

Рождение тяжелых векторных бозонов в пр соударениях в эксперименте ATLAS

А. А. Короткова*

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
физический факультет, кафедра общей ядерной физики
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2
(Статья поступила 26.02.2020; подписана в печать 16.03.2020)

В работе выполнен анализ рождения W и WZ бозонов в открытых данных ATLAS для протон-протонных соударений при энергии $\sqrt{s} = 8$ ТэВ. Получены распределения лептонов по поперечному импульсу. Проведен анализ отношения числа положительно и отрицательно заряженных W бозонов.

PACS: 14.70.Nr УДК: 539.1.07
Ключевые слова: W бозон, Z бозон, ATLAS

ВВЕДЕНИЕ

Целью работы является анализ событий с рождением тяжелых векторных бозонов. Настоящая работа является продолжением исследований, начатых в работе «Характеристики событий соударений протонов в открытых данных эксперимента ATLAS» [1]. Рассматриваются как события с инклюзивным рождением одиночного W бозона, так и события с парным рождением W и Z бозонов.

1. ДАННЫЕ И ИХ МОДЕЛИРОВАНИЕ

В работе используются экспериментальные данные портала ATLAS open data, содержащие события, соответствующие интегральной светимости 1 фб^{-1} , зарегистрированные детектором ATLAS в 2012 году в протон-протонных соударениях с энергией в системе центра масс соударения $\sqrt{s} = 8$ ТэВ. Для обработки и последующего анализа данных используется программный пакет ROOT, примеры возможных вариантов обработки данных написаны на языке Python. Помимо реальных данных, у пользователя есть доступ к событиям, смоделированным методом Монте Карло. Эти события представляют собой рассчитанные физические реакции, продукты которых проходят ту же систему регистрации и анализа, что и экспериментальные события. Это позволяет проводить детальное сравнение экспериментальных результатов с теоретическими.

2. АНАЛИЗ СОБЫТИЙ С РОЖДЕНИЕМ W БОЗОНА

Одним из стандартных анализов портала ATLAS open data является анализ событий с инклюзивным рождением одиночного W бозона. W бозоны могут

распадаться как по адронному, так и по лептонному каналам распада. Для отбора событий лептонного канала данные проходят предварительный отбор по следующим критериям: используются лептоны и адронные струи в интервале по псевдобыстроте $|\eta| < 2.5$, поперечный импульс заряженного лептона от распада $|p_T| > 25$ ГэВ, недостающая поперечная энергия $E_T > 30$ ГэВ, восстановленная поперечная масса W бозона $m_T^W > 30$ ГэВ. Для отобранных событий проведено сравнение распределений лептонов с положительным и отрицательным электрическим зарядом. На рис. 1 слева и справа соответственно представлены распределения положительно и отрицательно заряженных лептонов (электронов и мюонов), зарегистрированных при распаде W бозона, по поперечному импульсу.

Наблюдается одинаковый характер этих зависимостей, однако количество лептонов разных знаков различается. Таким образом проявляется зарядовая асимметрия лептонов, заключающаяся в избытке лептонов с положительным зарядом и возникающая из-за положительного заряда протона. В отобранных событиях отношение зарегистрированных W бозонов с положительным и отрицательным знаком электрического заряда составляет:

$$\frac{N_{W^+}}{N_{W^-}} = 1.346 \pm 0.001(\text{стат}).$$

Для Монте-Карло моделирования:

$$\frac{N_{W^+}}{N_{W^-}} = 1.391 \pm 0.001(\text{стат}).$$

Малая статистическая ошибка объясняется тем, что в анализе использовано большое количество событий $N_{W^\pm} \sim 5 \cdot 10^6$. На детекторе ATLAS при энергии $\sqrt{s} = 7$ ТэВ и интегральной светимости 4.6 фб^{-1} получено отношение [2]:

$$R_{tot} = 1.450 \pm 0.001(\text{стат}) \pm 0.004(\text{сист}) \pm 0.029(\text{аксепт}).$$

При энергии $\sqrt{s} = 13$ ТэВ [3]:

$$R_{tot} = 1.295 \pm 0.003(\text{стат}) \pm 0.010(\text{сист}).$$

Видно, что с ростом энергии рассматриваемая величина отношения уменьшается.

