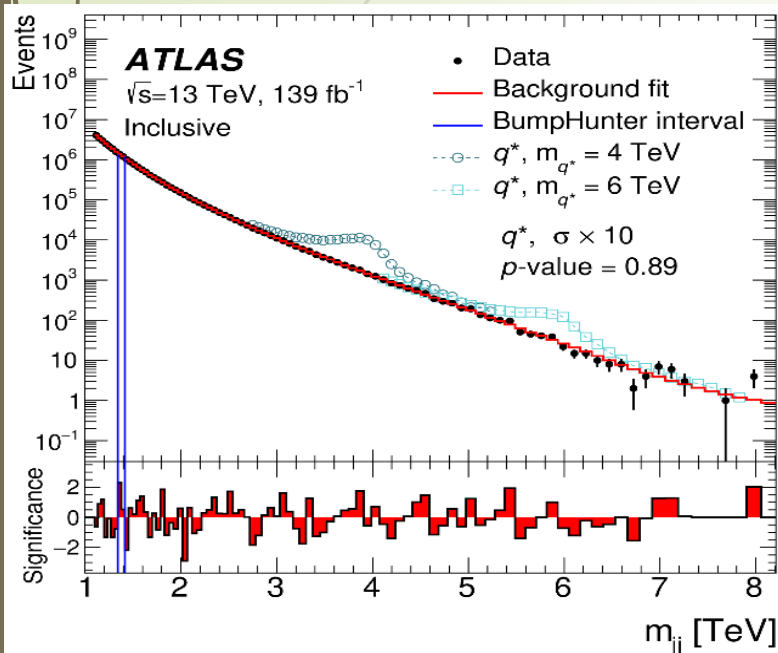
Поиск новых резонансов в системе двух адронных струй в pp взаимодействиях при 13 ТэВ

JHEP 03 (2020)145, arxiv;1910.08447

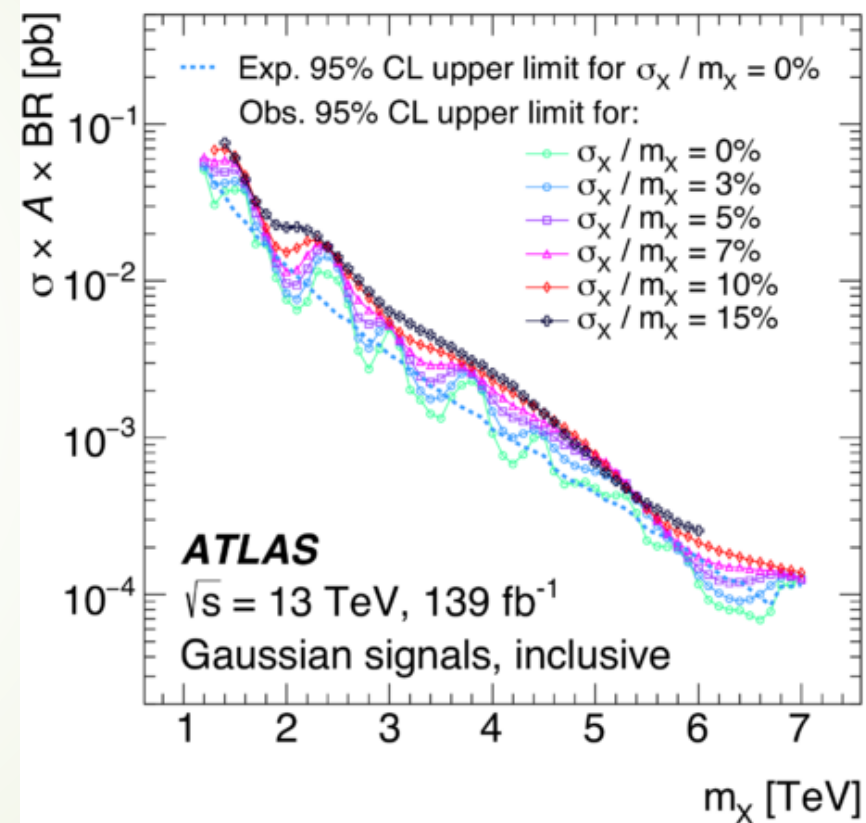
ИНКЛЮЗИВНЫЙ АНАЛИЗ

$$y^* < 0,6$$

$$y^* < 1,2$$

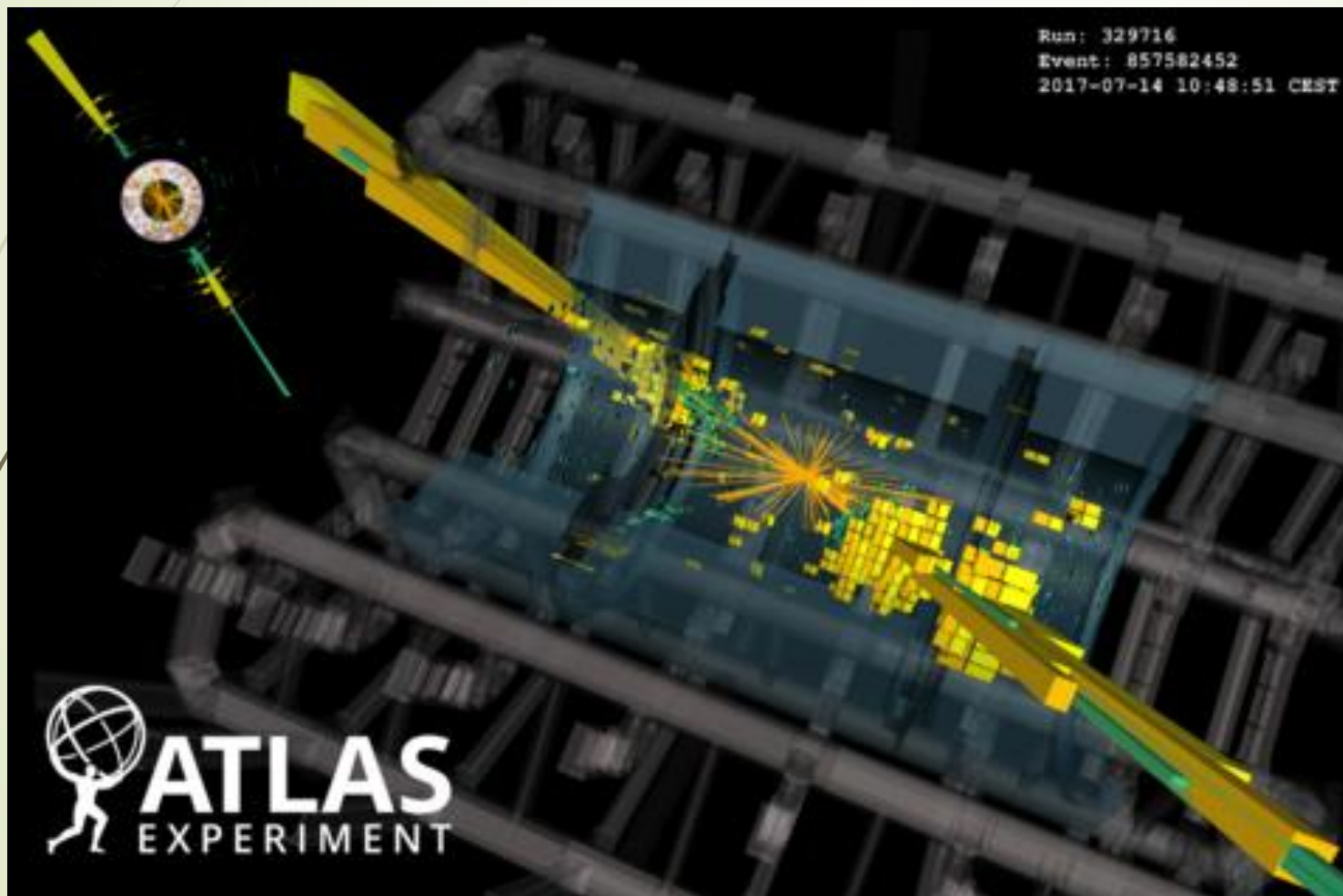


$$y^* = (y_1 - y_2)/2$$



Нижние границы сечений $\sigma_X A \times Br$ для резонансов гауссовской формы и разной ширины

