Моделирование пар B-адронов в *pp* соударениях на БАК

Ю. Ю. Овчаров*
Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, физический факультет, кафедра общей ядерной физики
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2
(Статья поступила 25.03.2020; подписана в печать 26.03.2020)

С помощью генератора PYTHIA 8 выполнено моделирование жестких процессов рождения пар b-кварков в соударениях протонов. Проведен отбор событий, соответствующих парному рождению B-адронов, получены спектры по азимутальному углу в паре B-адронов и поперечному импульсу пары в pp-взаимодействиях при энергиях 7 и 13 Тэв для кинематических областей детекторов ATLAS и LHCb и различных областей по поперечному импульсу p_T.

PACS: 13.85.Ni УДК: 539.1.07
Ключевые слова: спектр B-адронов, азимутальный угол, поперечный импульс, PYTHIA 8.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование B-адронов, в составе которых присутствует b или $b\bar{b}$-кварк первого раздела, является важным направлением исследований на Большом адронном коллайдере (БАК). В частности, представляют интерес характеристики парного рождения $b\bar{b}$, т.к. они более чувствительны к механизмам рождения b-кварков по сравнению с одночастичными инклюзивными спектрами.

Механизмы рождения B-адронов определяются динамикой сильных взаимодействий, описываемых квантовой хромодинамикой (КХД). Расчеты сечений рождения осуществляются с помощью различных Монте-Карло генераторов событий.

Особый интерес представляют исследования процессов рождения пар B-адронов в области малых углов между частицами в паре. Эти исследования становятся все более актуальными на БАК благодаря увеличению энергии протонных соударений и увеличению интегральной светимости. Область малой разности азимутальных углов для пары B-адронов или пары $b\bar{b}$ струй определяется в основном процессами КХД, следующими за такими процессами в лидирующем порядке.

В данной работе проведено моделирование процессов парного рождения B-адронов разной природы при энергиях 7 и 13 ТэВ с помощью генератора событий PYTHIA 8 [1]. В эксперименте ATLAS измерены дифференциальные сечения двуструйных процессов рождения пар кварков $b\bar{b}$ в pp взаимодействиях при энергии 7 ТэВ [2]. На рис. 1 приведены результаты этих измерений для дифференциального сечения рождения пар $b\bar{b}$ струй, как функции азимутального угла в паре этих струй. Сравнение с расчетами этой работы в лидирующем порядке (LO) и следующим за лидирующим (NLO) показывает, что расчеты в лидирующем порядке лучше описывают экспериментальные данные.

В связи с этим интересной задачей является моделирование спектров для рождения пар B-адронов и сравнение с экспериментальными результатами для спектров рождения парb струй. Заметим, что подобный анализ в рамках одной работы ранее не проводился. Так же актуально моделирование с новой версией генератора PYTHIA 8, поскольку сравнение измерений в работе [2] при 7 ТэВ проведено с предсказаниями генератора PYTHIA 6 [3].

1. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРНОГО РОЖДЕНИЯ *B*-АДРОНОВ В PYTHIA 8

PYTHIA 8 — программа-генератор событий в физике высоких энергий для описания процессов соударений между элементарными частицами. При моделировании задается жесткий процесс КХД рождения B-адронов разной природы. В результате расчета отбираются события, соответствующие парному рождению, такие, что среди продуктов распада одного из адронов присутствует J/ψ мезон. Рассматривается канал распада J/ψ мезона на 2 мюона, как это происходит в эксперименте. В наборе моделированных событий записывается информация о процессе рождения B-адронов, координаты, поперечный импульс, быстрота. Рассматриваются адроны с поперечным импульсом $10\,\text{ГэВ} < p_T < 50\,\text{ГэВ}$.

