

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» — ИФВЭ)

24 октября 2019 г.

Заседание Диссертационного совета
Д 201.004.01
Протокол № 2019-4

Стенограмма заседания Диссертационного совета Д 201.004.01

Защита диссертации Артамонова Александра Владимировича
«Исследование рождения $\Upsilon(nS)$ мезонов в pp-взаимодействиях при $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ в эксперименте LHCb»

на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.23 — физика высоких энергий

Председательствующий: председатель Диссертационного совета Д 201.004.01 доктор физико-математических наук, профессор Тюрин Николай Евгеньевич

Секретарь: ученый секретарь Диссертационного совета Д 201.004.01 кандидат физико-математических наук Рябов Юрий Григорьевич

Всего членов Диссертационного совета: 22 человека

Присутствует: 19 человек

На заседании присутствуют следующие члены Диссертационного совета:

1. Тюрин Н.Е., доктор ф.-м.н., 01.04.02 - председатель;
2. Зайцев А.М., доктор ф.-м.н., 01.04.23 - заместитель председателя;
3. Рябов Ю.Г., канд. ф.-м.н., 01.04.23 - ученый секретарь диссовета;
4. Арбузов Б.А., доктор ф.-м.н., 01.04.02;
5. Герштейн С.С., доктор ф.-м.н., 01.04.02;
6. Денисов С.П., доктор ф.-м.н., 01.04.23;
7. Зайцев Ю.М., доктор ф.-м.н., 01.04.23;
8. Иванов С.В., доктор ф.-м.н., 01.04.20;
9. Качанов В.А., доктор ф.-м.н., 01.04.23;
10. Козуб С.С., доктор ф.-м.н., 01.04.20;
11. Мочалов В.В., доктор ф.-м.н., 01.04.23;
12. Образцов В.Ф., доктор ф.-м.н., 01.04.23;
13. Петров В.А., доктор ф.-м.н., 01.04.02;
14. Разумов А.В., доктор ф.-м.н., 01.04.02;
15. Саврин В.И., доктор ф.-м.н., 01.04.02;
16. Сенько В.А., доктор ф.-м.н., 01.04.20;
17. Ткаченко Л.М., доктор ф.-м.н., 01.04.20;
18. Федотов Ю.С., доктор ф.-м.н., 01.04.20;
19. Чесноков Ю.А., доктор ф.-м.н., 01.04.20.

Диссертационный совет Д 201.004.01 утверждён приказом по Федеральной службе по надзору в сфере образования и науки № 105/нк от 11 апреля 2002 года в составе 22 человек. На заседании присутствуют 19 членов совета, из них 6 докторов наук по специальности 01.04.23 — физика высоких энергий, кворум имеется. На заседании присутствует также официальный оппонент доктор физ.-мат. наук Гаврилов Владимир Борисович.

Н.Е.Тюрин объявляет повестку дня: Сегодня на повестке дня защита кандидатской диссертации Артамонова Александра Владимировича «Исследование рождения $\Upsilon(nS)$ мезонов в pp-взаимодействиях при $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ в эксперименте LHCb» по специальности 01.04.23 — физика высоких энергий.

Ю.Г.Рябов представляет материалы, имеющиеся в деле: А.В.Артамонов, 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». Представленная к защите диссертация выполнена в Отделении экспериментальной физики, принята к защите диссертационным советом Д 201.004.01 21 февраля 2019 года. Совет утвердил официальными оппонентами Гаврилова Владимира Борисовича — НИЦ «Курчатовский институт» — ИТЭФ, Теряева Олега Валериановича — ОИЯИ, ведущую организацию — Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова (МГУ). У соискателя 4 опубликованных работы по теме диссертации, которые были опубликованы в рецензируемых научных изданиях. В деле имеются все документы, соответствующие требованиям ВАК для защиты диссертаций.

Н.Е.Тюрин Спасибо. Есть вопросы? Тогда мы предоставляем слово А.В.Артамонову для представления диссертационной работы.

А.В.Артамонов: Добрый день, уважаемые коллеги. Вашему вниманию я собираюсь представить диссертационный доклад по теме «Исследование рождения $\Upsilon(nS)$ мезонов в pp-взаимодействиях при $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ в эксперименте LHCb».

Общая характеристика диссертационной работы. Диссертация состоит из двух связанных между собой экспериментальных исследований, посвященных измерению дважды дифференциальных сечений рождения $\Upsilon(1S)$, $\Upsilon(2S)$ и $\Upsilon(3S)$ мезонов, и измерению поляризационных параметров λ_θ , $\lambda_{\theta\phi}$ и λ_ϕ этих векторных мезонных состояний, инклюзивно образованных в протон-протонных (pp) столкновениях Большого Адронного Коллайдера (ЦЕРН, г.Женева, Швейцария) при энергиях $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ. Для проведения этих исследований использовались данные международного эксперимента LHCb. Данные, соответствующие энергиям $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ, были набраны на установке LHCb в 2011 и 2012 годах с интегральными светимостями 1 и 2 фб⁻¹, соответственно. Для селекции каждого Υ состояния использовался димюонный распад $\Upsilon \rightarrow \mu^+\mu^-$. Дифференциальные сечения и поляризационные параметры $\Upsilon(nS)$ мезонов измерялись как функции поперечного импульса и быстроты соответствующего Υ мезона в кинематической области $p_T < 30$ ГэВ/с и $2.0 < y < 4.5$.

Научная новизна работы. Измерение дважды дифференциальных сечений инклюзивного образования $\Upsilon(1S)$, $\Upsilon(2S)$ и $\Upsilon(3S)$ мезонов является развитием предыдущих двух предварительных измерений коллаборации LHCb. Новые результаты были получены на в сорок раз большей статистике данных, что позволило, как следствие, уменьшить

статистические и систематические неопределённости, а также расширить кинематическую область измерения: $p_T < 30$ ГэВ/с (вместо $p_T < 15$ ГэВ/с в ранних измерениях). Результаты диссертационной работы заменяют предыдущие предварительные результаты коллаборации LHCb. В данном диссертационном исследовании впервые проведено измерение поляризационных параметров λ_θ , $\lambda_{\theta\phi}$ и λ_ϕ векторных $\Upsilon(1S)$, $\Upsilon(2S)$ и $\Upsilon(3S)$ мезонов, инклюзивно образованных в pp-столкновениях при энергиях $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ в кинематической области $p_T < 30$ ГэВ/с и $2.2 < y < 4.5$.