*E-mail: korotkova.aa16@physics.msu.ru

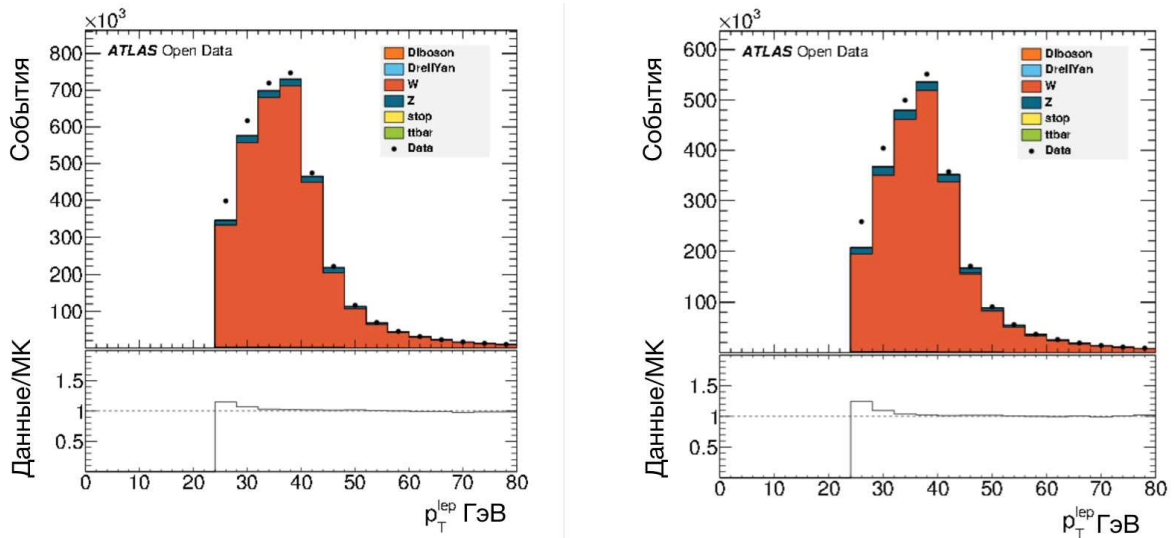


Рис. 1: Распределение положительно (слева) и отрицательно (справа) заряженных лептонов, зарегистрированных в W анализе, по поперечному импульсу p_T

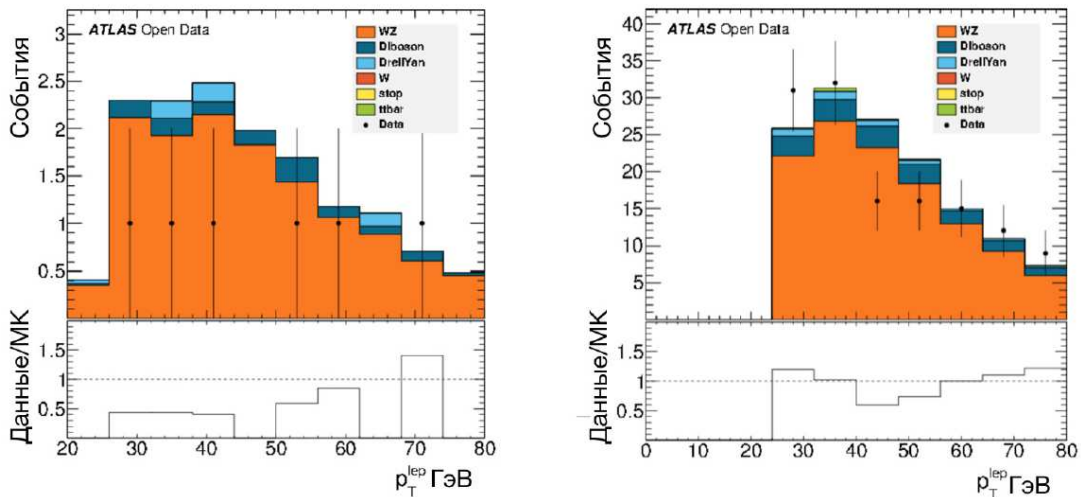


Рис. 2: Распределение лептонов, зарегистрированных в WZ анализе, по поперечному импульсу p_T для 10% данных (слева) и 100% данных (справа)

3. АНАЛИЗ СОБЫТИЙ С РОЖДЕНИЕМ WZ БОЗОНОВ

Анализ процессов совместного рождения W и Z бозонов представляет особый интерес для проверки электрослабой теории и КХД. Сечение этого процесса измерено в эксперименте ATLAS при энергии $\sqrt{s} = 8$ ТэВ и интегральной светимости 13 fb^{-1} и составляет $20.3 \pm 1.6 \text{ pb}$ [4]. Портал ATLAS open data дает возможность проанализировать рождение пар WZ бозонов. События для анализа отбираются по нескольким критериям: наличие трех лептонов, поперечный импульс лептонов $|p_T| > 25 \text{ GeV}$, восстановленная по-

перечная масса W бозона $m_T^W > 30 \text{ GeV}$, разность масс лептонной пары одного поколения, но разного знака и Z бозона $|m_l - m_Z| < 10 \text{ GeV}$. Первоначально анализ был выполнен для 10% данных. Было обнаружено всего два события рассматриваемого типа. Поэтому был проведен анализ всей статистики данных. На рис. 2 слева показано первоначальное распределение, а справа — распределение для полной статистики. Рисунок справа позволяет заключить, что экспериментальные результаты согласуются с модельными.