По этим данным построены плотности дифференциального сечения $\frac{1}{\sigma}\frac{d\sigma}{d(\Delta\phi)}$ рождения $B\bar{B}$-адронов, как функции азимутального угла между двумя B-адронами в паре $b\bar{b}$ струй, $\Delta\phi$, при энергиях 7 и 13 ТэВ, для центральной области по быстроте $|y| < 2.5$ (рис. 2, *а*) и передней области по быстроте $2 < y < 5$ (рис. 2, *б*), в области поперечному импульсу $50\,\text{ГэВ} < p_T < 130\,\text{ГэВ}$. Построены плотности дифференциального сечения $\frac{1}{\sigma}\frac{d\sigma}{d(\Delta\phi)}$ рождения адронов, как функции азимутального угла между двумя B-адронами, $\Delta\phi$, при энергиях 7 и 13 ТэВ, для центральной области по быстроте $|y| < 2.5$ (рис. 3, *а*) и передней области по быстроте $2 < y < 5$ (рис. 3, *б*), в области поперечному импульсу $10\,\text{ГэВ} < p_T < 50\,\text{ГэВ}$.

*E-mail: ovcharov-yu@mail.ru

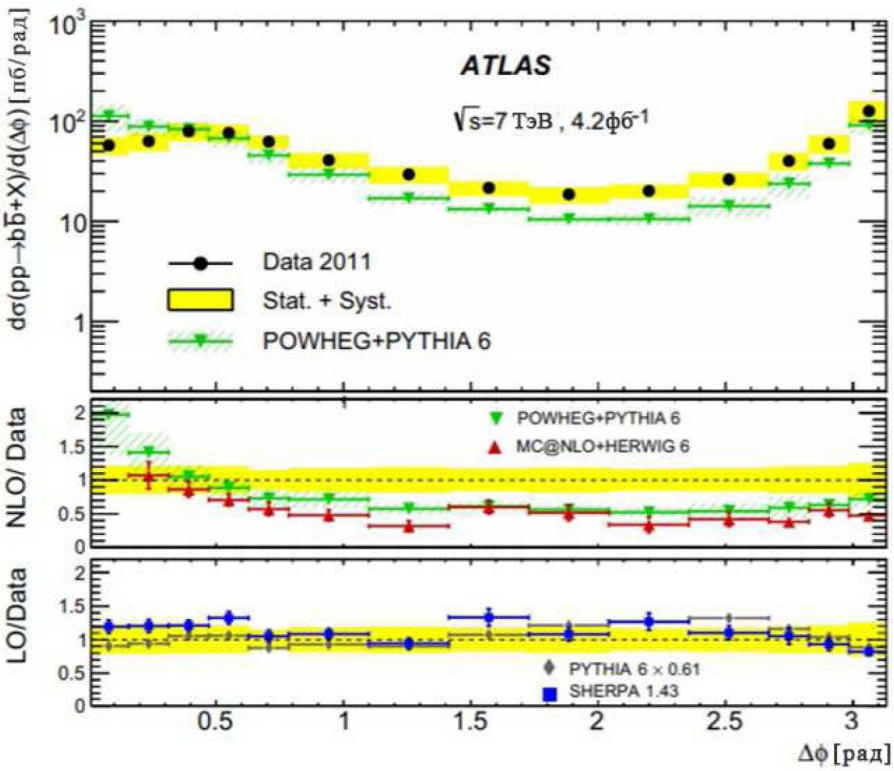

Рис. 1: Дифференциальное сечение рождения пар $b\bar{b}$, как функции разности азимутальных углов двух b струй пары, $\Delta\psi$ при энергии протонных соударений 7 ТэВ [2].