Практическая ценность работы. 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.

Положения, выносимые на защиту:

1. Измерение дважды дифференциальных сечений инклюзивного рождения $\Upsilon(1S)$, $\Upsilon(2S)$ и $\Upsilon(3S)$ мезонов в pp-взаимодействиях при энергиях $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ как функций поперечного импульса и быстроты соответствующего Υ мезона в кинематической области $p_T < 30$ ГэВ/с и $2.0 < y < 4.5$.
2. Проведение полного углового анализа и измерение поляризационных параметров λ_θ , $\lambda_{\theta\phi}$ и λ_ϕ векторных $\Upsilon(1S)$, $\Upsilon(2S)$ и $\Upsilon(3S)$ мезонов, инклюзивно рождённых в pp-взаимодействиях при энергиях $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ в кинематической области $p_T < 30$ ГэВ/с и $2.2 < y < 4.5$. Поляризационные параметры $\Upsilon(nS)$ мезонов измерялись как функции поперечного импульса и быстроты соответствующего Υ мезона.
3. Методику измерения эффективности мюонной идентификации на установке LHCb, для которой использовались экспериментальные данные димюонного распада J/ψ мезона.

Материалы, изложенные в диссертации, были опубликованы в 4-х научных статьях:

- 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 1 обзорная статья, посвященная экспериментальным результатам коллаборации LHCb:

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

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

1) The 3rd Annual Large Hadron Collider Physics Conference, Saint Petersburg, Russia, 31 Aug – 5 Sep 2015 (LHCP 2015).

2) Международная Сессия-конференция Секции ядерной физики ОФН РАН, ОИЯИ, г. Дубна, Россия, 12 – 15 апреля, 2016 г.

3) XVII Advanced Research Workshop on High Energy Spin Physics, ОИЯИ, г. Дубна, Россия, 11 – 15 сентября, 2017 г. (DSPIN-17)

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

1) The 6th international workshop QCD@LHC 2015, г. Лондон, Великобритания, 1 - 5 сентября, 2015 г. (2 доклада)

2) The 23rd Low-x Meeting 2015, г. Сандомир, Польша, 1 - 5 сентября, 2015 г.

3) Kruger-2016 - Workshop on Discovery Physics at the LHC, г. Мпумаланга, ЮАР, 4-9 декабря, 2016 г.

4) Higgs Maxwell Workshop, The b-quark at 40, г.Эдинбург, Великобритания, 8 февраля, 2017 г.

5) The 12th International Workshop on Heavy Quarkonium, г.Пекин, Китай, 6-10 ноября, 2017 г.

6) The 7th Workshop «Implications of LHCb Measurements and Future Prospects», г. Женева, Швейцария, 8 - 10 ноября, 2017 г.

7) The Third China LHC Physics Workshop, CLHCP 2017, г. Нанджинг, Китай, 22 - 24 декабря, 2017 г.

8) Santa Fe Jets and Heavy Flavor Workshop, г. Санта Фе, США, 29 - 31 января, 2018 г.

9) QCD@LHC 2018 international conference, QCD@LHC 2018, г. Дрезден, Германия, 27 - 31 августа, 2018 г.

10) The 8th Workshop «Implications of LHCb Measurements and Future Prospects», г. Женева, Швейцария, 17 - 19 октября, 2018 г.

Что касается личного вклада соискателя в диссертационное исследование, то имеется официальное письмо коллаборации LHCb, подписанное координатором физических измерений коллаборации LHCb Мэтью Чарльзом. В этом письме говорится, 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. Коллаборация LHCb согласна на использование опубликованных результатов эксперимента для защиты диссертации А.В.Артамонова по указанной теме.

Детектор LHCb и условия набора экспериментальных данных. Детектор LHCb является многоцелевой экспериментальной установкой, построенной для точных исследований частиц, содержащих b - и c -кварки. Экспериментальная установка LHCb состоит из следующего набора детекторных элементов: 1) дипольный спектрометрический магнит (теплый) с интегралом поля около 4 Тм, отклоняющий заряженные частицы в горизонтальной плоскости; 2) трековые станции, расположенная до и после дипольного магнита (станции TT, T1, T2 и T3); 3) два детектора регистрации колец излучения Вавилова-Черенкова, размещенные до и после трековых станций (детекторы RICH1 и RICH2); 4) кремниевый микрополосковый вершинный детектор (детектор VELO), окружающий номинальную точку pp -столкновений и являющийся важной частью трековой системы; 5) калориметрическая система, расположенная после детектора RICH2 и состоящая из детектора сцинтилляционных пластин (SPD), предливневого детектора (PS), электромагнитного (ECAL) и адронного (HCAL) калориметров; 6) мюонная система, расположенная в конце установки после калориметрической системы (мюонные станции M1-M5, станция M1 расположена перед калориметрической системой). Детектор LHCb перекрывает уникальный для Большого Адронного Коллайдера диапазон по псевдобыстроте $1.8 < \eta < 4.9$. Это, примерно, соответствует 2% телесного угла. Однако из-за специфики образования bb -кварковых пар в pp -взаимодействиях при энергиях $\sqrt{s} = 7$ and 8 ТэВ около 25% образованных bb -кварковых пар регистрируются детектором LHCb. В 2011 году ($\sqrt{s} = 7$ ТэВ) было набрано на установке LHCb около 1 фб^{-1} , а в 2012 году ($\sqrt{s} = 8$ ТэВ) – около 2 фб^{-1} . В 2011 и 2012 годах триггерная система экспериментальной установки LHCb была двухуровневой и состояла из триггера нулевого уровня (Level-0, L0) и триггера высокого уровня (High Level Trigger, HLT). Триггер нулевого уровня L0 вырабатывался специально сделанной для этого электроникой на основе информации, поступающей от вершинного детектора VELO, калориметрической и мюонной систем. Основная задача триггера нулевого уровня состояла в уменьшении частоты входного потока данных с 40 МГц (это номинальная частота пересечения коллайдерных банчей), до частоты 1 МГц (это та частота, на которой мог зачитываться детектор). Триггер высокого уровня HLT осуществлялся с помощью программ, написанных на C++ и запущенных параллельно на большом количестве логических узлов компьютерной мультипроцессорной фермы. В сеансе 2011 (2012) года использовалось около 26000 (29000) логических узлов.

