

Моделирование рождения В-мезонов в pp соударениях при энергиях БАК

Ю. Ю. Овчаров,* Л. Н. Смирнова

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
физический факультет, кафедра общей ядерной физики
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2
(Статья поступила 19.03.2018; Подписана в печать 26.03.2018)

С помощью генератора PYTHIA 8 выполнено моделирование спектров по поперечному импульсу В-мезонов разного типа в pp взаимодействиях для энергий 7 и 13 ТэВ. Получены отношения спектров для В-мезонов разной природы и энергетическая зависимость этих распределений в интервале 7–13 ТэВ. Показано, что с увеличением энергии спектр становится более жестким.

PACS: 13.85.Ni

УДК: 539.1.07

Ключевые слова: спектр В-мезонов, поперечный импульс, PYTHIA 8.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование В-мезонов является важным направлением исследований на Большом адронном коллайдере (БАК). Представляет интерес анализ механизмов рождения В-мезонов разного типа, в состав которых входят как легкие кварки (u, d, s), так и второй в дополнении к b кварку тяжелый кварк c. Механизмы рождения описываются динамикой сильных взаимодействий, описываемых квантовой хромодинамикой (КХД). Целый ряд задач связан с исследованием распадов В-адронов, где особое внимание связано с поиском редких распадов и эффектов нарушения CP-симметрии.

В данной работе проведено моделирование процессов рождения В-мезонов разной природы при энергиях 7 и 13 ТэВ с помощью генератора событий PYTHIA 8 [1]. В эксперименте ATLAS измерены дифференциальные сечения V^+ в pp взаимодействиях при энергии 7 ТэВ [2]. На рис. 1 приведены дифференциальные сечения V^+ мезонов по поперечному импульсу, интегрированные по быстрой.

Аналогичные измерения проведены в экспериментах LHCb [3] и CMS [4]. В настоящее время ожидаются измерения спектров при 13 ТэВ. В связи с этим актуальной задачей является моделирование спектров В-мезонов с новой версией генератора PYTHIA 8, поскольку сравнение измерений при 7 ТэВ проведено с предсказанием генератора PYTHIA 6 [5]. Вопрос исследований энергетической зависимости дифференциальных сечений В-адронов является важной задачей БАК. Моделирование в современном генераторе, к которым относится PYTHIA 8, так же представляет большой интерес.

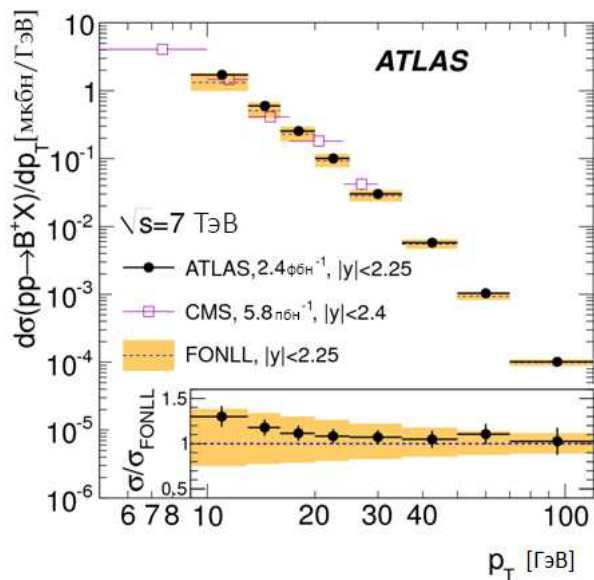


Рис. 1: Дифференциальное сечение V^+ по поперечному импульсу p_T , интегрированное по быстрой при энергии 7 ТэВ в эксперименте ATLAS [2]

1. МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРОВ В-МЕЗОНОВ В ГЕНЕРАТОРЕ PYTHIA 8

PYTHIA 8 — программа — Монте-Карло генератор событий в физике высоких энергий для описания соударений между элементарными частицами. При моделировании задается жесткий процесс КХД рождения В-мезонов с различным кварковым составом в центральной области по быстрой. В результате расчета получены плотности распределения по поперечному импульсу. На рис. 2–5 приведены распределения V^+ , V^- , V_s^0 , V_c^\pm мезонов соответственно, в pp взаимодействии при энергии 13 ТэВ, полученные в результате моделирования. Аппроксимация выполнена степенной функцией p_T^{-n} в программном пакете ROOT. Результаты аппроксимации приведены в табл. I. Аналогичное распределение получено для V^- -мезонов при энергии 7 ТэВ.