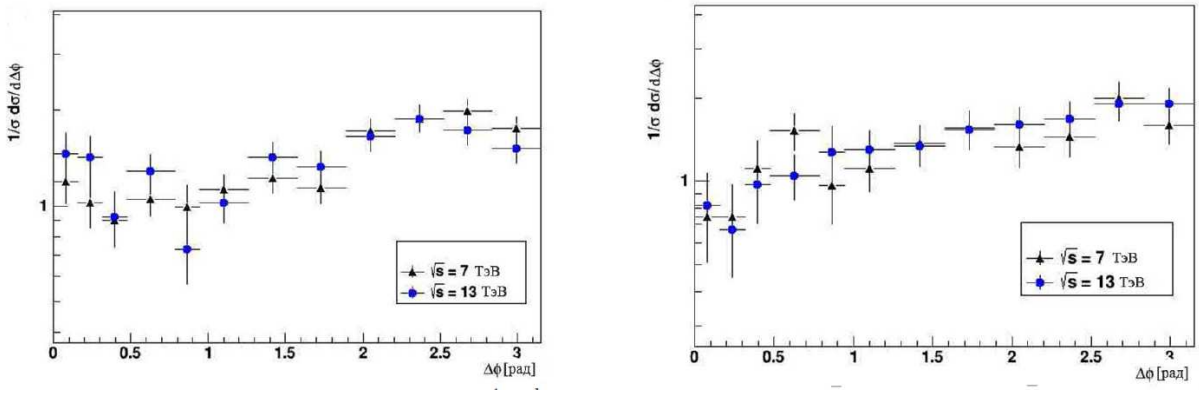

Рис. 2: Дифференциальное сечение $\frac{1}{\sigma}\frac{d\sigma}{d(\Delta\phi)}$ рождения пар $B\bar{B}$-адронов в $b\bar{b}$-струях, как функции азимутального угла между двумя адронами $\Delta\phi$ при энергии pp соударений 7 и 13 ТэВ в центральной области по быстроте (a) и в передней области по быстроте ($б$), для области поперечных импульсов струй 50 ГэВ

2. АНАЛИЗ ПЛОТНОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ *B*-АДРОНОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ p_T И $\Delta\phi$

При энергии 7 ТэВ для центральной области по быстроте распределение в центре оказывается более плавным, чем для передней области. С ростом энергии для центральной области при малой угловой разности $\Delta\phi$, по-видимому, наблюдается увеличение доли событий, что соответствует вкладу механизма расщепления глюона с рождением пары b кварков. За этот механизм в большей степени отвечают следующие за лидирующим вклады КХД. Так же с ростом энергии более явно выражен минимум в районе $\Delta\phi = 1$ рад. Для адронов в струях в центральной области $1 < \Delta\phi < 2$ рад модельное распределение качественно согласуется с распределением, полученным в эксперименте ATLAS [2] (рис. 1). Однако модельное распределение недооценивает экспериментальные дан-

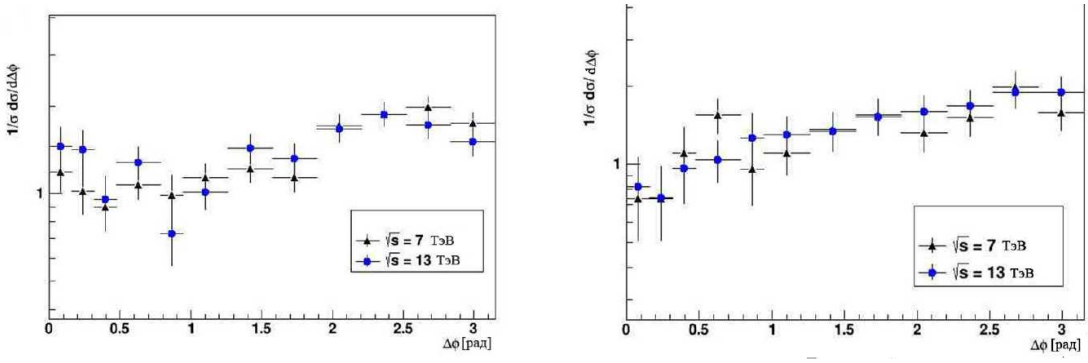

Рис. 3: Дифференциальное сечение $\frac{1}{\sigma}\frac{d\sigma}{d(\Delta\phi)}$ рождения пар $B\bar{B}$-адронов, как функции азимутального угла между двумя B-адронами $\Delta\phi$ при энергии pp соударений 7 и 13 ТэВ в центральной области по быстроте (a) и в передней области по быстроте ($б$), для области поперечных импульсов адронов 10ГэВ