Был проведен анализ распределения лептонов по поперечному импульсу для событий с рождением пары WZ и одиночным рождением W бозона. Эти распре-

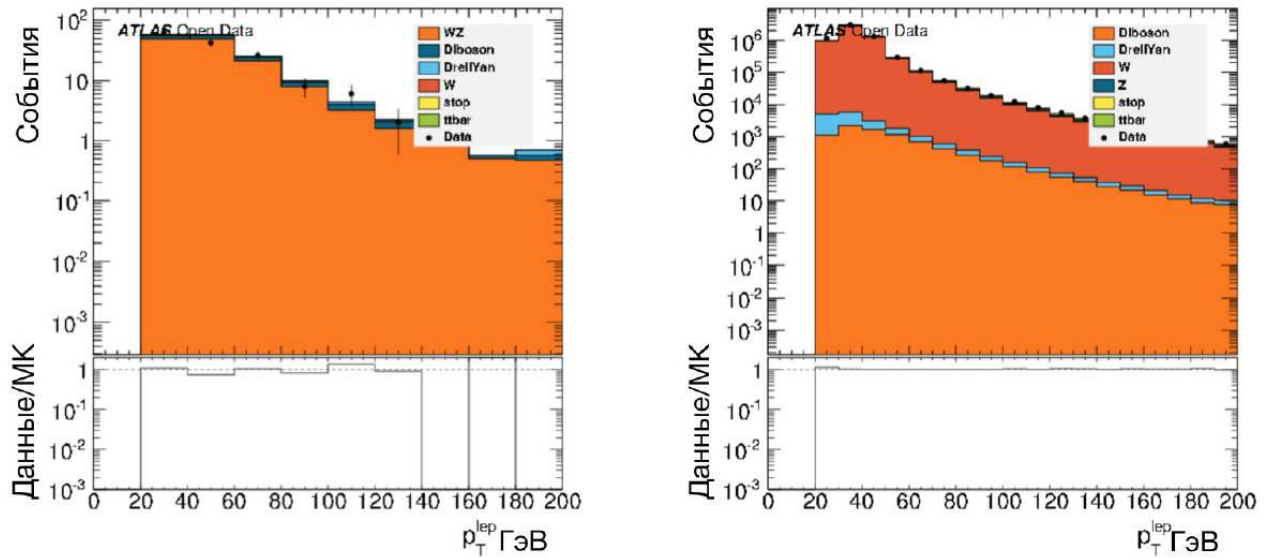


Рис. 3: Распределение лептонов, зарегистрированных в WZ анализе (слева) и W анализе (справа), по поперечному импульсу p_T

деления приведены на рис. 3 слева и справа соответственно. Распределения представлены в логарифмическом масштабе по вертикальной оси.

Для двух процессов наблюдается близкий экспоненциальный характер падения зависимости в области поперечных импульсов $p_T > 60$ ГэВ, эти данные хорошо согласуются с результатами Монте-Карло моделирования. Видно, что количество лептонов, зарегистрированных в парном рождении существенно меньше, чем для инклюзивного рождения одиночного W бозона. Сечения этих событий измерены в эксперименте ATLAS и равны соответственно [2, 4]:

$$\begin{aligned} \sigma^{WZ} &= 20.3 \pm 0.8(\text{стат}) \pm 1.2(\text{сист}) \pm 0.7(\text{свет}) \text{ пб,} \\ \sigma^W &= 10720 \pm 3(\text{стат}) \pm 60(\text{сист}) \pm \\ &\quad \pm 190(\text{свет}) \pm 130(\text{аксепт}) \text{ пб} \end{aligned}$$

Из этих данных видно, что отношение числа лептонов от парного рождения WZ к числу лептонов от инклюзивного одиночного рождения W :

$$\frac{10720 \cdot n_l}{20.3 \cdot n_{ll}} = 176 \pm 14,$$

где $n_l = 1$, $n_{ll} = 3$ в соответствии с множественностью заряженных лептонов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен анализ рождения тяжелых векторных бозонов в протон-протонных соударениях в событиях пакета ATLAS open data при энергии $\sqrt{s} = 8$ ТэВ. Получены распределения лептонов от распадов одиночного W бозона и пар WZ бозонов. Проведен анализ зависимости сечений от заряда W бозона, рассчитано отношение сечений рождения $W+$ и $W-$ бозонов. Представлено сравнение процессов одночастичного инклюзивного и ассоциированного рождения W бозонов.

[1] Волков И. О., Дьячков И. С., Смирнова Л. Н., Шоркин Р. А. Ученые записки физического ф-та Московского ун-та. 2019. № 2. 1920201.

[2] ATLAS Collaboration // Eur. Phys. J. C. 2018. 77. P. 367.

[3] ATLAS Collaboration // Phys.Lett. B. 2016. 759. P. 601.

[4] ATLAS Collaboration // ATLAS-CONF-2013-021.

Production of heavy vector bosons in pp collisions at the ATLAS experiment

A. A. Korotkova

*Department of General Nuclear Physics, Faculty of Physics,
Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia
E-mail: korotkova.aa16@physics.msu.ru*

This note presents analysis of W and WZ production in pp collisions at a center-of-mass energy of 8 TeV using ATLAS open data. The transverse momentum distribution of leptons are obtained. An analysis of the ratio of the number of positively and negatively charged W bosons is performed.

PACS: 14.70.Hp

Keywords: Z bosons, W bosons, ATLAS.

Received 26 February 2020.

Сведения об авторе

1. Короткова Анастасия Анатольевна — студент; e-mail: korotkova.aa16@physics.msu.ru.