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

Таблица I: Результаты аппроксимации спектров для V^+ , V^- , V_s^0 , V_c^\pm мезонов

Мезон	n (χ^2 / ст.св.)	Область по p_T
V^-	3.92 ± 0.06 (49.44 / 19)	$p_T > 7$ ГэВ
V^+	3.96 ± 0.05 (74.93 / 20)	$p_T > 7$ ГэВ
V_s^0	3.74 ± 0.14 (16.92 / 18)	$p_T > 7$ ГэВ
V_c^\pm	1.46 ± 0.39 (5.88 / 9)	$p_T > 3$ ГэВ

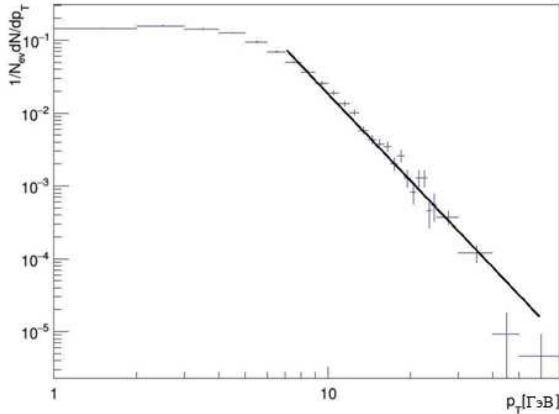


Рис. 2: Распределение V^+ мезонов по p_T в pp-соударениях при $\sqrt{s} = 13$ ТэВ с аппроксимацией $\sim p_T^{-n}$ при $p_T > 7$ ГэВ

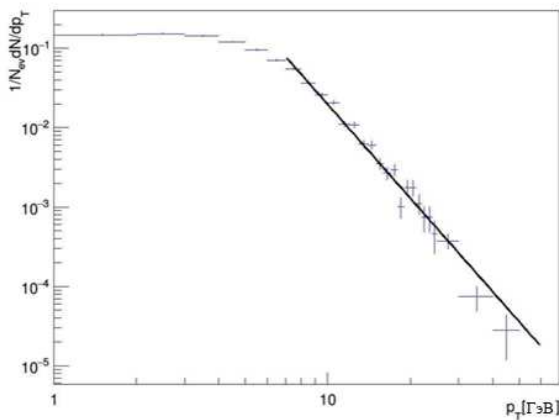


Рис. 3: Распределение V^- мезонов по p_T в pp-соударениях при $\sqrt{s} = 13$ ТэВ с аппроксимацией $\sim p_T^{-n}$ при $p_T > 7$ ГэВ

2. АНАЛИЗ ПЛОТНОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В-МЕЗОНОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ p_T

В работе рассчитаны отношения плотностей распределения по поперечному импульсу V^+ и V^- мезонов при энергии 13 ТэВ (рис. 6), показатель степенной функции равен нулю, а множитель равен 1

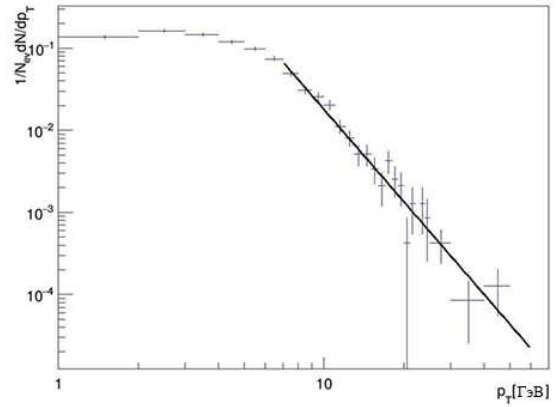


Рис. 4: Распределение V_s^0 мезонов по p_T в pp-соударениях при $\sqrt{s} = 13$ ТэВ с аппроксимацией $\sim p_T^{-n}$ при $p_T > 7$ ГэВ