Измерение сечений рождения $\Upsilon(nS)$ мезонов в pp -взаимодействиях при энергиях $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ. Из-за ограничения по времени здесь мы не будем подробно рассматривать мотивацию данного диссертационного исследования. Отметим только, что все основные модели (Колор-Синглетная модель, модель kT -факторизации, color evaporation модель и нерелятивистская КХД модель), которые пытаются описать рождение тяжелых кваркониев в адронных взаимодействиях при высоких энергиях, все они вполне удовлетворительно описывают дифференциальные сечения образования тяжелых кваркониев. Однако все эти модели в настоящее время испытывают трудности при описании поляризации S -волновых векторных кваркониев (и в частности $\Upsilon(nS)$ мезонов) в адронных взаимодействиях. Поэтому

коллорація LHCb проводить обширну програму по дослідженню утворення важких кварконієв. В частині в 2012 році була опублікована робота, присвячена вимірюванню диференціальних сечень утворення $\Upsilon(nS)$ мезонів в pp-взаємодіях при енергії $\sqrt{s} = 7$ ТэВ, а в 2013 році – при енергії $\sqrt{s} = 8$ ТэВ. В цих вимірюваннях використовувалась відносно невелика статистика даних, близько 25 пб^{-1} і 50 пб^{-1} , відповідно. Кінематична область вимірювання визначалась $pt < 15$ ТэВ/с. Після того як була оброблена вся статистика даних 2011 і 2012 років, було вирішено провести нове вимірювання сечень утворення $\Upsilon(nS)$ мезонів в pp-взаємодіях при енергіях $\sqrt{s} = 7$ і 8 ТэВ. Весь об'єм даних 2011 і 2012 років (приблизно в 40 раз більший попередніх попередніх вимірювань) дозволив збільшити кінематичну область вимірювання $pt < 30$ ТэВ/с, а також зменшити, як наслідок, статистичні і систематичні неопределенності.

Після застосування всіх критеріїв відбору $\Upsilon(nS)$ мезонів були отримані наступні розподіли спектрів диміонних мас. Показуються на слайді ці спектри. Розрешення по масі в районі $\Upsilon(1S)$ мезона склало в середньому близько $40 \text{ МэВ}/c^2$. Стратегія вимірювання сечень народження $\Upsilon(nS)$ мезонів в pp-взаємодіях при енергіях $\sqrt{s} = 7$ і 8 ТэВ заключалась в наступному. В кожному (pt, y) біні вимірюється кількість $\Upsilon(nS)$ кандидатів, розпадаються на диміонну пару. Кількість $\Upsilon(nS)$ кандидатів визначалась, використовуючи безбіновий розширений метод максимального правдоподібності (фітуючи спектр диміонних мас). Кількість $\Upsilon(nS)$ кандидатів при цьому поправлялось повною ефективністю реєстрації цих мезонів. В свою чергу повна ефективність визначалась як добуток ефективності реконструкції і селекції на триггерну ефективність і на ефективність мюонної ідентифікації. Перші дві ефективності визначались, використовуючи Монте-Карло події. Остання ефективність визначалась, використовуючи всю статистику даних 2011 і 2012 років, з допомогою диміонного розпаду J/ψ мезона. Суть методу визначення ефективності мюонної ідентифікації на даних (так званого tag-and-probe методу) полягає в тому, що відбираються диміонні події (кандидати в розпад $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$) в районі маси J/ψ мезона. Потім вимагається, щоб виконувались умови відбору, пов'язані з мюонною ідентифікацією, для одного мюона. І потім перевіряють, виконуються чи умови мюонної ідентифікації для другого мюона. В залежності від того, виконуються чи не виконуються умови мюонної ідентифікації для обох мюонів, визначається ефективність умов мюонної ідентифікації для досліджуваного мюона. Технічною ефективність мюонної ідентифікації була визначена в вигляді гистограми як функція псевдобыстроты і поперечного імпульсу досліджуваного мюона. Великий об'єм даних 2011 і 2012 років дозволив визначити 8 таких гистограм: по 4 гистограми на кожен рік (для μ^+ і для μ^- , для магнітного поля вгору і вниз). Показуються слайди розподілу диміонних мас в районі J/ψ мезона і 2 гистограми ефективності мюонної ідентифікації.

Далі, показується слайд отриманих диференціальних сечень (вимірюваних як функції поперечного імпульсу) утворення $\Upsilon(nS)$ мезонів в pp-взаємодіях при енергіях $\sqrt{s} = 7$ і 8 ТэВ для п'яти діапазонів по швидкості. Потім показується слайд диференціальних сечень утворення $\Upsilon(nS)$ мезонів, отриманих як функції pt для всього досліджуваного діапазону по швидкості $2.0 < y < 4.5$. Отримані спектри

дифференциальных сечений были зафитированы функцией Цаллиса на интервале $6 < p_t < 30$ ГэВ/с, чтобы посмотреть по какому степенному закону спадают «хвосты» этих распределений. Дело в том, что функция Цаллиса при больших p_t ведет себя асимптотически как $1/p_t^n$. В результате фитирования p_t распределений было получено, что степенной параметр n у функции Цаллиса близок к значению 8 (для 3-х мезонов и для обеих энергий). Это совместимо с асимптотическим поведением p_t -распределений кваркониев, рассматриваемых в рамках модели цветных синглетов (CSM). Как «by product» были получены значения для температурного значения функции Цаллиса. У этого температурного параметра наблюдается рост с увеличением массы Y мезона, а также небольшая зависимость от полной энергии \sqrt{s} .