Событие pp соударения с образованием двух струй с p_T 3,0 и 2,9 ТэВ и $\eta = -1,2$ и 0,9, масса $m_{jj} = 9,5$ ТэВ



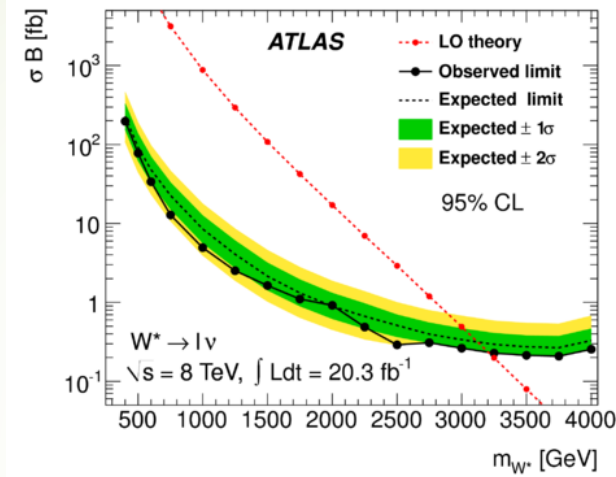
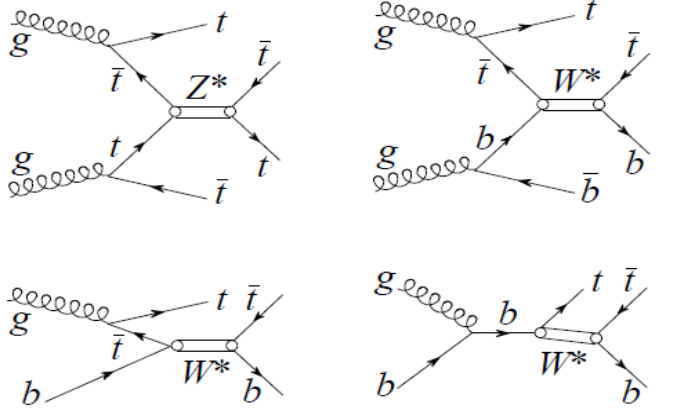
Display of a dijet event (Run=329716, Event=8575822452) with $m_{jj}=9.5$ TeV, produced in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV data collected in 2017.

Нижние границы для резонансов в конкретных моделях

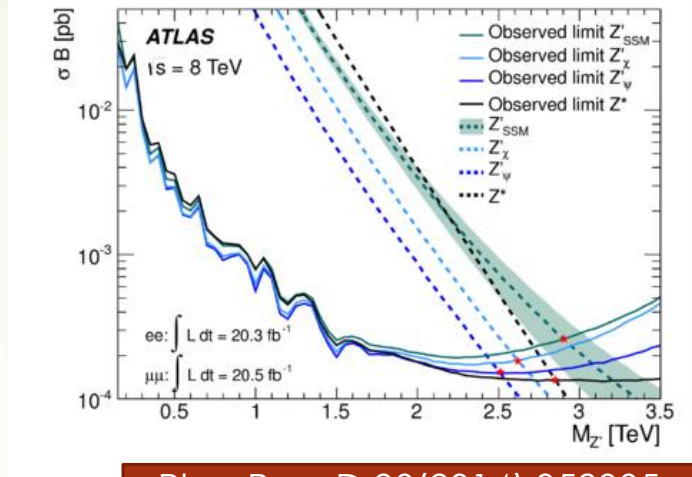
Table 2: The lower limits on the masses of benchmark signals at 95% CL.

Category	Model	Lower limit on signal mass at 95% CL	
		Observed	Expected
Inclusive	q^*	6.7 TeV	6.4 TeV
	QBH	9.4 TeV	9.4 TeV
	W'	4.0 TeV	4.2 TeV
	W^*	3.9 TeV	4.1 TeV
	DM mediator Z' , $g_q = 0.20$	3.8 TeV	3.8 TeV
	DM mediator Z' , $g_q = 0.50$	4.6 TeV	4.9 TeV
$1b$	b^*	3.2 TeV	3.1 TeV
$2b$	DM mediator Z' , $g_q = 0.20$	2.8 TeV	2.8 TeV
	DM mediator Z' , $g_q = 0.25$	2.9 TeV	3.0 TeV
	SSM Z' ,	2.7 TeV	2.7 TeV
	graviton, $k/\overline{M}_{\text{PL}} = 0.2$	2.8 TeV	2.9 TeV

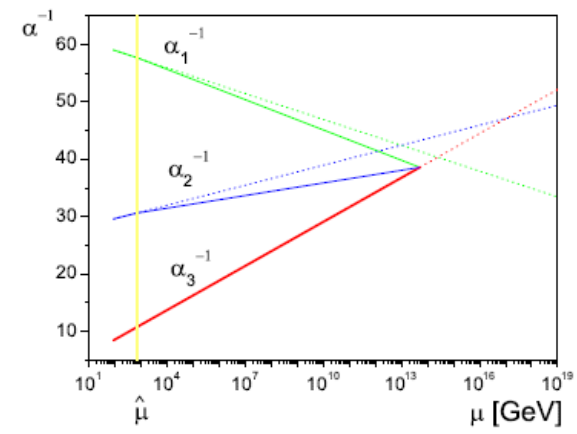
Поиск экзотических возбужденных бозонов W^* и Z^* , обеспечивающих GUT, результат при 8 ТэВ



JHEP 09 (2014)037



Phys.Rev. D 90(2014) 052005



В событиях с большим числом тяжелых кварков t, b ведется поиск экзотических бозонов W^* и Z^* . Эти новые бозоны должны существовать, если мы ожидаем унификации констант электромагнитного, сильного, и слабого взаимодействий при Планковской энергии $M_{PL} \approx 1,2 \cdot 10^{19}$ ГэВ. Такие возбужденные бозоны отличаются по своим кинематическим характеристикам от рассмотренных выше W' . Поиск таких состояний выполнен пока при 8 ТэВ. Установлены нижние границы масс W^* 3,21 ТэВ и Z^* 2,85 ТэВ. **Анализ при 13 ТэВ выполняется при участии асп. И.Кочергина**

Моделирование сигналов векторных бозонов W^* и Z^* в pp взаимодействиях при 13 ТэВ

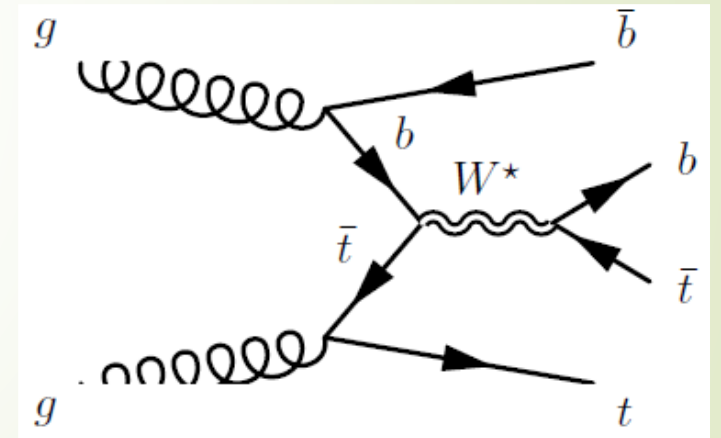
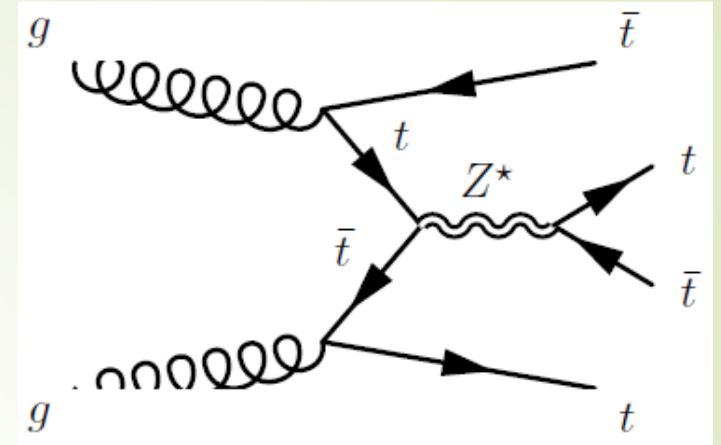
Сечение рождения нейтрального бозона Z^* очень мало и данный процесс имеет очень сложную сигнатуру. Например, для Z_μ^* с массой $M = 0,7 \text{ TeV}$ при энергии $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ сечение рождения порядка **10 fb**, которое можно сравнить с $\sigma^{SM} = 12,0 \pm 2,4 \text{ fb}$ и $\sigma^{exp} = 24^{+7}_{-6} \text{ fb}$