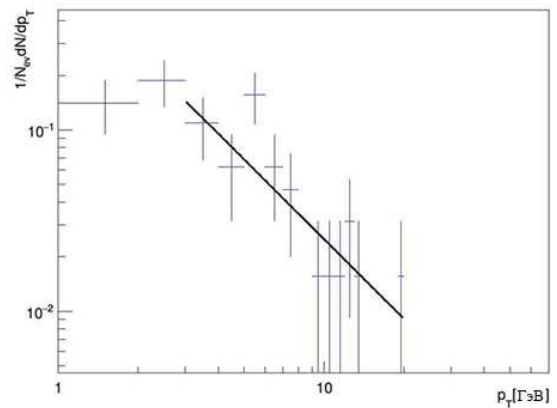


Рис. 5: Распределение V_c^\pm мезонов по p_T в pp-соударениях при $\sqrt{s} = 13$ ТэВ с аппроксимацией $\sim p_T^{-n}$ при $p_T > 3$ ГэВ

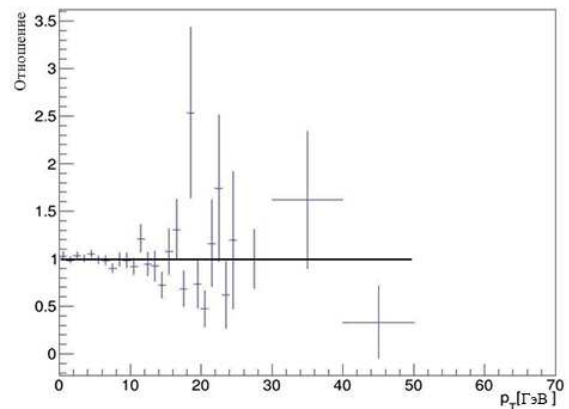


Рис. 6: Отношение распределений V^+ и V^- мезонов по p_T в pp-соударениях при $\sqrt{s} = 13$ ТэВ с аппроксимацией $\sim p_T^0$

Таблица II: Результаты аппроксимации отношений спектров функцией p_T^n

Отношение	n (χ^2 / ст. св.)	Область по p_T
V^+/V^- (13 ТэВ)	$(1.0 \pm 4) \cdot 10^{-4}$ (26.15 / 23)	$p_T > 0$ ГэВ
$V^-(13 \text{ ТэВ})/V^-(7 \text{ ТэВ})$	$(8.9 \pm 4.5) \cdot 10^{-2}$ (7.0 / 23)	$p_T > 3$ ГэВ
V_s^0/V^- (13 ТэВ)	$(0.6 \pm 8.0) \cdot 10^{-2}$ (15.84 / 22)	$p_T > 3$ ГэВ
V_c^\pm/V^- (13 ТэВ)	1.42 ± 0.54 (2.33 / 5)	$p_T > 3$ ГэВ