Далее, показывается слайд дифференциальных сечений образования $Y(nS)$ мезонов, полученных как функции быстроты соответствующего Y мезона после интегрирования по p_t на интервале $p_t < 30$ ГэВ/с. Эти распределения были зафитированы с помощью функций, которые были получены в рамках модели цветных октетов (COM). В рамках COM эти функции были определены на интервале $2.5 < y < 4.0$. Видно, что на этом интервале эти функции удовлетворительно описывают полученные экспериментальные распределения, но также видно, что они не справляются с описанием данных на всем исследованном диапазоне (после экстраполяции функций на диапазон по скорости $2.0 < y < 4.5$).

На следующем слайде показывается таблица интегральных сечений (в кинематической области эксперимента LHCb) образования $Y(nS)$ мезонов в pp-взаимодействиях при энергиях $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ. Сечения определялись как на всем исследованном кинематическом диапазоне ($p_t < 30$ ГэВ/с и $2.0 < y < 4.5$), так и на сокращенном ($p_t < 15$ ГэВ/с и $2.0 < y < 4.5$), чтобы можно было сравнивать с предыдущими предварительными результатами коллаборации LHCb. В нашем исследовании мы подтверждаем ранние результаты коллаборации LHCb, а также подтверждаем $\approx 30\%$ рост интегральных сечений (в кинематической области эксперимента LHCb) при переходе по энергии от $\sqrt{s} = 7$ ТэВ к $\sqrt{s} = 8$ ТэВ. На следующем слайде показана эволюция сечений — отношения дифференциальных сечений $R_{8/7}$ — при переходе по энергии от $\sqrt{s} = 7$ ТэВ к $\sqrt{s} = 8$ ТэВ, померенная как функция p_t (левый рисунок) и y (правый рисунок). Из левого рисунка видно, что p_t -распределения $Y(nS)$ мезонов становятся более жесткими при переходе от $\sqrt{s} = 7$ ТэВ к $\sqrt{s} = 8$ ТэВ. Отношения дифференциальных сечений $R_{8/7}$ для $Y(nS)$ мезонов, полученные как функции p_t , были зафитированы линейными функциями. Для 3-х $Y(nS)$ мезонов получились примерно одинаковые значения наклонов. Полученные линейные функции сравниваются с предсказаниями NRQCD модели (черная сплошная линия для трёх $Y(nS)$ мезонов на левом рисунке), которые были посчитаны в NLO приближении для исследуемого интервала быстроты $2.0 < y < 4.5$. Видно, что предсказания NRQCD модели не различаются для разных $Y(nS)$ мезонов. Также видно, что наклон теоретического предсказания меньше экспериментально полученных наклонов. Что касается правого рисунка слайда 31, то отношения дифференциальных сечений $R_{8/7}$, полученные как функции быстроты, сравниваются с предсказанием COM (это отношение функций, которые упоминались на слайде 29). Из этого правого рисунка (слайд 31) видно, что наблюдаемое в эксперименте поведение отношений $R_{8/7}$ как функций быстроты не совпадает с поведением, которое предсказывает модель цветных октетов.

Были также померены отношения дифференциальных сечений, определенные для разных Υ мезонов, но для одной и той же энергии: $R_{2,1}$, $R_{3,1}$ и $R_{3,2}$. Эти отношения сечений были измерены как для $pt < 15$ ГэВ/с, так и для $pt < 30$ ГэВ/с. Что касается отношения $R_{2,1}$ (было получено ≈ 0.25), то оно находится в хорошем согласии с предсказанием модели цветных октетов (0.27). Что же касается отношения $R_{3,1}$, то модель цветных октетов предсказывает для него значение 0.04, тогда как в эксперименте получается значение, примерно в три раза большее. Группа авторов (Kisslinger et al.) получила, что если рассматривать $\Upsilon(3S)$ состояние как смешанное гибридное кваркониное состояние, то тогда для отношения $R_{3,1}$ получается значение (0.14 — 0.22), близкое к тому, что получается в эксперименте (≈ 0.12). Слайд 33 показывает зависимость отношений $R_{2,1}$, $R_{3,1}$ и $R_{3,2}$ как функций pt и y .

Измерение поляризации $\Upsilon(nS)$ мезонов в pp -взаимодействиях при энергиях $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ.

На слайде 34 кратко представляется формализм измерения поляризации S -волновых векторных мезонов, распадающихся на 2 мюона. Приводится выражение углового распределения мюонов в системе покоя Υ мезона, которое раскладывается через 3 λ -параметра: λ_θ , $\lambda_{\theta\phi}$ и λ_ϕ . Отмечается, что значения параметров λ_θ , $\lambda_{\theta\phi}$ и λ_ϕ зависят от системы координат, определяемой в системе покоя Υ мезона. Обычно измерение этих параметров производят в NX , CS или GJ системах. λ параметры напрямую связанные с элементами спиновой матрицы плотности. Параметр λ_θ является мерой спиновой выстроенности. В физике тяжелых кварконинов его называют поляризационным параметром. Когда $\lambda_\theta > 0$ ($\lambda_\theta < 0$), то говорят о поперечной (продольной) поляризации векторного мезона. Относительно недавно был введен инвариантный λ параметр, который является инвариантным в NX , CS или GJ системах (об этом параметре будет еще дальше речь).