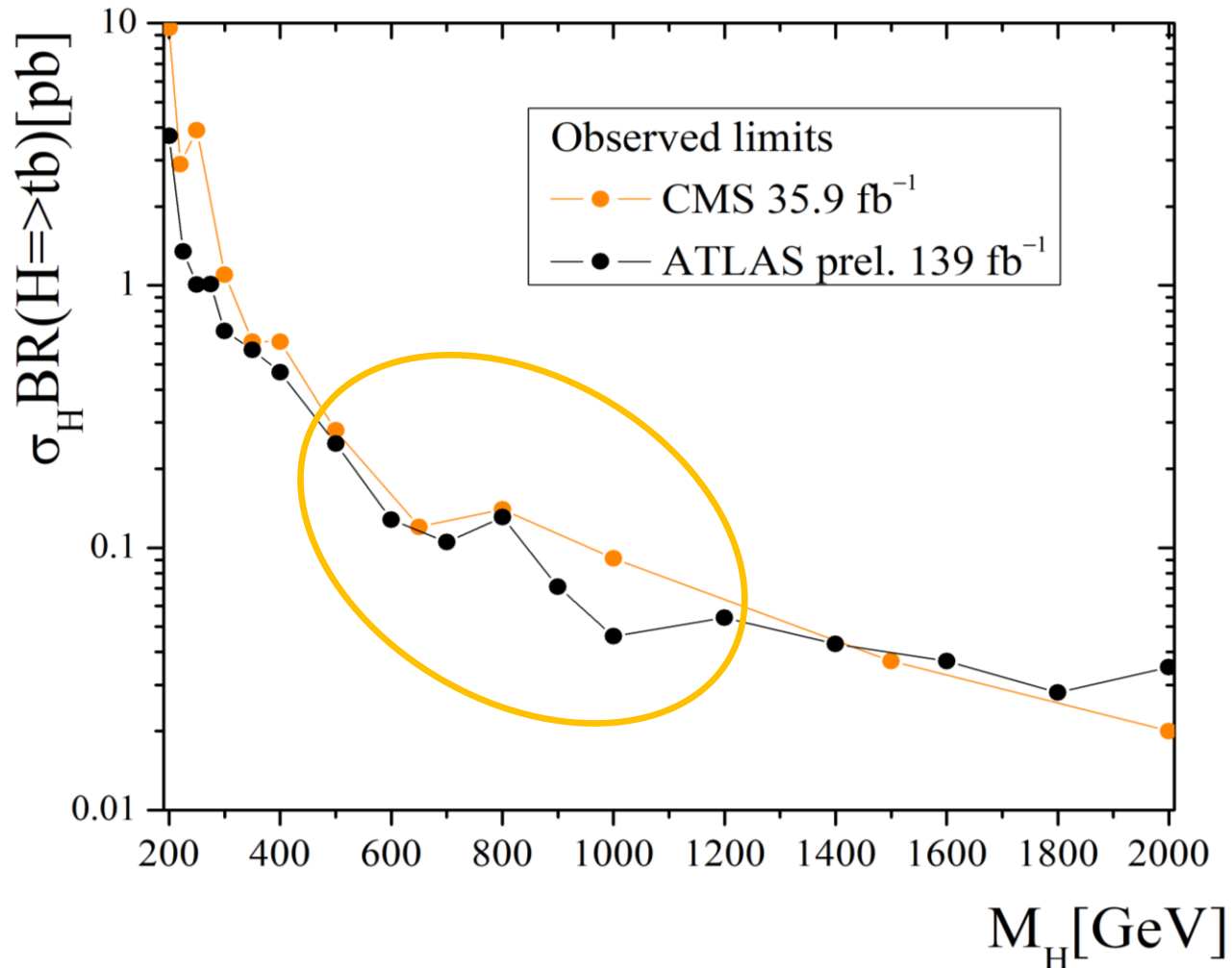
[ATLAS Collaboration, Eur. Phys. J. C 80 \(2020\) 1085](#)

Поэтому рассматривается другой процесс – рождение заряженного бозона W^* : $gg \rightarrow t\bar{b}W^{*-} \rightarrow t\bar{t}b\bar{b}$ (4FS). Тогда, например, для W_μ^* с массой $M = 0,7 \text{ TeV}$ при энергии $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ сечение рождения порядка **230 fb**.

Конечное состояние совпадает с ассоциированным рождением бозона Хиггса с парой топ кварков и последующим распадом Хиггса на bottom кварки, однако имеет абсолютно другую кинематику.

Распад заряженного BSM Хиггса на топ и bottom кварки имеет почти такую же кинематику, что и W^* .





Запрошена и осуществлена генерация fastsim samples $W^* \rightarrow tb$ MC 4FS для масс W^* 700, 800, 900, 1000 и 1200 ГэВ по 1.0 М events (250К+320К+430К) КАЖДЫЙ.

Точки в 700 и 900 ГэВ новые, и добавляются в анализ в настоящее время.

Из-за технической ошибки были сгенерированы fullsim samples для периода MC16d (2017 г), поэтому вместе с новыми точками были сгенерированы и соответствующие fastsim samples.

Монте-Карло моделирование фоновых процессов для поиска W^* и Z^*

Physics process	ME generator	PS generator	Normalisation	PDF set	Simulation
$t\bar{t}$ + jets	POWHEG-BOX v2	PYTHIA 8.230	NNLO+NNLL	NNPDF3.0NLO	Fast
Single-top t -chan	POWHEG-BOX v2	PYTHIA 8.230	aNNLO	NNPDF3.0NLOnf4	Full
Single-top tW	POWHEG-BOX v2	PYTHIA 8.230	aNNLO	NNPDF3.0NLO	Full
Single-top s -chan	POWHEG-BOX v2	PYTHIA 8.230	aNNLO	NNPDF3.0NLO	Full
V + jets	SHERPA 2.2.1	SHERPA 2.2.1	NNLO	NNPDF3.0NNLO	Full
$t\bar{t}V$	MG5_aMC 2.3.3	PYTHIA 8.210	NLO	NNPDF3.0NLO	Full
$t\bar{t}H$	POWHEG-BOX v2	PYTHIA 8.230	NLO	NNPDF3.0NLO	Full
Diboson	SHERPA 2.2	SHERPA 2.2	NLO	NNPDF3.0NNLO	Full
$tHjb$	MG5_aMC 2.6.0	PYTHIA 8.230	NLO	NNPDF3.0NLOnf4	Full
tHW	MG5_aMC 2.6.2	PYTHIA 8.235	NLO	NNPDF3.0NLO	Full
tZq	MG5_aMC 2.3.3	PYTHIA 8.212	NLO	CTEQ6L1LO	Full
tZW	MG5_aMC 2.3.3	PYTHIA 8.212	NLO	NNPDF3.0NLO	Full
Four top quarks	MG5_aMC 2.3.3	PYTHIA 8.230	NLO	NNPDF3.1NLO	Fast