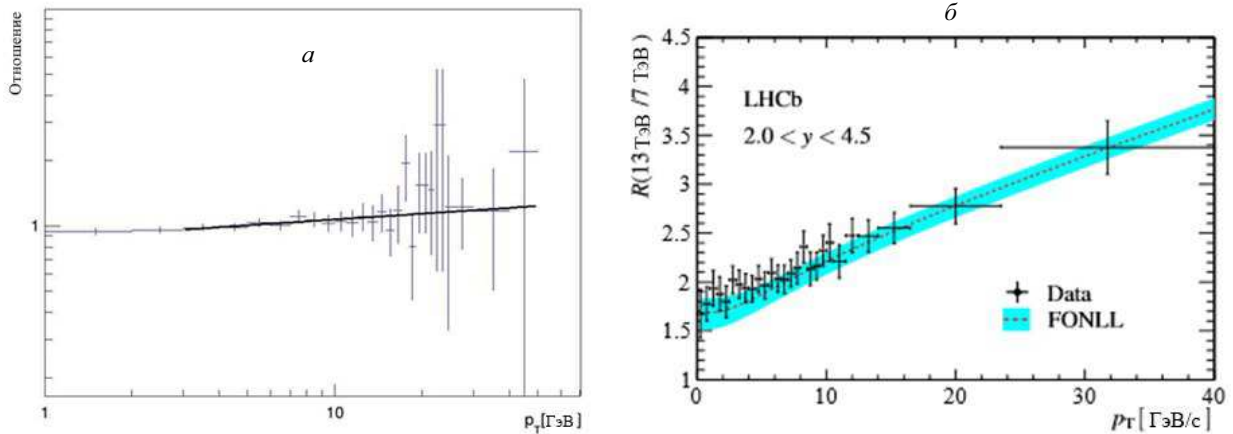


Рис. 7: *a* — Отношение распределений V^- мезонов по p_T в pp -соударениях с энергиями $\sqrt{s} = 13$ ТэВ и $\sqrt{s} = 7$ ТэВ, построенное в PYTHIA 8 с аппроксимацией $\sim p_T^n$ при $p_T > 3$ ГэВ. *б* — Отношение распределений V^+ мезонов по p_T в pp -соударениях с энергиями $\sqrt{s} = 13$ ТэВ и $\sqrt{s} = 7$ ТэВ, полученное в LHCb [6]

Таблица III: Параметры аппроксимации отношений спектра по p_T при $\sqrt{s} = 13$ ТэВ к спектрам при меньших значениях для заряженных частиц. Аппроксимация функцией $\sim p_T^n$

\sqrt{s} , ТэВ	n
0.9	0.84 ± 0.4
2.36	0.48 ± 0.10
7	0.15 ± 0.01
8	0.13 ± 0.01

с точностью до погрешности (0.990 ± 0.014), что соответствует тому, что V^+ и V^- мезоны — это частица и античастица. Так же рассчитаны отношения распределений для V^- мезонов при энергиях 13 ТэВ и 7 ТэВ (рис. 7*a*) и проведено сравнение этого отношения с результатами измерений LHCb при 13 ТэВ и 7 ТэВ [6] (рис. 7*б*). Рассчитано отношение V_s^0 и V^- мезонов при энергиях 13 ТэВ (рис. 8) и отношение V_c^\pm и V^- мезонов при энергиях 13 ТэВ (рис. 9*a*). Последнее сравнивается с результатами LHCb при энергиях 8 ТэВ [7] (рис. 9*б*). Аппроксимация отношений выполнена в программном пакете ROOT, результаты приведены в табл. II. В табл. III представлено сравнение результатов моделирования для V^- мезонов и экспериментальных результатов для заряженных частиц в де-

текторе ATLAS [8]. Видно, что с увеличением энергии спектр становится более жестким. То же самое справедливо для частиц.

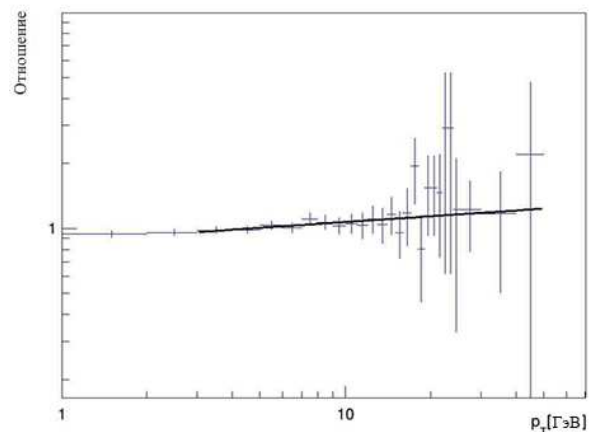


Рис. 8: Отношение распределений V_s^0 и V^- мезонов по p_T в pp -соударениях при $\sqrt{s} = 13$ ТэВ с аппроксимацией $\sim p_T^n$ при $p_T > 3$ ГэВ