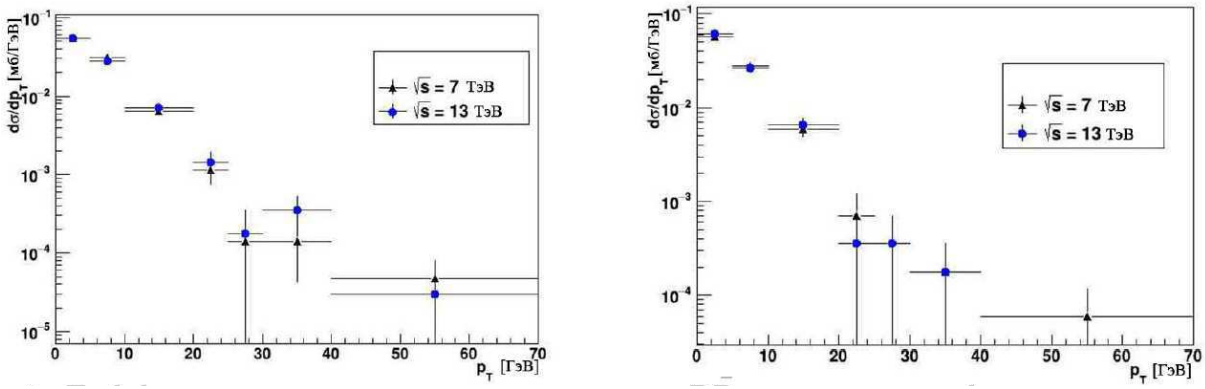

Рис. 4: Дифференциальное сечение рождения $B\bar{B}$-адронов, как функции поперечного импульса p_T системы двух адронов при энергии 7 и 13 ТэВ в центральной области по быстроте (a) и в передней области по быстроте ($б$). Рассматриваются адроны с поперечным импульсом 10ГэВ

ные в области малых углов $\Delta\phi < 0.5$ рад. Расчеты показывают, что распределения по $\Delta\phi$ для центральной и передней областей различаются между собой при обоих энергиях протонных соударений.

Проведен анализ распределений по поперечному импульсу для $B\bar{B}$ пар для различных областей быстроты B-адронов. Результаты измерения этой характеристики рожденных пар B-адронов приведены в работе коллаборации ATLAS [4]. Расчетные распределения $\frac{1}{\sigma}\frac{d\sigma}{dp_T}$ по поперечному импульсу p_T для системы адронов центральной области для быстроты $|y| < 2.5$ и передней области $2 < y < 5$ приведены на рис. 4 a и $б$ соответственно для энергий соударения протонов 7 и 13 ТэВ.

На рис. 5 показано дифференциальное сечение $\frac{1}{\sigma}\frac{d\sigma}{dp_T}$ рождения адронов, в зависимости от поперечного импульса p_T системы $J/\psi, \mu$ при энергии 8 ТэВ в центральной области по быстроте в эксперименте ATLAS [4]. Характер полученных расчетных сечений совпадает с распределениями, полученными в эксперименте ATLAS [4]. Полученные в результате моделирования сечения не содержат учета экспериментальных условий измерений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение отметим, что в работе с помощью генератора PYTHIA 8 выполнено моделирование дифференциальных сечений для адронов для энергий соударения протонов 7 и 13 ТэВ.

Проведено сравнение модельных дифференциальных сечений для парного рождения B-адронов, выполненных в данной работе, и экспериментальных данных для пар b струй при энергии 7 ТэВ по азимутальному углу между струями пары и распределений по поперечному импульсу для адронов при энергии протонных соударений 8 ТэВ.

С ростом энергии, в распределениях по азимутальному углу между кварками в паре для центральной области по быстроте, предсказывается рост в области малых углов $\Delta\phi$, как для адронов, так и для струй.