L2Ntplus распределения

- Используется `asetup AnalysisBase,21.2.182`
- В качестве фоновых событий – `ttbar` (did 410470)
- Нормализация осуществляется применением функции `root` со значениями `sigma` из `XSection-MC16` file (аналогично AMI)
- Для сигнала `hist->scale(1/hist->Integral(), "width")`
- Для фона `hist->scale(sigma/ttbar/sigma*1/ko*1/hist->Integral(), "width")`

Background was reduce (ko=):
 for 600GeV – 4000 times for 1000GeV – 30000 times
 for 800GeV – 12000 times for 1200GeV – 68000 times

Распределения:

$\Delta(\eta_{jet\ lead} - \eta_{jet\ sublead})$
 Centrality
 b-jet p_T
 leading b-jet p_T
 H_T
 H_1^{All}
 p_T^{jet5}
 Mbb_mindR

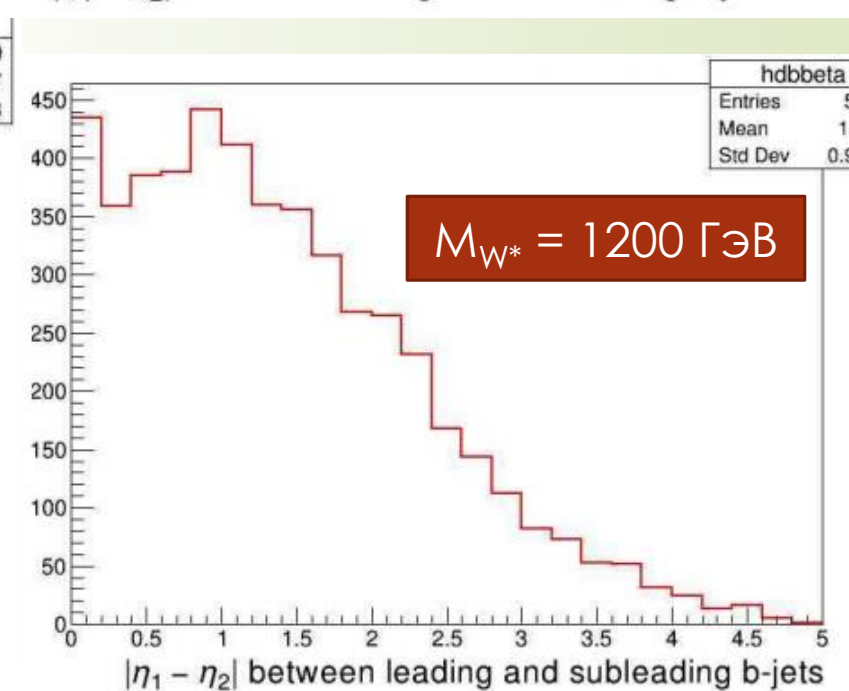
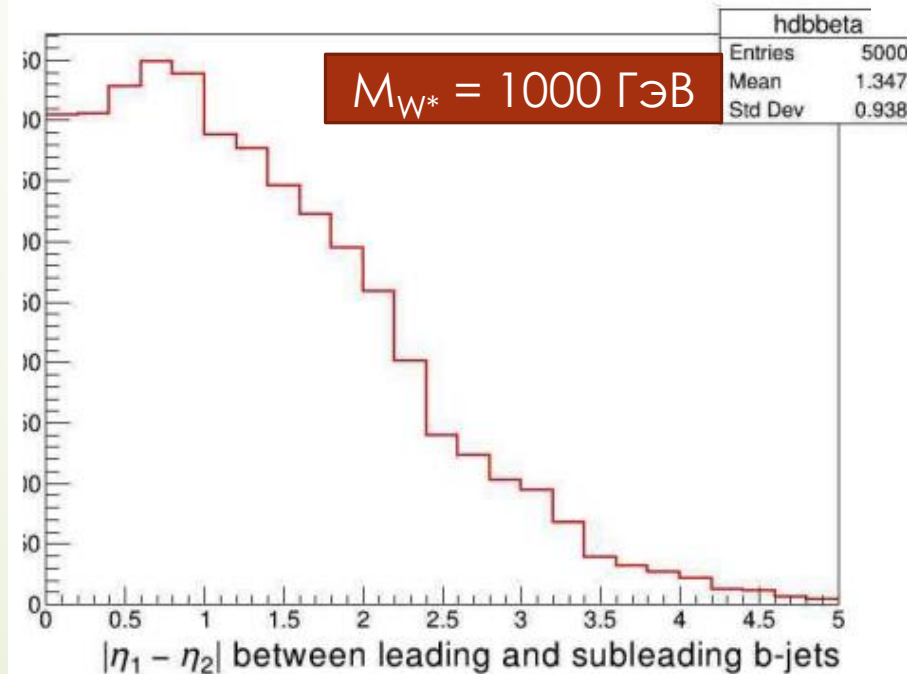
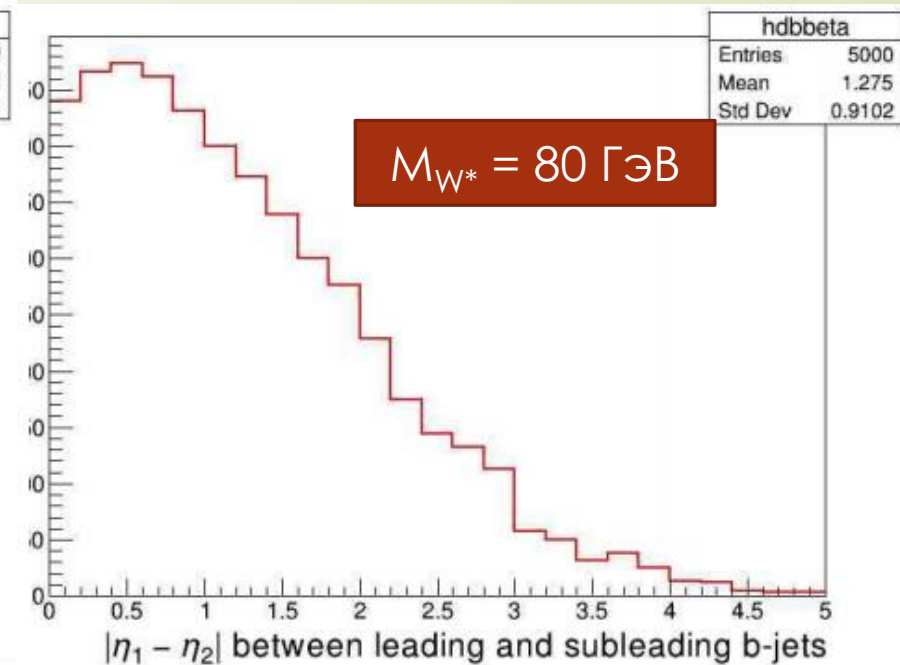
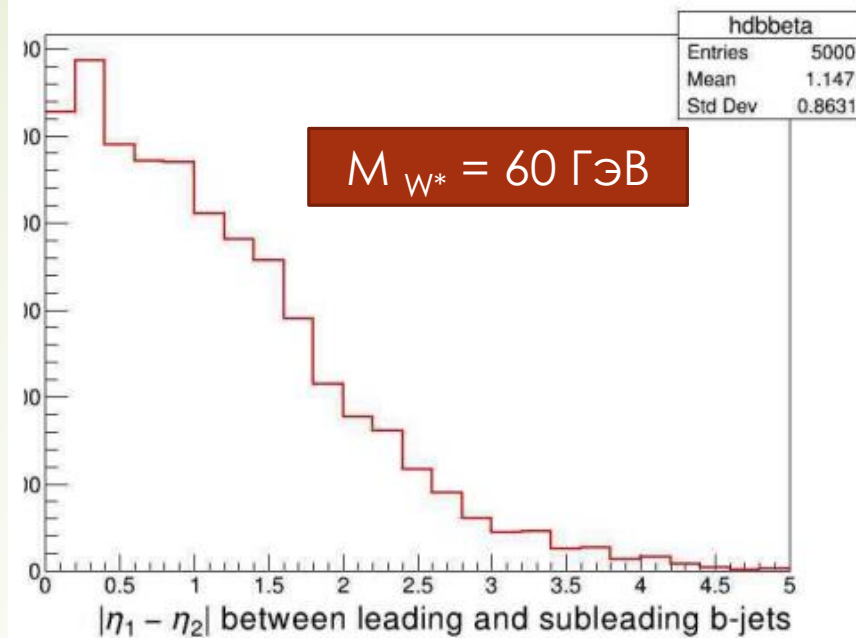
Области:

5j3b (=5 jet, =3 b)
 5j4bin (=5 jet, ≥ 4 b)
 6jin3b (≥ 6 jet, =3 b)
 6jin4bin (≥ 6 jet, ≥ 4 b)

$$\Delta(\eta_{jet\ lead} - \eta_{jet\ sublead})$$

Для сравнения: Validation plots from MC and TRUTH3 event generation 4FS

Моделирование
сигналов
векторных
бозонов W^* и Z^* в
 pp
взаимодействиях
при 13 ТэВ



Red – signal
Blue – background

5j3b, $\Delta(\eta_{jet\ lead} - \eta_{jet\ sublead})$

Background reduce:

for 600GeV – 4000 times for 1000GeV – 30000 times

for 800GeV – 12000 times for 1200GeV – 68000 times

13

M600

M800

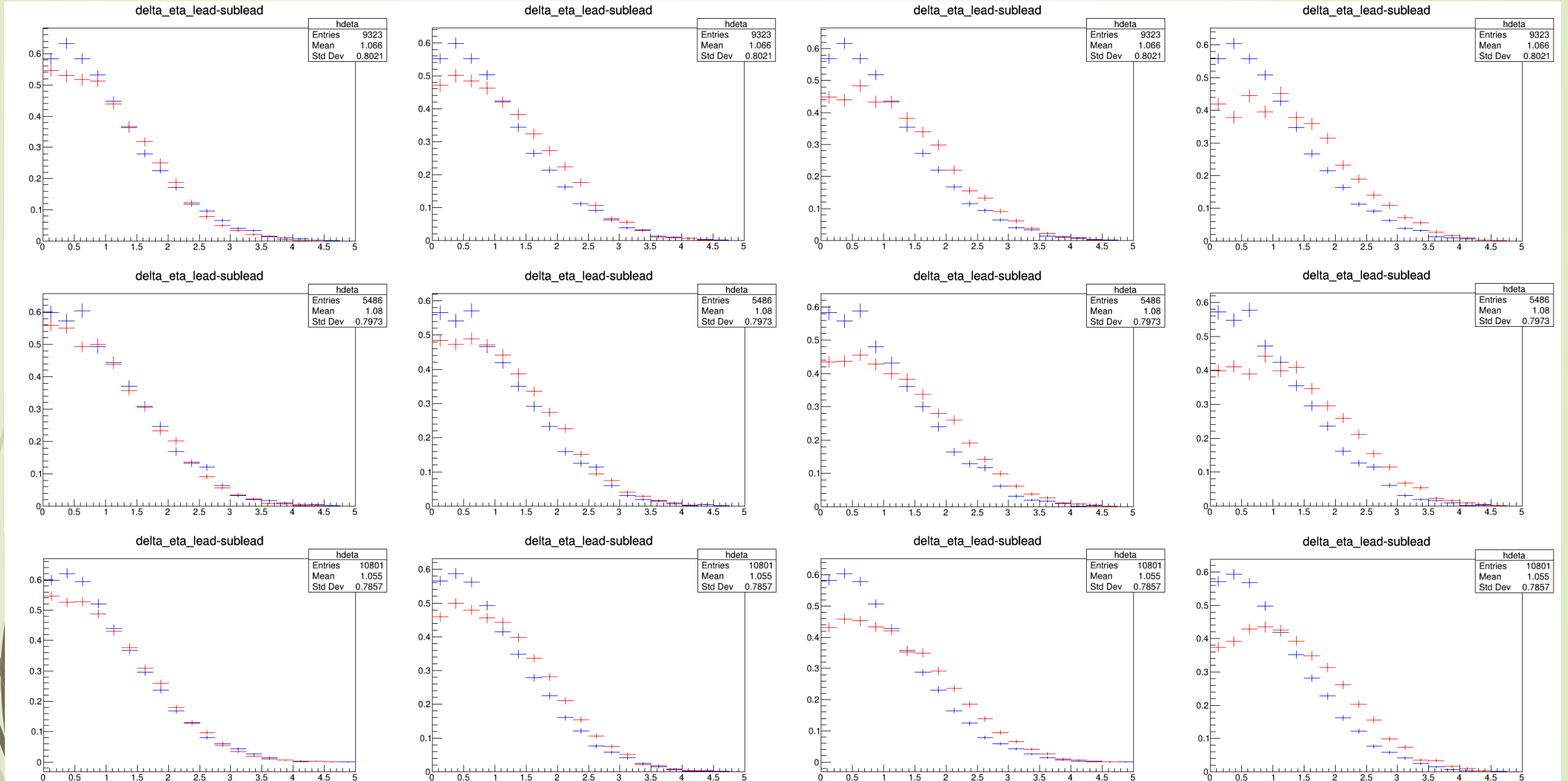
M1000

M1200

r9364

r10201

r10724



Red – signal

Blue
14
background

6jin3b, leading b-jet p_T

Background reduce:

for 600GeV – 4000 times for 1000GeV – 30000 times

for 800GeV – 12000 times for 1200GeV – 68000 times

M600

M800

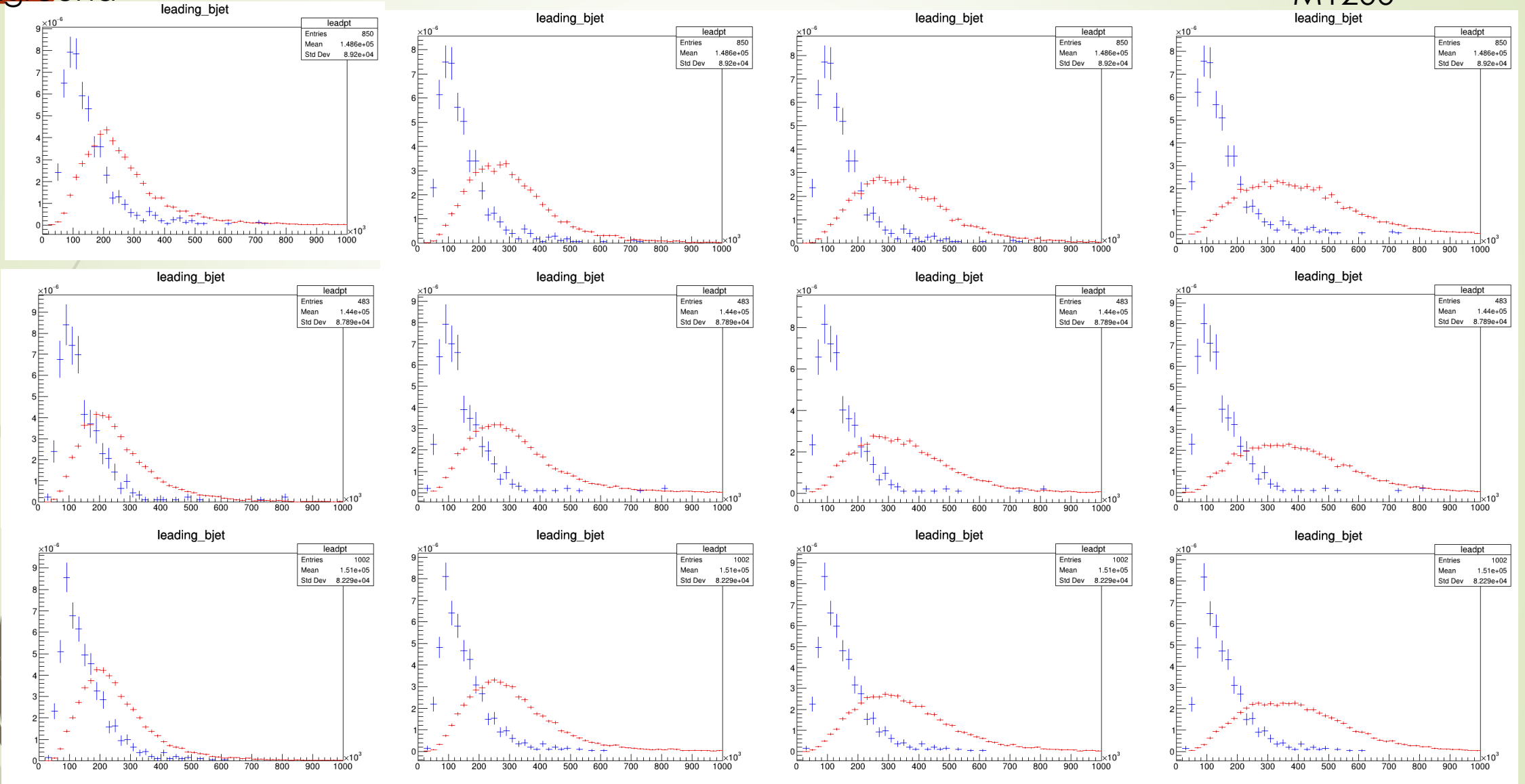
M1000

M1200

r9364

r10201

r10724



Анализ открытых данных ATLAS при 13 ТэВ

Используются материалы сайта:

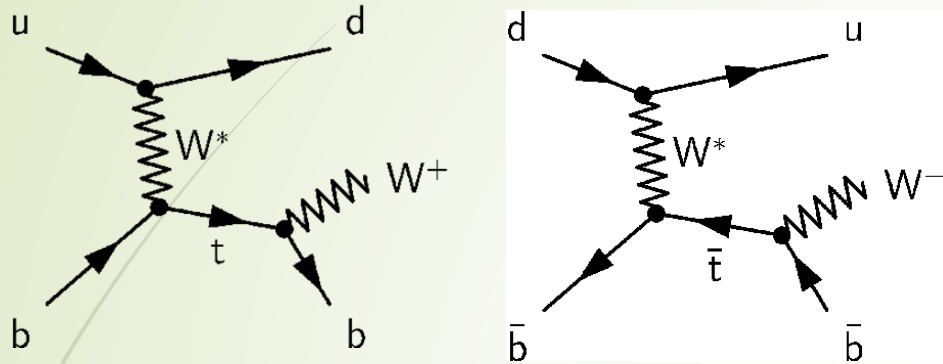
<http://opendata.atlas.cern/>

Публикации:

1. The ATLAS Collaboration,
Review of the 13 TeV ATLAS Open Data release, ATL-OREACH-PUB-2020-001;
2. The ATLAS Collaboration,
Review of ATLAS Open Data 8 TeV datasets, tools and activities, ATL-OREACH-PUB-2018-001

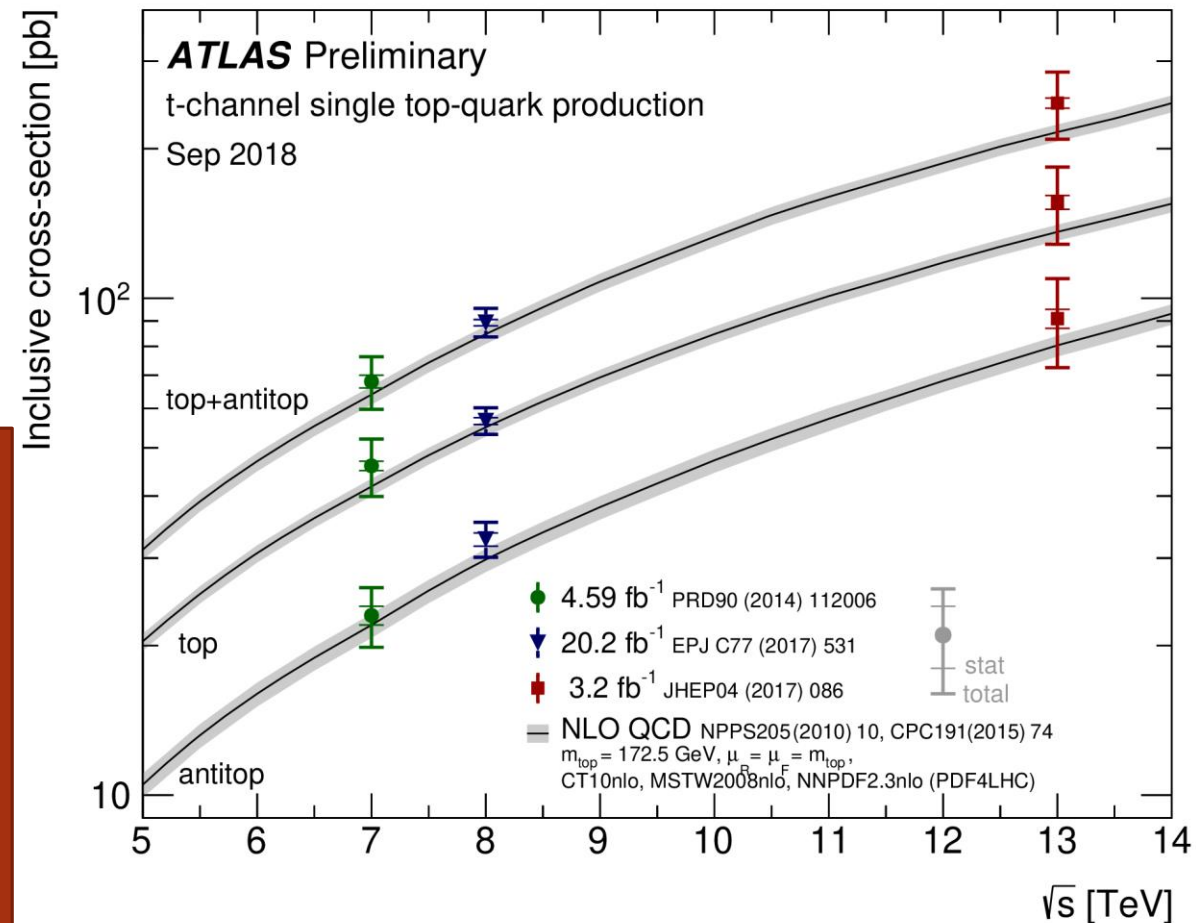
Исследование одиночного рождения t кварка в t канале на открытых данных 13 ТэВ

16



Диаграммы электрослабого процесса рождения одиночного t кварка в pp взаимодействиях, сечение $217,0^{+9.0}_{-7.7}$ пб

Сечения процесса одиночного рождения топ кварка в t -канале



Задачи: - проверка СМ;

- Измерение V_{tb} ;