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 кварконинов и их поляризацию (спиновую выстроенность). До недавнего времени поляризационные исследования тяжелых кварконинов 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 кварконинов начала постепенно улучшаться после 2011 года, когда стали поступать новые результаты с БАК. На слайде 36 показана зависимость λ_θ от pt , полученная двумя экспериментальными группами: CDF (Теватрон, pp -взаимодействия при $\sqrt{s} = 1.96$ ТэВ) и CMS (БАК, pp -взаимодействия при $\sqrt{s} = 7$ ТэВ). Это первые два измерения, в которых был выполнен полный угловой анализ (измерение λ_θ , $\lambda_{\theta\phi}$ и λ_ϕ параметров) векторных $\Upsilon(nS)$ состояний. Коллаборация LHCb приняла решение также 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.

Отбор $\Upsilon(nS)$ состояний проводился примерно также, как в анализе сечений этих векторных мезонов. На слайде 37 показан димюонный массовый спектр, который был

получен после применения всех катов отбора. Снова видно, как хорошо отделяются друг от друга $\Upsilon(nS)$ мезоны. Стратегия поляризационного анализа была следующей. В каждом (pt, y) бине делался фит димьюнного массового распределения, чтобы выделить один из Υ мезонов. Затем делался двумерный фит в переменных $\cos\theta$ и ϕ , чтобы определить λ параметры. Поляризационные λ параметры определялись для 2-х сеансов (2011 и 2012 года), для 3-х Υ состояний, в 3-х поляризационных системах (HX, CS и GJ) и для 29 кинематических бинов, т.е. всего было 522 номинальных 2-мерных фита. На слайде 39 показан функционал, с помощью которого определялись λ параметры. На слайде 40 показаны конкретные значения λ параметров, полученные в 3-х поляризационных системах. Видно, как хорошо совпадают значения инвариантного λ параметра. Хотелось бы еще отметить следующее. Считалось, что этот инвариантный параметр был введен итальянскими и португальскими теоретиками в 2010 году. Однако, после того, как мы начали искать всевозможные ограничения, накладываемые на λ параметры, мы нашли работу 2005 года (имеется в виду работа О.В.Теряева Труды конференции DSPIN-05), в которой совершенно независимым способом был введен этот инвариантный параметр. Хотелось бы это здесь отметить.

На следующем слайде (слайд 41) показана полученная зависимость λ параметров от pt для разных значений быстрот. Здесь разные цвета соответствуют разным диапазонам по быстройте. Слайд 41 показывает поляризационные результаты для $\Upsilon(1S)$ мезона, полученные в HX системе. У нас имеются подобные картинки для $\Upsilon(1S)$ мезона, полученные в CS и GJ системах. Из картинок, изображенных на слайде 41, видно, что λ_θ , параметр с ростом pt не стремится ни в сторону больших поперечных значений спиновой выстроенности, ни в сторону больших продольных значений. Значения параметров $\lambda_{\theta\phi}$ и λ_ϕ близки к нулю на всем исследованном кинематическом диапазоне. Также видно, что имеется хорошее согласие между 7 и 8 ТэВными данными. Аналогичные результаты получаются в HX системе для $\Upsilon(2S)$ и $\Upsilon(3S)$ мезонов (показываются слайды 42 и 43). У нас также имеются поляризационные результаты для $\Upsilon(2S)$ и $\Upsilon(3S)$ мезонов, полученные в CS и GJ системах.

На слайде 44 изображена зависимость инвариантного λ параметра от pt для $\Upsilon(nS)$ мезонов (на всем исследованном диапазоне по быстройте), для $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ. Здесь разные цвета соответствуют разным поляризационным системам (HX, CS и GJ). Видно, что λ параметр действительно инвариантен и видно, как хорошо (в пределах ошибок) совпадают результаты, полученные при $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ. Если характеризовать поляризацию $\Upsilon(nS)$ мезонов одним инвариантным λ параметром, то видно, что она примерно близка к нулю на всем исследованном кинематическом диапазоне.

Мы также проверяли полученные значения λ параметров на всевозможные ограничения (показывается слайд 45). Все ограничения выполняются.

На слайде 46 показано сравнение поляризационных результатов для $\Upsilon(nS)$ мезонов (зависимость λ_θ , $\lambda_{\theta\phi}$ и λ_ϕ параметров от pt), полученное тремя коллаборациями: CDF, CMS и LHCb. На этом слайде сравниваются результаты, полученные в HX системе. Красные и синие точки — это то, что было получено в LHCb. Пурпурные и голубые точки — это то, что было получено в CMS. А зеленые точки — это то, что было получено коллаборацией CDF. Видно, как хорошо (в пределах ошибок) совпадают результаты коллаборации LHCb при $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ. Также, видно, что поляризационные результаты коллаборации CMS хорошо сшиваются с нашими (LHCb) результатами. И видно, что результаты CDF отличаются от результатов,

полученные на БАК (LHCb и CMS). Это то, что было получено в HX системе. На слайде 47 показано аналогичное сравнение поляризационных результатов, полученных в CS системе. Видно, что в CS системе имеется хорошее согласие поляризационных результатов для $\Upsilon(nS)$ мезонов, полученных коллаборациями CDF, CMS и LHCb.

Заключение. 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 различные отношения этих сечений были измерены как функции поперечного импульса и быстроты 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.

2) 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 Υ 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 у 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.

3) 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.

Н.Е.Тюрин: Спасибо. Вопросы есть?

А.М.Зайцев: Вы померили сечение образования $\Upsilon(nS)$ мезонов в pp-взаимодействиях при энергиях $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ. Но для того, чтобы померить сечение, вам необходимо было также знать поляризацию $\Upsilon(nS)$ мезонов в указанных реакциях. Как вы тогда оценивали систематическую неопределенность сечений, не зная поляризацию $\Upsilon(nS)$ мезонов?

