

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 201.004.01,

созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения «Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», по диссертации «Исследование рождения $Y(nS)$ мезонов в pp-взаимодействиях при $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ в эксперименте LHCb»

НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 24 октября 2019 г. № _____

О присуждении **Артамонову Александру Владимировичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование рождения $Y(nS)$ мезонов в pp-взаимодействиях при $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ в эксперименте LHCb» по специальности 01.04.23 — физика высоких энергий принята к защите 21.02.2019 (протокол заседания № 2019-2) диссертационным советом Д 201.004.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения «Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», 142281, пл. Науки, д.1, г. Протвино Московской области, приказ Минобрнауки РФ № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Артамонов Александр Владимирович, 1972 года рождения, окончил аспирантуру физического факультета Московского Государственного Университета им. Ломоносова в 1999 году, работает научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».

Диссертация выполнена в Отделении экспериментальной физики Федерального государственного бюджетного учреждения «Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».

Научный руководитель — доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник НИЦ «Курчатовский институт» — ИФВЭ, Образцов Владимир Фёдорович

Официальные оппоненты:

Гаврилов Владимир Борисович, гражданин РФ, доктор физико-математических наук, начальник лаборатории НИЦ «Курчатовский институт» — ИТЭФ;

Теряев Олег Валерианович, гражданин РФ, доктор физико-математических наук, начальник отдела Лаборатории физики высоких энергий ОИЯИ;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация — Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ), г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Панасюком Михаилом Игоревичем, доктором физико-математических наук, профессором, директором

НИИЯФ имени Д.В.Скобельцина МГУ имени М.В.Ломоносова и Боосом Эдуардом Эрнстовичем, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим Отделом экспериментальной физики высоких энергий НИИЯФ МГУ, указала, что диссертация А.В. Артамонова отвечает всем требованиям, установленным в «Положении о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 — физика высоких энергий.

Соискатель имеет 4 печатные работы по теме диссертации, опубликованные в рецензируемых научных изданиях и являющиеся официальными публикациями коллаборации LHCb, что подтверждает их высокую достоверность:

1. R.Aaij, ..., A.Artamonov *et al.*, «Forward production of Υ 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 Υ 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]

Дополнительно, во введении диссертации использовалась написанная соискателем обзорная статья, посвященная экспериментальным результатам коллаборации LHCb:

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

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

а) оппонента Гаврилова Владимира Борисовича, который сделал следующие замечания к диссертационной работе:

1. интересно было бы сравнить эффективности мюонной идентификации, найденные для данных эксперимента и для моделированных событий, что позволило бы оценить качество моделирования деталей реконструкции и идентификации мюонов;
2. диссертант отмечает хорошее согласие полученных данных с расчетами по модели цветовых октетов для зависимости сечений от быстроты, однако зависимость от быстроты отношений сечений для 8 и 7 ТэВ находится в резком противоречии с этой моделью образования $\Upsilon(nS)$ мезонов; так как данная модель предназначена для описания прямого рождения $\Upsilon(nS)$ мезонов, то было бы интересно оценить, какая доля событий в инклюзивном образовании отвечает распадам более высоких состояний кваркониев и как она зависит от быстроты;

3. не обошлось без неудачной терминологии; например, при описании Таблицы 3.3 на стр. 76 сказано: «В этой таблице систематические неопределенности выражены в процентах по отношению к соответствующим статистическим неопределенностям», тогда как в заголовке этой таблицы говорится об относительных систематических ошибках, то есть об отношении этих ошибок к самим измеряемым величинам, а не к их статистическим ошибкам.

б) оппонента Теряева Олега Валериановича, указавшего что, возможно, имело смысл специально отметить, что формула (4.1) справедлива при условии, что плоскость ($\chi\psi$), от которой отсчитывается азимутальный угол, содержит импульсы пучков, что, впрочем, выполняется для всех выбираемых систем координат.

в) ведущей организации (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова), сделавшей следующие замечания:

1. в 1-ой главе диссертации используются некоторые величины, для которых не приведены их формальные определения;
2. в 3-ей главе диссертации в Таблице 3.1 для некоторых величин используются обозначения, которые можно неоднозначно интерпретировать;
3. формула (3.5) в 3-й главе диссертации определяет эффективность регистрации Y -мезона. Соответственно, множители в этой формуле — это эффективности (реконструкции, триггирования, идентификации) ди-мюонного объекта. Однако, величина ϵ_{ID} , определенная из экспериментальных данных во 2-й главе, относится только к одиночным мюонам. Из текста не ясно, как эта величина соотносится с $\epsilon_{ID}(Y)$ из формулы (3.5). Если считалось, что $\epsilon_{ID}(Y) = \epsilon_{ID}(\mu^+) \times \epsilon_{ID}(\mu^-)$, то это предположение должно быть обосновано, так как возможна корреляция эффективностей идентификации двух мюонов при малых углах между направлениями их вылета в системе детектора вследствие конечной угловой разрешающей способности детектора, что может привести к уменьшению эффективности мюонной идентификации для таких событий;
4. в разделе 3.4 (стр.79) упомянута «...ещё одна систематическая неопределенность, которая составляла 0.4% на каждый трек [31]», однако, ничего не сказано об источнике этой неопределенности. Работа [31] также не содержит информации об этом;
5. отмечается ряд стилистических неточностей и применение жаргонных терминов;
6. излишнее использование транслитерации англоязычных терминов при наличии русскоязычных эквивалентов;
7. в Приложении В нумерация таблиц начинается с номера 2, однако Таблица 1 в работе отсутствует.