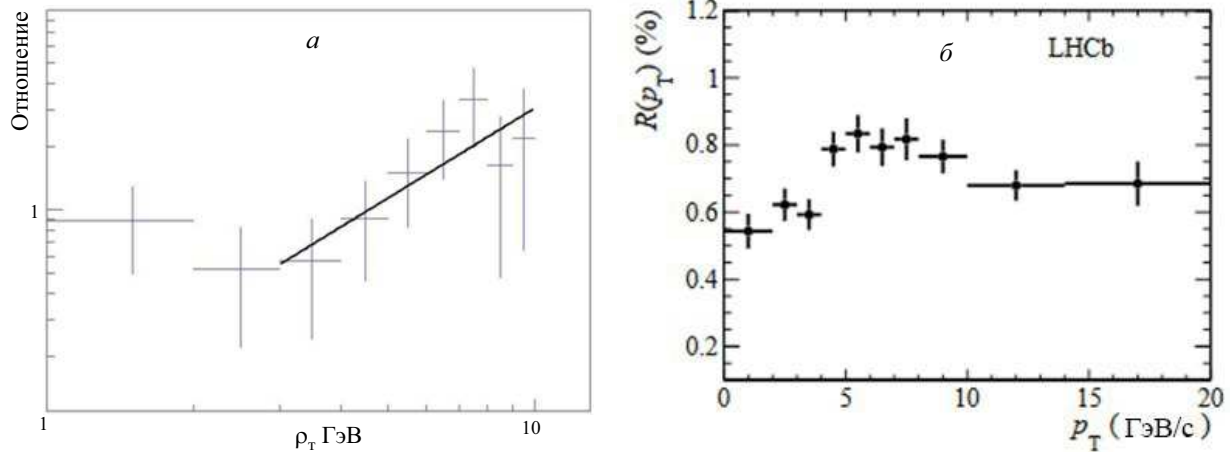


Рис. 9: *a* — Отношение распределений B_c^\pm и B^\mp мезонов по p_T в pp -соударениях с энергией $\sqrt{s} = 13$ ТэВ, построенное в PYTHIA 8 с аппроксимацией $\sim p_T^n$ при $p_T > 3$ ГэВ. *б* — Отношение распределений B_c^\pm и B^\mp мезонов по p_T в pp -соударениях с энергией $\sqrt{s} = 8$ ТэВ, полученное в LHCb [7]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью генератора PYTHIA 8 выполнено моделирование спектров по поперечному импульсу B -мезонов разного типа в pp взаимодействиях для энергий 7 и 13 ТэВ. Получены отношения спектров для B -мезонов разной природы и энергетическая зависимость

этих распределений в интервале 7–13 ТэВ. Проведены расчеты спектров по поперечному импульсу для B_s мезонов и B_c мезонов. Выполнено сравнение расчетных спектров для разных типов B -мезонов. Установлено, что с ростом энергии спектр B -мезонов становится более жестким. С увеличением массы спектр спадает слабее.

[1] Sjostrand T., Mrenna S., Skands P.Z. A Brief Introduction to PYTHIA 8.
 [2] ATLAS collaboration JHEP. 2013. **10**. 042.
 [3] Aaij R. et al. LHCb Collaboration. JHEP. 2012. **04**. 093. [arXiv:1202.4812].
 [4] CMS Collaboration. Phys. Rev. Lett. 2011. **106**. 112001. [arXiv:1101.0131].

[5] Sjostrand T., Mrenna S., Skands P.Z. JHEP. 2006. **05**. 026. [hep-ph/0603175].
 [6] LHCb collaboration CERN-EP-2017-254
 [7] LHCb collaboration CERN-PH-EP-2014-269
 [8] Овчаров Ю. Ю., Смирнова Л. Н. Ученые записки физического ф-та Московского ун-та. 2017. № 3. 173205.

Modeling the production of B -mesons in pp collisions at LHC energies

I. I. Ovcharov^a, L. N. Smirnova

¹Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia

E-mail: ^aovcharov-yu@mail.ru

The spectra of the transverse momentum for B mesons of various types in pp interactions at center-of-mass energies 7 and 13 TeV were simulated with PYTHIA 8 event generator. Spectrum ratios for B -mesons of different nature and the energy dependence of these distributions in the interval 7–13 TeV were obtained. It is shown that the spectra become more hard with increase of the proton collision energy.

PACS: 13.85.Ni

Keywords: B -meson spectrum, transverse momentum, PYTHIA 8.

Received 19 March 2018.

Сведения об авторах

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

2. Смирнова Лидия Николаевна — доктор физ.-мат. наук, профессор; тел.: (495) 932-89-72, e-mail: lns@physics.msu.ru.