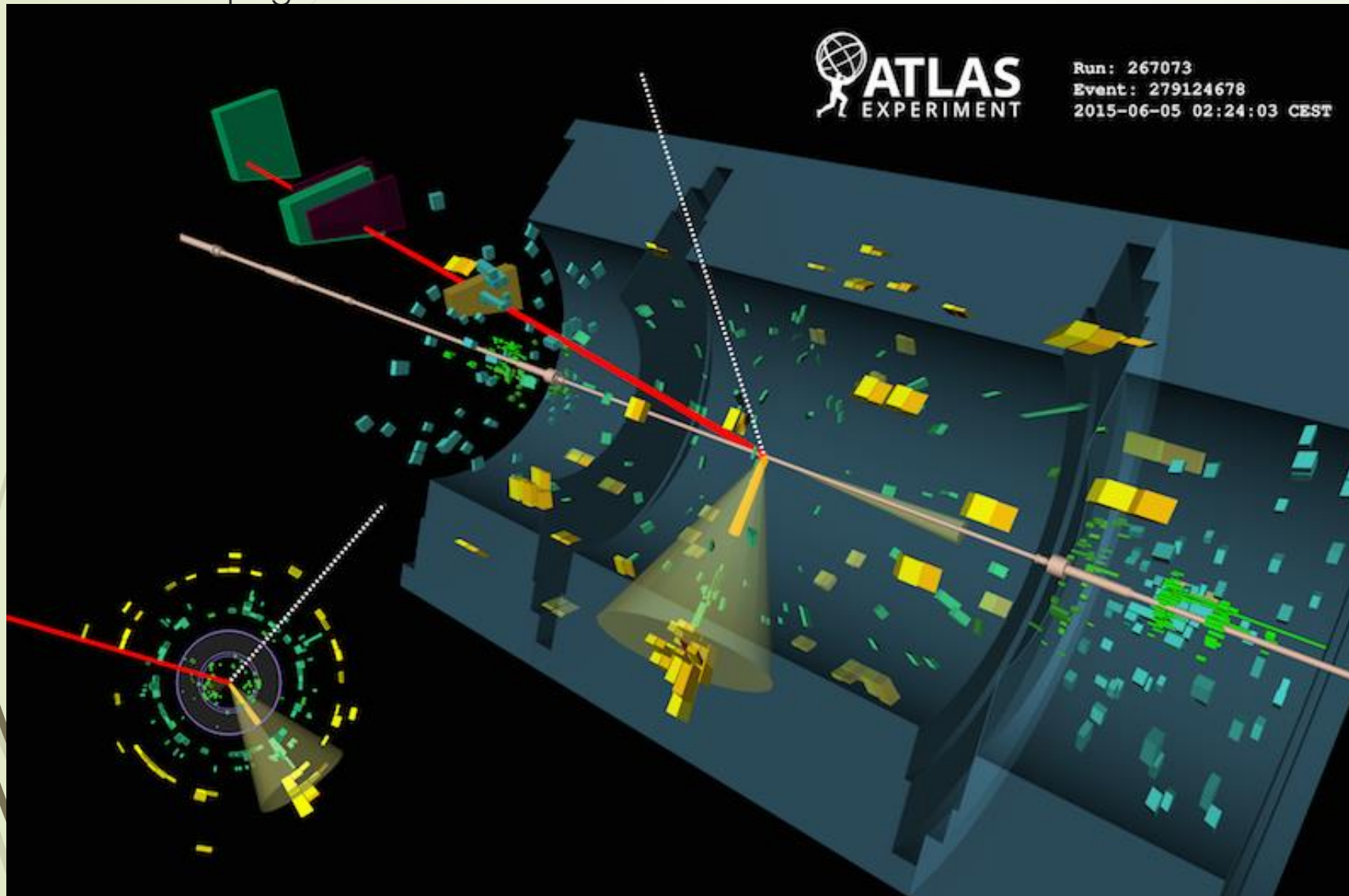
- Уточнение структурных функций протона через измерение $R_t = \sigma(t)/\sigma(\bar{t})$ определяет отношение u/d кварков;

- Измерение поляризации и массы t

Событие зарегистрированного рождения одиночного t -кварка в t -канале в pp соударениях при 13 ТэВ

17

https://twiki.cern.ch/twiki/pub/AtlasPublic/EventDisplayRun2Collisions/run267073_evt279124678-thumb.png

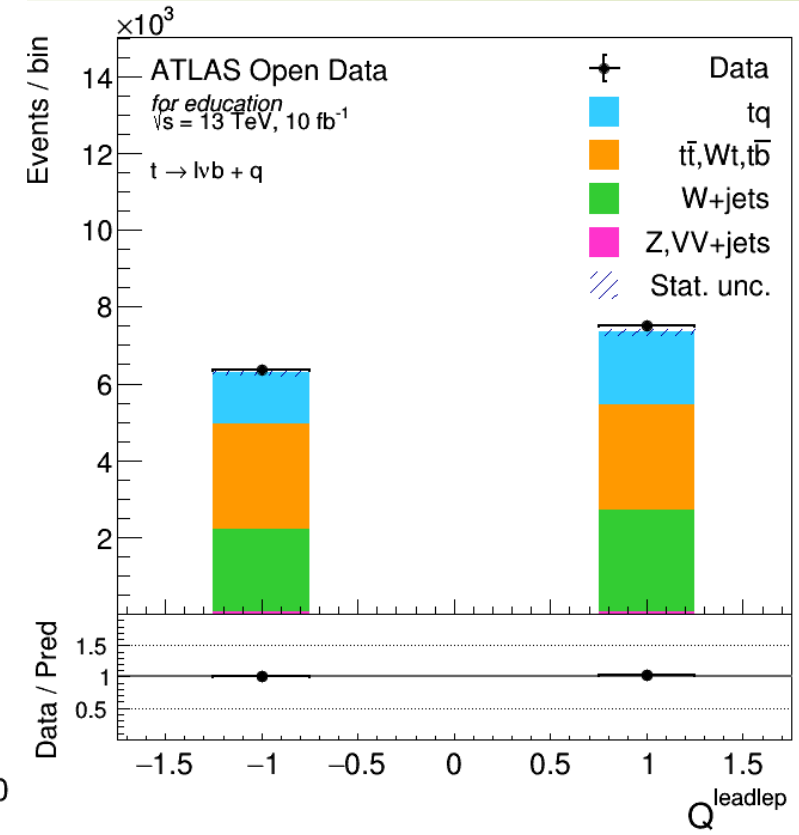
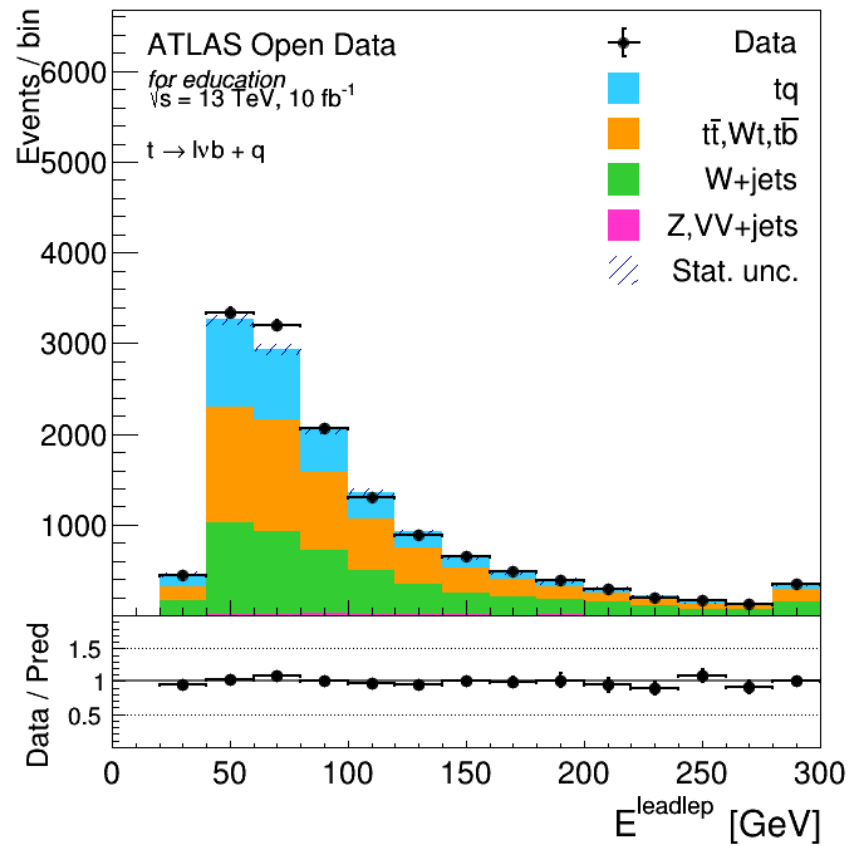
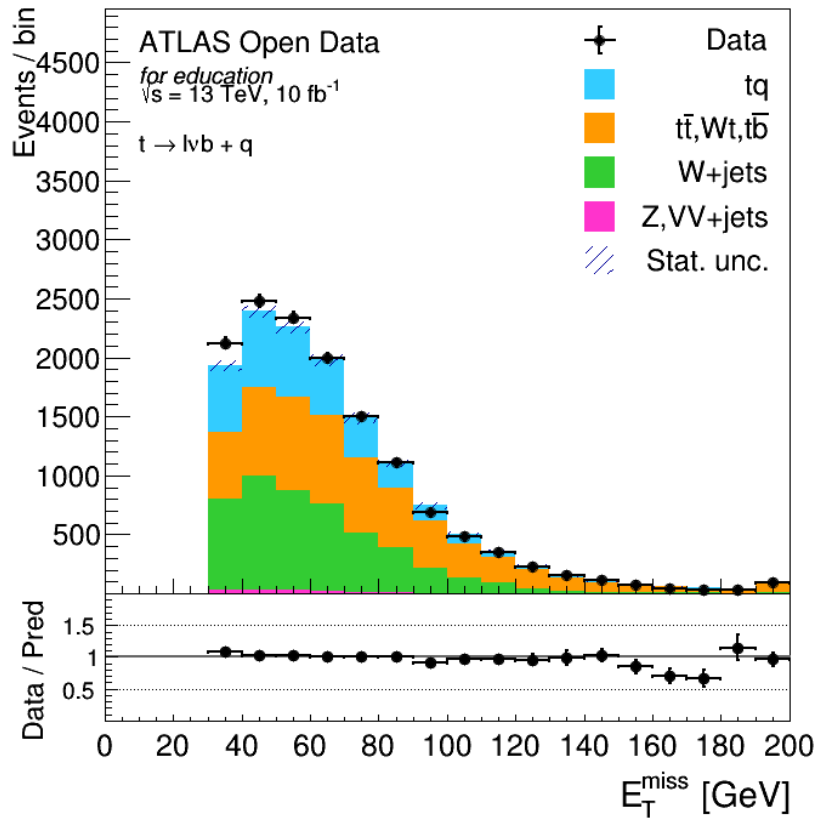