Во всех поступивших отзывах дана общая положительная оценка на диссертацию, а также указано, что соискатель заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 — физика высоких энергий.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что Гаврилов Владимир Борисович и Теряев Олег Валерианович являются известными российскими учеными, активно работающими в области физики высоких энергий и обладающими высочайшим уровнем экспертизы в вопросах, на которых сосредоточена диссертация. Выбор ведущей организации обосновывается тем, что Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ), является лидирующим международным центром в области экспериментальной и теоретической физики высоких энергий и атомного ядра и обладает исключительной компетенцией по теме диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- 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 различные отношения этих сечений были измерены как функции поперечного импульса и скорости соответствующего Υ мезона в кинематической области $p_t < 30$ ГэВ/с и $2.0 < y < 4.5$. Новые результаты диссертационной работы были получены на значительно более высокой статистике и с меньшей систематической неопределенностью, а также в расширенной кинематической области $\Upsilon(nS)$ мезонов, поэтому, являясь более точными измерениями, они заменяют предыдущие результаты измерений коллаборации LHCb.
- впервые проведен поляризационный анализ векторных $\Upsilon(1S)$, $\Upsilon(2S)$ 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 $2.2 < y < 4.5$. Измерение поляризационных параметров λ_θ , $\lambda_{\theta\phi}$ и λ_ϕ проводилось для $\Upsilon(nS)$ мезонов в HX, CS и GJ системах, в которых изучалось угловое распределение μ^+ в системе покоя соответствующего Υ мезона. Для каждого $\Upsilon(nS)$ мезона поляризационные параметры λ_θ , $\lambda_{\theta\phi}$ и λ_ϕ , а также инвариантный параметр λ были измерены как функции p_t и y . Значения поляризационного параметра λ_θ не показывают большую продольную или поперечную спиновую выстроенность y изученных $\Upsilon(nS)$ мезонов во всей исследованной кинематической области и во всех трех рассмотренных системах. Что касается значений параметров $\lambda_{\theta\phi}$ и λ_ϕ , то они близки к нулю во всех трех системах и во всей рассмотренной кинематической области. Значения инвариантного параметра λ , полученные в HX, CS, и GJ системах, хорошо совпадают между собой в пределах ошибок. Полученные поляризационные результаты для $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ находятся в хорошем согласии между собой. Поляризационные результаты для $\Upsilon(nS)$ мезонов, полученные в диссертационной работе, хорошо сшиваются с результатами, полученными коллаборацией CMS при $\sqrt{s} = 7$ ТэВ.
- разработана методика измерения эффективности мюонной идентификации на установке LHCb. Для этого использовался распад $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$ на всей статистике экспериментальных данных, набранной на установке LHCb в 2011 (при $\sqrt{s} = 7$ ТэВ) и 2012 (при $\sqrt{s} = 8$ ТэВ) годах. Полученная эффективность мюонной идентификации успешно использовалась в экспериментальных исследованиях коллаборации LHCb.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

до 2015 года измерение сечений рождения $\Upsilon(1S)$, $\Upsilon(2S)$ и $\Upsilon(3S)$ мезонов в протон-протонных (pp) столкновениях Большого Адронного Коллайдера (БАК) было проведено на установках ATLAS и CMS при энергии $\sqrt{s} = 7$ ТэВ в центральных кинематических областях $|y| < 2.25$ и $|y| < 2.4$, соответственно. Установка LHCb покрывает уникальный для БАК диапазон псевдобыстроты $1.8 < \eta < 4.9$. Первые измерения сечений рождения $\Upsilon(nS)$ мезонов в pp-столкновениях БАК проводились коллаборацией LHCb на данных 2010 года, которые были набраны при энергии $\sqrt{s} = 7$ ТэВ с интегральной светимостью 25 пб^{-1} , а также на неполных данных 2012 года, набранных при энергии $\sqrt{s} = 8$ ТэВ с интегральной светимостью 50 пб^{-1} . В обоих исследованиях кинематические диапазоны быстроты и поперечного импульса $\Upsilon(nS)$ мезонов определялись интервалами $2.0 < y < 4.5$ и $p_t < 15$ ГэВ/с, соответственно. В данном диссертационном исследовании проведено новое измерение сечений рождения $\Upsilon(nS)$ мезонов в pp-столкновениях при энергиях $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ с использованием всей статистики данных коллаборации LHCb, набранной в 2011 и 2012 годах с интегральными светимостями 1 и 2 фб^{-1} , соответственно. То есть новые результаты диссертационной работы были получены на в сорок раз большей статистике и, как следствие, с меньшей систематической неопределенностью, а также в расширенной кинематической области $2.0 < y < 4.5$ и $p_t < 30$ ГэВ/с. Являясь более точными измерениями, новые результаты заменяют предыдущие результаты измерений коллаборации LHCb.

