

## УТВЕРЖДАЮ

Директор НИЦ «Курчатовский институт»

– ИФВЭ, академик

С.В. Иванов

2019 г.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения «Институт физики высоких энергий» имени А.А. Логанова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ)

Диссертация «Исследование рождения  $\Upsilon(nS)$  мезонов в pp-взаимодействиях при  $\sqrt{s} = 7$  и  $8$  ТэВ в эксперименте LHCb» выполнена в Отделении экспериментальной физики НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ .

В период подготовки диссертации Артамонов Александр Владимирович работал в Отделении экспериментальной физики научным сотрудником. В 1996 году он окончил физический факультет Московского Государственного Университета им. Ломоносова (МГУ), а в 1999 году он окончил аспирантуру физического факультета МГУ. Обучаясь в аспирантуре МГУ, он сдал все кандидатские экзамены по предметам «Физика», «Философия» и «Английский язык». Поскольку с 2007 года предмет «Философия» изменился на предмет «История и философия науки», в июне 2018 года он сдал кандидатский экзамен по предмету «История и философия науки».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник Отделения экспериментальной физики НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ Образцов Владимир Фёдорович.

По итогам обсуждения на заседании семинара Отделения экспериментальной физики НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ принято следующее заключение:

Диссертационная работа по теме «Исследование рождения  $\Upsilon(nS)$  мезонов в pp-взаимодействиях при  $\sqrt{s} = 7$  и  $8$  ТэВ в эксперименте LHCb» выполнена на высоком научном уровне при непосредственном участии соискателя. Диссертация представляет из себя два связанных между собой экспериментальных исследования, посвященных измерению дифференциальных сечений рождения  $\Upsilon(1S)$ ,  $\Upsilon(2S)$  и  $\Upsilon(3S)$  мезонов, и измерению поляризации (спиновой выстроенности) этих векторных мезонных состояний. Для проведения этих исследований использовалась вся статистика данных, набранная на установке LHCb в pp-столкновениях при энергиях  $\sqrt{s} = 7$  и  $8$  ТэВ с интегральными светимостями  $1$  и  $2 \text{ фб}^{-1}$ , соответственно. Данные, соответствующие энергиям  $\sqrt{s} = 7$  ТэВ и  $\sqrt{s} = 8$  ТэВ, набирались на установке LHCb в 2011 и 2012 годах, соответственно. Для отбора каждого  $\Upsilon$  состояния использовался димьюонный распадный канал  $\Upsilon \rightarrow \mu^+ \mu^-$ . Дифференциальные сечения и поляризации  $\Upsilon(nS)$  мезонов измерялись как функции поперечного импульса и быстроты соответствующего  $\Upsilon$  мезона в кинематической области  $p_T < 30 \text{ ГэВ}/c$  и  $2.0 < y < 4.5$ .

Диссертант принимал активное участие в физическом анализе данных международного эксперимента LHCb. Он внес основной вклад в экспериментальное исследование инклюзивного рождения  $\Upsilon(1S)$ ,  $\Upsilon(2S)$  и  $\Upsilon(3S)$  мезонов в pp-взаимодействиях при энергиях  $\sqrt{s} = 7$  и 8 ТэВ на установке LHCb в сеансах 2011 и 2012 годов. В этих исследованиях диссертантом были измерены дважды дифференциальные сечения инклюзивного образования  $\Upsilon(1S)$ ,  $\Upsilon(2S)$  и  $\Upsilon(3S)$  мезонов, и проведено измерение поляризационных параметров указанных мезонов. Диссертантом была также разработана методика измерения эффективности мюонной идентификации установки LHCb, для которой использовались экспериментальные данные димюонного распада  $J/\psi$  мезона. Полученная с помощью этой методики эффективность мюонной идентификации в дальнейшем успешно использовалась в экспериментальных исследованиях коллаборации LHCb.