А.В.Артамонов: Спасибо за вопрос. Да, на момент измерения сечений образования $\Upsilon(nS)$ мезонов в pp-взаимодействиях при энергиях $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ в кинематической области эксперимента LHCb у нас действительно не было значений поляризаций $\Upsilon(nS)$ мезонов для этих реакций (работа LHCb по измерению сечений была опубликована в 2015 году, а по

измерению поляризаций $\Upsilon(nS)$ мезонов — в 2017 году). Но на момент измерения сечений рождения $\Upsilon(nS)$ мезонов уже были известны результаты поляризационного анализа для $\Upsilon(nS)$ мезонов, которые были получены коллаборацией CMS. В своих исследованиях коллаборация CMS не нашла большой продольной или поперечной спиновой выстроенности у $\Upsilon(nS)$ мезонов в кинематической области эксперимента CMS (в измерениях коллаборации CMS было получено, что значения параметра λ_θ для $\Upsilon(1S)$ мезона в НХ системе находятся в интервале $0 < \lambda_\theta < 0.2$). Поэтому в нашем измерении сечений систематическая неопределенность, связанная со спиновой выстроенностью $\Upsilon(nS)$ мезонов, не входила в окончательное значение полной систематической неопределенности. Но в статье мы указали, что, если учитывать этот источник систематики (спиновую выстроенность $\Upsilon(nS)$ мезонов), то для значения $\lambda_\theta = 0.2$, интегральные значения сечений увеличиваются в среднем на 3%. Наше дальнейшее измерение поляризаций $\Upsilon(nS)$ мезонов показало, что предположение о малых значениях спиновой выстроенности этих состояний было оправданным.

С.С.Герштейн: Как вы отличаете прямое рождение $\Upsilon(nS)$ мезонов от $\Upsilon(nS)$ мезонов, рожденных в результате «перекачки» от вышестоящих по массе состояний?

А.В.Артамонов: Спасибо за вопрос. В обоих измерениях (сечений и поляризаций) мы исследовали так называемое prompt образование $\Upsilon(nS)$ мезонов, которое включает в себя прямое рождение и «перекачку» от вышестоящих по массе состояний.

С.С.Герштейн: Дело в том, что некоторое расхождение теории с экспериментом объясняется за счет того, что теоретическое предсказание часто делается для прямого рождения тяжелых кваркониев, а в эксперименте наблюдается как прямое рождение, так и «перекачка» от вышестоящих по массе состояний.

А.В.Артамонов: Согласен с замечанием С.С.Герштейна и показываю запасной слайд 62, где показаны доли рождения $\Upsilon(nS)$ мезонов от распадов $\chi_b \rightarrow \Upsilon(nS)\gamma$, измеренные относительно инклюзивного образованию $\Upsilon(nS)$ мезонов как функции p_T (экспериментальная работа коллаборации LHCb, EPJ C74 (2014) 3092). Из показанных гистограмм видно, что для больших p_T доля $\Upsilon(nS)$ мезонов, рожденных в распадах $\chi_b \rightarrow \Upsilon(nS)\gamma$, достигает (30 – 40)%. Было также отмечено, что доля рождения $\Upsilon(3S)$ от распадов $\chi_b(3P) \rightarrow \Upsilon(3S)\gamma$ была измерена впервые.

А.М.Зайцев: В своей работе вы нигде не приводили значения ковариационной матрицы для полученных поляризационных параметров. Каким образом вы вычисляли инвариантный поляризационный параметр?

А.В.Артамонов: Объем нашей статьи по поляризационным измерениям составил около 60 страниц, поэтому мы вынуждены были не приводить ковариационные матрицы поляризационных параметров. Но они у нас есть в электронном виде. Т.е. инвариантный поляризационный параметр вычислялся с учетом корреляций неопределенностей поляризационных параметров.

А.М.Зайцев: Были ли попытки посмотреть не prompt рожденные $\Upsilon(nS)$ мезоны?

А.В.Артамонов: Детально мы (наша группа) этим еще не занимались.

Н.Е.Тюрин: Спасибо. Переходим к оглашению письменных отзывов.

Ю.Г.Рябов зачитывает заключение организации, где была выполнена диссертационная работа (НИЦ «Курчатовский институт» — ИФВЭ), принятое на заседании семинара Отделения

экспериментальной физики 26 декабря 2018 г. (есть в диссертационном деле). В заключении организации, где была выполнена работа, пишется, что 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 ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 — физика высоких энергий.

Н.Е.Тюрин Приглашает Владимира Фёдоровича Образцова (научного руководителя диссертанта) зачитать его отзыв.