Что касается поляризационных исследований $\Upsilon(nS)$ мезонов, то необходимо отметить, что в настоящее время не существует хорошо разработанной теории, которая могла бы одинаково успешно описать сечения рождения тяжелых кваркониев и их поляризацию (спиновую выстроенность). До недавнего времени поляризационные исследования тяжелых кваркониев сводились к измерению одного единственного параметра λ_θ как функции поперечного импульса исследуемого мезона. Иногда такие измерения проводились в разных координатных системах, что приводило к неоднозначной интерпретации полученных результатов. Поэтому поляризационные результаты, полученные до 2011 года, являются не полными и даже противоречивыми. Экспериментальная ситуация в поляризационной физике тяжелых кваркониев начала постепенно улучшаться после 2011 года, когда стали поступать новые результаты с БАК. Поэтому было принято решение провести полный угловой анализ (измерение трёх P-четных поляризационных параметров λ_θ , $\lambda_{\theta\phi}$ и λ_ϕ) векторных $\Upsilon(nS)$ состояний, инклюзивно рождённых в pp-столкновениях при энергиях $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ, используя для этого всю статистику данных, набранную на установке LHCb в 2011 и 2012 годах, соответственно. Проведение этого поляризационного анализа в уникальной кинематической области эксперимента LHCb позволит существенно улучшить экспериментальную ситуацию, которая сложилась в последнее время в физике тяжелых кваркониев, когда наблюдается не только противоречие между теорией и экспериментом, но и противоречие между различными экспериментальными результатами.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

Результаты диссертационной работы были получены в уникальной кинематической области эксперимента LHCb. В настоящее время не существует хорошо разработанной теории, которая

могла бы одинаково успешно описать сечения рождения тяжелых кваркониев и их спиновую выстроенность. Поэтому полученные результаты послужат дальнейшему развитию физики тяжелых кваркониев и, в частности, развитию теории NRQCD, которая в настоящее время испытывает определенные трудности. Эти результаты станут также хорошим экспериментальным материалом для настройки моделей, описывающих столкновение релятивистских тяжелых ионов. Полученные результаты были занесены в мировую базу данных HEPData для дальнейшей разработки теоретических моделей и для моделирования рождения $\Upsilon(nS)$ мезонов в pp-столкновениях при энергиях $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ. Также, разработанная в диссертации методика измерения эффективности мюонной идентификации на установке LHCb успешно использовалась в экспериментальных исследованиях коллаборации LHCb.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

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, описанное в диссертации, было выполнено в рамках научной программы эксперимента LHCb. Создание и эксплуатация научного оборудования, реконструкция и анализ данных в LHCb проходит многоступенчатую проверку внутри коллаборации, что обеспечивает надежность опубликованных результатов. При измерении дифференциальных сечений образования $\Upsilon(1S)$, $\Upsilon(2S)$ и $\Upsilon(3S)$ мезонов в pp-взаимодействиях при энергиях $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ на установке LHCb в сеансах 2011 и 2012 годов использовались два метода определения сечений. Оба метода давали согласованные результаты. При измерении поляризационных параметров λ_θ , $\lambda_{\theta\phi}$ и λ_ϕ векторных мезонных состояний $\Upsilon(nS)$ использовался современный метод, который успешно применялся в предыдущих исследованиях коллаборации LHCb, посвященных поляризационным измерениям J/ψ и $\psi(2S)$ мезонов. Результаты диссертации были утверждены коллаборацией LHCb, имеющей значительный опыт успешного выполнения подобных работ. Две основные работы диссертации были опубликованы в ведущем научном журнале JHEP (с импакт-фактором 5.833 за 2018 год), что также подтверждает их высокую достоверность.

Личный вклад соискателя состоит в том, что:

автор диссертации 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 $\Upsilon(nS)$ мезонов, и проведено измерение поляризационных параметров λ_θ , $\lambda_{\theta\phi}$ и λ_ϕ этих векторных мезонных состояний. Диссертантом была также разработана методика измерения эффективности мюонной идентификации установки LHCb, для которой использовались экспериментальные данные димюонного распада J/ψ мезона. Полученная с помощью этой методики эффективность мюонной идентификации успешно использовалась в экспериментальных исследованиях коллаборации LHCb. Вышеперечисленное подтверждается официальным письмом коллаборации LHCb, подписанным координатором физических измерений коллаборации LHCb Мэтью Чарльзом. Коллаборация LHCb согласна на использование

опубликованных результатов эксперимента для защиты диссертации А.В.Артамонова по указанной теме.

На заседании 24 октября 2019 г. диссертационный совет принял решение присудить Артамонову А.В. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 6 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 19, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель
диссертационного совета



Тюрин Н.Е.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Рябов Ю.Г.

24 октября 2019 г.