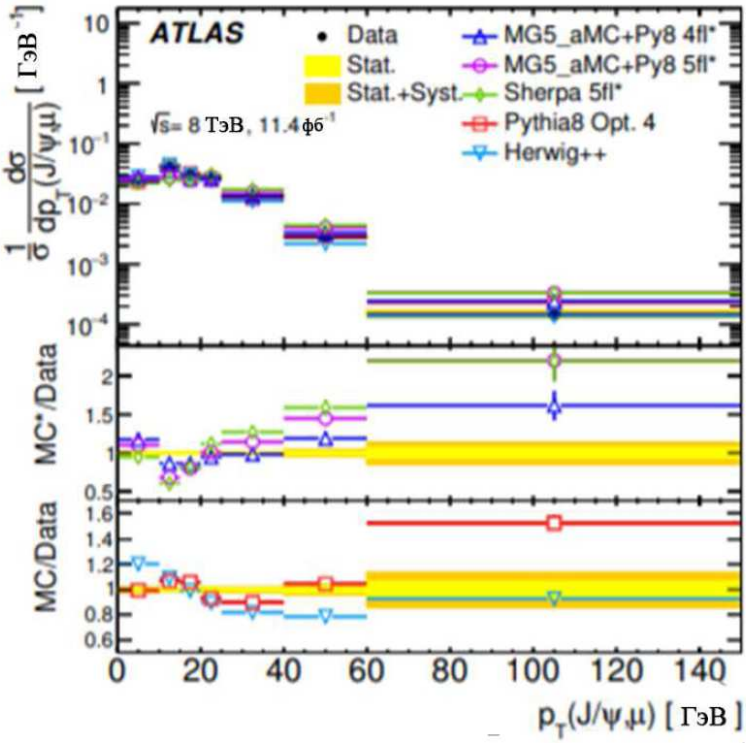

Рис. 5: Дифференциальное сечение рождения $B\bar{B}$ адронов, как функции поперечного импульса p_T системы $J/\psi, \mu$ при энергии 8 ТэВ в центральной области по быстроте в эксперименте ATLAS [4]

[1] *Sjostrand T., Mrenna S., Skands P.* // A Brief Introduction to PYTHIA 8.1. J. Comput. Phys. Commun. 2008. 178, N 1, P. 852.
[2] *Aaboud M., Aad G., Abbott B., Abdinov O., Aben R., Abraham N. L., Abreu H., Abulaiti Y., Adamczyk L., Adelman J.* et al. // Measurement of the bb dijet cross section in *pp* collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector. Eur. Phys. J. 2016. 76, P. 670.
[3] *Sjostrand T., Mrenna S., Skands P.* // Pythia 6.4 Physics and Manual. J. High Energy Phys. JHEP, 2006.
[4] *The ATLAS Collaboration: Aaboud M., Aad G., Abbott B., Abdinov O., Abeloos B., Abidi1 N. H., AbouZeid N. S., Abraham N. L., Abramowicz H., Abreu H.* et al. // Measurement of b-hadron pair production with the ATLAS detector in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV. CERN-EP-2017-057.

Simulating of *B*-hadron pairs in *pp* collisions on the LHC

I. I. Ovcharov

Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University. Moscow 119991, Russia
E-mail: ovcharov-yu@mail.ru

The *b*-quark pair production hard processes were simulated with PYTHIA 8 event generator. The events corresponding to the pair production of *B*-hadrons were selected, spectra were obtained for the azimuthal angle in the pair of *B*-hadrons and the transverse momentum of the pair in *pp* interactions at energies of 7 and 13 TeV for the kinematic regions of the ATLAS and LHCb detectors and various regions with respect to the transverse momentum p_T.

PACS: 13.85.Ni
Keywords: B-hadron spectrum, azimuthal angle, transverse momentum, PYTHIA.
Received 25 March 2020.

Сведения об авторе
Овчаров Юрий Юрьевич — студент; тел.: (495) 932-89-72, e-mail: ovcharov-yu@mail.ru.