В.Ф.Образцов зачитывает свой отзыв (весь отзыв есть в диссертационном деле): В 1996 году А.В.Артамонов окончил физический факультет Московского Государственного Университета им. Ломоносова (МГУ). В 1999 году он завершил учебу в аспирантуре физического факультета МГУ. С 1999 года А.В.Артамонов стал научным сотрудником ИФВЭ, активно подключившись к научной программе эксперимента СФИНКС (ИФВЭ, Россия), а затем нового эксперимента ОКА (ИФВЭ, Россия). В рамках научной программы эксперимента СФИНКС А.В.Артамонов занимался экспериментальным исследованием эксклюзивного образования (ΛK^+)-системы в pA -взаимодействиях на ускорителе У-70. В частности, в этом исследовании А.В.Артамонов проводил измерение поляризации Λ -гиперона. Он также занимался развитием программы Монте-Карло моделирования эксперимента СФИНКС. В начале 2000 года А.В.Артамонов начал моделирование новой экспериментальной установки ОКА, которая создавалась для исследования каонных распадов. С 2004 года и по настоящее время он принимает участие в сеансах измерений этого эксперимента и обработке данных. С середины 2000 года А.В.Артамонов участвовал в международном эксперименте E949 (БНЛ, США). В этом эксперименте была впервые измерена относительная вероятность ультраредкого каонного распада $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$, чувствительного к непрямым проявлениям Новой Физики. В 2010 году А.В.Артамонов вступил в коллаборацию LHCb на Большом Адронном Коллайдере (ЦЕРН, Швейцария), где стал заниматься анализом экспериментальных данных, в частности, совместным рождением J/ψ мезона и адронов с открытым чармом в pp -взаимодействиях при энергии $\sqrt{s} = 7$ ТэВ и измерением поляризации J/ψ мезонов, образующихся в pp -взаимодействиях при энергии $\sqrt{s} = 7$ ТэВ. А.В.Артамоновым была разработана методика измерения эффективности мюонной идентификации установки LHCb на основе экспериментальных данных по димюонному распаду J/ψ мезона. Полученная таким образом эффективность мюонной идентификации успешно использовалась в дальнейшем в различных экспериментальных исследованиях LHCb. Эта методика определения эффективности мюонной идентификации вошла в диссертационную работу. Основная тема диссертации А.В.Артамонова — исследование образования $\Upsilon(1S)$, $\Upsilon(2S)$ и $\Upsilon(3S)$ мезонов в pp -взаимодействиях при энергиях $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ. В эксперименте LHCb в течение длительного времени проводится последовательная и обширная научная программа, посвященная физике тяжелых кваркониев. В частности, в рамках этой программы выполняется всестороннее исследование образования $\Upsilon(1S)$, $\Upsilon(2S)$ и $\Upsilon(3S)$ мезонов в pp -взаимодействиях при разных энергиях. В диссертационном исследовании А.В.Артамонова были измерены дважды дифференциальные сечения инклюзивного рождения $\Upsilon(1S)$, $\Upsilon(2S)$ и $\Upsilon(3S)$ мезонов и впервые было проведено измерение поляризационных параметров λ_θ , $\lambda_{\theta\phi}$ и λ_ϕ этих векторных мезонных состояний, инклюзивно образованных в pp -взаимодействиях при энергиях $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ. Результаты диссертационной работы послужат дальнейшему

развитию физики тяжелых кваркониев и развитию КХД в целом. Они были занесены в мировую базу данных HEPData для дальнейшей разработки теоретических моделей и для моделирования рождения $\Upsilon(nS)$ мезонов в pp-взаимодействиях при энергиях $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ. Кроме того, полученные результаты позволили существенно улучшить экспериментальную ситуацию, которая наблюдалась в последнее время в поляризованной физике тяжелых кваркониев, когда имелись не только противоречия между теорией и экспериментом, но и несогласие между различными экспериментальными результатами. Результаты диссертационной работы представлялись А.В.Артамоновым на международных конференциях. Все полученные результаты опубликованы, всего по теме диссертации опубликовано четыре работы, две в JHEP и две в трудах конференций. Еще одна публикация — это обзор по физике чармония, который использовался автором во введении. Очевиден большой, решающий вклад автора в работы, вошедшие в диссертацию. Диссертация является законченным научным исследованием, в котором получены фундаментальные результаты по физике высоких энергий. Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Диссертация А.В.Артамонова "Исследование рождения $\Upsilon(nS)$ мезонов в pp-взаимодействиях при $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ в эксперименте LHCb" выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет всем требованиям, которые предъявляются ВАК к кандидатским диссертациям. А.В. Артамонов несомненно заслуживает присвоения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 — физика высоких энергий.

Н.Е.Тюрин: Спасибо, Владимир Фёдорович. Теперь у нас отзыв ведущей организации.

Ю.Г.Рябов зачитывает заключение ведущей организации. Ведущая организация — Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова (МГУ) — дала положительное заключение о диссертации А.В.Артамонова. Зачитывается заключение ведущей организации (есть в диссертационном деле). Диссертационная работа А.В.Артамонова была представлена на семинаре Отдела экспериментальной физики высоких энергий НИИЯФ МГУ. Ведущая организация отметила следующий ряд замечаний к диссертационной работе:

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 Υ -мезона. Соответственно, сомножители в этой формуле — это эффективности (реконструкции, триггирования, идентификации) ди-мюонного объекта. Однако, величина $\epsilon_{\mu ID}$, определенная из экспериментальных данных во 2-й главе, относится только к одиночным мюонам. Из текста неясно, как эта величина соотносится с $\epsilon_{\mu ID}(\Upsilon)$ из формулы (3.5). Если считалось, что $\epsilon_{\mu ID}(\Upsilon) = \epsilon_{\mu ID}(\mu^+) \times \epsilon_{\mu ID}(\mu^-)$, то это предположение должно быть обосновано, т. к. 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.

В конце заключения ведущей организации пишется, что отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку представленной работы. Диссертация является цельным, детальным научным исследованием. Автор провел ряд экспериментальных измерений, детально проанализировал возможные источники погрешностей и представил новые результаты по заявленной теме, которые можно оценить как существенное достижение в физике высоких энергий. По актуальности и новизне результатов, важности выводов, диссертация Артамонова Александра Владимировича «Исследование рождения $\Upsilon(nS)$ мезонов в pp-взаимодействиях при $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ в эксперименте LHCb» соответствует всем критериям, установленным в «Положении о порядке присуждения ученых степеней», утверждённом постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года No 842 с дополнениями от 21 апреля 2016 год No 335. Артамонов Александр Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 — физика высоких энергий.

Н.Е.Тюрин: Спасибо, Юрий Григорьевич. Александр Владимирович, вам слово для ответа на те замечания, которые прозвучали.

А.В.Артамонов: Что касается замечания, связанного с эффективностями одного мюона и другого мюона и возможной корреляции между этими мюонами, то мы, конечно, проверяли эту возможную корреляцию. Она на таком уровне, что ею можно пренебречь. Обычно такая корреляция возникает, когда оба мюона летят близко друг к другу. У $\Upsilon(nS)$ мезонов большая масса, поэтому угол разлета между мюонами тоже относительно большой. Это очень хороший вопрос. Нам его задавали, когда наша работа была на коллаборационной циркуляции и этот же вопрос нам задавал рефери журнала JHEP. Что касается систематической неопределенности 0.4% на каждый трек, то ситуация здесь следующая. У нас есть Монте-Карло, которое, конечно же, не идеальное. У нас есть специальные поправочные коэффициенты к нашему Монте-Карло. Дополнительно, наши эксперты из LHCb попросили нас ввести еще эту систематику. Да, к сожалению мы не упомянули детали по этому поводу. Остальные замечания, мне кажется, касаются в основном стилистики. В целом мы согласны с этими замечаниями.