В рамках диссертационной работы были получены следующие результаты:

1. Измерены дважды дифференциальные сечения инклюзивного рождения  $\Upsilon(1S)$ ,  $\Upsilon(2S)$  и  $\Upsilon(3S)$  мезонов в pp-столкновениях при энергиях  $\sqrt{s} = 7$  и 8 ТэВ. Сечения, а также всевозможные отношения этих сечений были измерены как функции поперечного импульса и быстроты соответствующего  $\Upsilon$  мезона в кинематической области  $p_T < 30$  ГэВ/с и  $2.0 < y < 4.5$ . В результате этих измерений был получен  $\approx 30\%$  рост сечений образования  $\Upsilon(nS)$  мезонов при переходе от  $\sqrt{s} = 7$  ТэВ к  $\sqrt{s} = 8$  ТэВ, подтверждающий предыдущие предварительные результаты коллаборации LHCb. Новые результаты этой диссертационной работы были получены на значительно более высокой статистике и с меньшей систематической неопределенностью, поэтому, являясь более точными измерениями, они заменяют предыдущие измерения коллаборации LHCb.
2. Впервые проведен поляризационный анализ  $\Upsilon(1S)$ ,  $\Upsilon(2S)$  и  $\Upsilon(3S)$  мезонов, инклюзивно образованных в pp-взаимодействиях при энергиях  $\sqrt{s} = 7$  и 8 ТэВ в кинематической области  $p_T < 30$  ГэВ/с и  $2.2 < y < 4.5$ . Поляризационный анализ  $\Upsilon(nS)$  мезонов проводился в HX, CS и GJ системах, в которых изучались угловые распределения  $\mu^+$  в системе покоя соответствующего  $\Upsilon$  мезона, путем использования димюонного распадного канала  $\Upsilon \rightarrow \mu^+ \mu^-$ . Для каждого  $\Upsilon$  мезона поляризационные параметры  $\lambda_\theta$ ,  $\lambda_{\phi\phi}$  и  $\lambda_\phi$ , а также инвариантный параметр  $\lambda$  были измерены как функции  $p_T$  и  $y$ . Значения поляризационного параметра  $\lambda_\theta$  не показывают какую-либо значительную продольную или поперечную спиновую выстроенность у  $\Upsilon(nS)$  мезонов во всей исследованной кинематической области и во всех трех рассмотренных поляризационных системах. Что касается значений параметров  $\lambda_{\phi\phi}$  и  $\lambda_\phi$ , то они малы во всех трех системах и во всей рассмотренной кинематической области. Значения инвариантного параметра  $\lambda$ , полученные в HX, CS, и GJ системах, хорошо совпадают между собой в пределах ошибок. Поляризационные результаты, соответствующие энергиям  $\sqrt{s} = 7$  и 8 ТэВ, находятся в хорошем согласии между собой. Несмотря на разные кинематические области, определяемые быстротой  $y$ , полученные в диссертационной работе поляризационные результаты для  $\Upsilon(nS)$  мезонов хорошо сшиваются с результатами коллаборации CMS.
3. Разработана методика измерения эффективности мюонной идентификации на установке LHCb. Для этого использовался димюонный распадный канал  $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$ , который был изучен на всей статистике экспериментальных данных, набранной на установке LHCb в 2011 и 2012 годах. Полученная эффективность мюонной идентификации успешно использовалась в дальнейших экспериментальных исследованиях коллаборации LHCb.