Зарегистрировано
5 июня 2015: t -channel
single top-quark
production in the muon
plus jets channel.

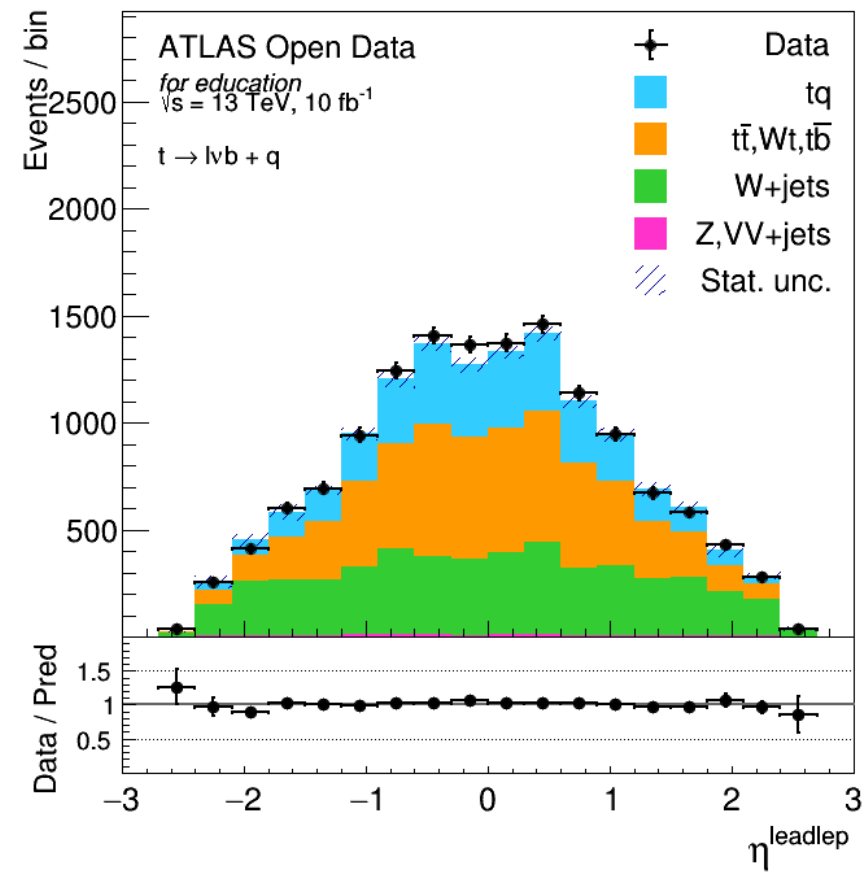
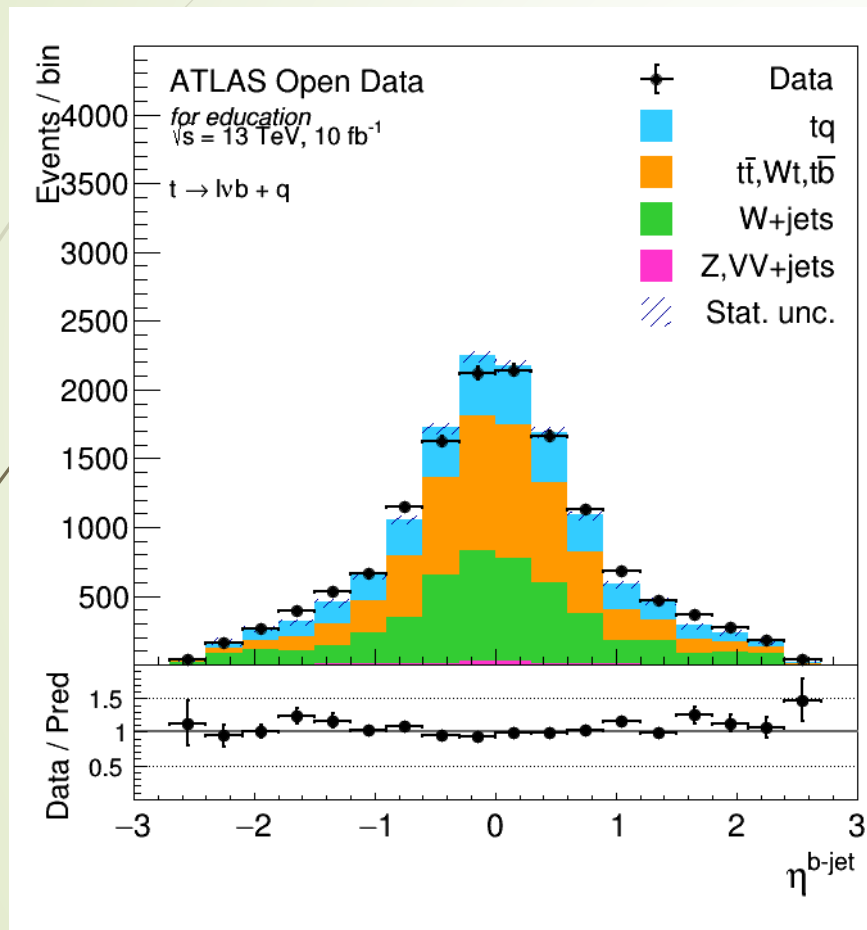
Мюон с $p_T = 30$ ГэВ
показан красным
Зеленым и желтым
отмечены две струи
от кварков с p_T около
30 ГэВ и 50 ГэВ,
вторая образована b
кварком
Потерянная
поперечная энергия
около 40 ГэВ

Дифференциальные сечения событий с одиночным рождением t (канал tq) $t \rightarrow l\nu b + q$

18



Распределения по псевдобыстроте η для b струй и лептонов



Заключение

- ▶ Показана актуальность поиска новых резонансов в pp взаимодействиях
- ▶ Приведены новые результаты ATLAS поиска резонансов в системе двух адронных струй
- ▶ Представлены новые модельные распределения для поиска векторных резонансов W^* и Z^* в pp взаимодействиях при энергии 13 ТэВ
- ▶ Представлены первые результаты для характеристик событий одиночного рождения t кварка по открытым данным ATLAS при 13 ТэВ