Полученные результаты регулярно докладывались и обсуждались на рабочих и пленарных совещаниях международной коллаборации LHCb, а также докладывались соискателем на следующих международных конференциях:

- The 3rd Annual Large Hadron Collider Physics Conference, Saint Petersburg, Russia, 31 Aug – 5 Sep 2015 (LHCp 2015).
- Международная Сессия-конференция Секции ядерной физики ОФН РАН, ОИЯИ, г. Дубна, Россия, 12 – 15 апреля, 2016 г.
- XVII Advanced Research Workshop on High Energy Spin Physics, ОИЯИ, г. Дубна, Россия, 11 – 15 сентября, 2017 г. (DSPIN-17)

Дополнительно, результаты, изложенные в представленной диссертации, также докладывались сотрудниками коллаборации LHCb на следующих международных конференциях:

- The 6th international workshop QCD@LHC 2015, г. Лондон, Великобритания, 1 - 5 сентября, 2015 г. (2 доклада)
- The 23rd Low-x Meeting 2015, г. Сандомир, Польша, 1 - 5 сентября, 2015 г.
- Kruger-2016 - Workshop on Discovery Physics at the LHC, г. Мпумаланга, ЮАР, 4 - 9 декабря, 2016 г.
- Higgs Maxwell Workshop, The b-quark at 40, г. Эдинбург, Великобритания, 8 февраля, 2017 г.
- The 12th International Workshop on Heavy Quarkonium, г. Пекин, Китай, 6 - 10 ноября, 2017 г.
- The 7th Workshop «Implications of LHCb Measurements and Future Prospects», г. Женева, Швейцария, 8 - 10 ноября, 2017 г.
- The Third China LHC Physics Workshop, CLHCp 2017, г. Нанджинг, Китай, 22 - 24 декабря, 2017 г.
- Santa Fe Jets and Heavy Flavor Workshop, г. Санта Фе, США, 29 - 31 января, 2018 г.
- QCD@LHC 2018 international conference, QCD@LHC 2018, г. Дрезден, Германия, 27 - 31 августа, 2018 г.
- The 8th Workshop «Implications of LHCb Measurements and Future Prospects», г. Женева, Швейцария, 17 - 19 октября, 2018 г.

Научные публикации, содержащие основные результаты диссертации:

1. R.Aaij, ..., A.Artamonov *et al.*, «Forward production of  $\Upsilon$  mesons in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7$  and 8 TeV», *JHEP* **11** (2015) 103, DOI: 10.1007/JHEP11(2015)103, arXiv: 1509.02372 [hep-ex]
2. R.Aaij, ..., A.Artamonov *et al.*, «Measurement of the  $\Upsilon(nS)$  polarizations in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7$  and 8 TeV», *JHEP* **12** (2017) 110, DOI: 10.1007/JHEP12(2017)110, arXiv: 1709.01301 [hep-ex]
3. A.Artamonov (on behalf of the LHCb collaboration), «Production of  $\Upsilon$  mesons in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7$  and 8 TeV in the LHCb experiment», *Phys. Part. Nuclei* **48** (2017) 841, DOI: 10.1134/S1063779617060065
4. A.Artamonov (on behalf of the LHCb collaboration), « $\Upsilon(nS)$  polarizations in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7$  and 8 TeV by the LHCb collaboration», *J. Phys.: Conf. Ser.* **938** (2017) 012001, DOI: 10.1088/1742-6596/938/1/012001, arXiv: 1711.02404 [hep-ex]

Во введении диссертации использовалась обзорная публикация по экспериментальным результатам коллаборации LHCb:

- A.Artamonov, «Charmonia production at LHCb», *Mod. Phys. Lett.* **A28** (2013) 1330037, DOI: 10.1142/S0217732313300371

Тематика работы полностью соответствует специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Диссертация Артамонова Александра Владимировича «Исследование рождения  $\Upsilon(nS)$  мезонов в pp-взаимодействиях при  $\sqrt{s} = 7$  и 8 ТэВ в эксперименте LHCb» рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий

Заключение принято на заседании семинара Отделения экспериментальной физики НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ. Присутствовало на заседании 34 человека, среди которых 11 докторов и 10 кандидатов физико-математических наук. Результаты открытого голосования: «за» – 32 человека, «против» – 0 чел., «воздержались» – 2 чел., протокол № 24/18 от 26 декабря 2018 г.

Секретарь семинара ОЭФ,  
д. ф.-м. н., в.н.с.  
НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ

  
С.А. Садовский