Н.Е.Тюрин: Спасибо. Слово предоставляется официальному оппоненту Гаврилову Владимиру Борисовичу.

В.Б.Гаврилов зачитывает свое заключение (есть в диссертационном деле). Диссертация Артамонова Александра Владимировича посвящена экспериментальному исследованию процесса образования $\Upsilon(1S)$, $\Upsilon(2S)$ и $\Upsilon(3S)$ мезонов в протон-протонных взаимодействиях

при энергиях в системе центра масс 7 и 8 ТэВ. Экспериментальные данные были получены на установке LHCb, работающей на Большом адронном коллайдере (БАК) в ЦЕРНе. Были измерены дифференциальные сечения и параметры спиновой матрицы плотности этих состояний, образующихся в этих процессах. Что касается актуальности диссертации, то ранее дифференциальные сечения $\Upsilon(1S)$, $\Upsilon(2S)$ и $\Upsilon(3S)$ мезонов в pp-взаимодействиях при энергиях БАК были измерены в экспериментах ATLAS и CMS в центральной области быстрот. Первые данные эксперимента LHCb по образованию этих мезонов для больших быстрот были получены только для небольшой интегральной светимости 25 пб^{-1} (50 пб^{-1}) для 7 (8) ТэВ. В диссертации представлены данные LHCb для значительно более высокой светимости (1 и 2 фб^{-1}), что позволило достичь значительно лучшей точности. Следует особо отметить результаты измерения поляризационных параметров векторных $\Upsilon(nS)$ мезонов, впервые полученных для области быстрот эксперимента LHCb. Поэтому результаты диссертации безусловно являются новыми и актуальными. В.Б.Гаврилов подтвердил актуальность и важность исследований, представленных в диссертации, и дал положительную оценку диссертации. Были перечислены замечания к диссертации, которые есть в официальном отзыве оппонента:

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 цветных 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.

В своем заключении В.Б.Гаврилов отметил, что диссертационная работа А.В.Артамонова «Исследование рождения $\Upsilon(nS)$ мезонов в pp-взаимодействиях при $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ в эксперименте LHCb» полностью удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Александр Владимирович Артамонов, безусловно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 — физика высоких энергий.

Н.Е.Тюрин: Спасибо, Владимир Борисович. Александр Владимирович, вы можете ответить на те замечания, которые прозвучали в отзыве?

А.В.Артамонов: Что касается последнего замечания (описание Таблицы 3.3 на стр. 76), то это верное замечание. Мы также определяли систематику по отношению к статистической неопределенности при поляризационном анализе. Что касается сравнения эффективности мюонной идентификации, полученной на данных и на Монте-Карло, то разница между ними,

конечно, есть. Наше Монте-Карло не идеальное. Эффективность мюонной идентификации, определённая из моделирования в среднем отличается от эффективности на данных примерно на (1-2)% (в каких-то кинематических областях немного побольше, в каких-то поменьше). Для многих анализов, особенно, с относительными измерениями, это не является проблемой. Но в точных, и особенно поляризационных анализах, это небольшое расхождение должно быть корректно учтено. И использование эффективности из моделирования в этом анализе могло бы привести к дополнительной заметной систематической погрешности. Поэтому, чтобы уменьшить систематическую неопределённость, связанную с неидеальным моделированием этой эффективности, мы решили использовать эффективность идентификации мюонов, определенную непосредственно из данных. Что касается модели цветных октетов и ее описания сечений рождения $\Upsilon(nS)$ мезонов как функций быстроты, то согласен с этим замечанием. В тексте диссертации этот момент действительно был изложен не совсем полно и ясно. Я имел в виду удовлетворительное согласие модели цветных октетов на интервале по скорости $2.5 < \beta < 4.0$, т.е. на интервале, где эти функции были определены. На всём исследованном кинематическом диапазоне ($2.0 < \beta < 4.5$) эти функции не справляются с описанием данных. Что касается доли рождения $\Upsilon(nS)$ мезонов от, например, распадов $\chi_b \rightarrow \Upsilon(nS)\gamma$, измеренной относительно инклюзивного образованию $\Upsilon(nS)$ мезонов как функции быстроты, то снова показывается запасной слайд 62 (экспериментальная работа коллаборации LHCb, EPJ C74 (2014) 3092). На этом слайде эта доля показана как функция p_t . Смотрелась ли эта доля как функция быстроты, А.В.Артамонов пообещал адресовать этот вопрос авторам этого экспериментального исследования (И.Беляев и А.Мазуров).

Н.Е.Тюрин: Владимир Борисович, вы удовлетворены ответом?

В.Б.Гаврилов Удовлетворен.

Н.Е.Тюрин: Хорошо. Давайте теперь послушаем отзыв Олега Валериановича Теряев.

Ю.Г.Рябов зачитывает отзыв О.В.Теряева (есть в диссертационном деле). В конце заключения О.В.Теряева пишется, что в целом диссертация представляет законченное и цельное научное исследование, содержащее важные полученные впервые физические результаты. Автор демонстрирует как прекрасное владение техникой эксперимента, так и использование результатов для исследования физических вопросов, в чем проявляет высокую квалификацию и изобретательность. Можно также отметить, что научный руководитель и соискатель достойно продолжают — в новой области — традиции исследований спиновой физики, заложенные в Протвино. Работы своевременно опубликованы в ведущих научных журналах и доложены на ряде международных конференций и совещаний, известны специалистам и цитируются. Диссертация написана ясным языком, полно и четко сформулированы основные результаты, полученные автором, и сделанные им выводы. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. Значительный объем выполненных исследований по актуальной и важной теме позволяет рассматривать представленную работу, как несомненно удовлетворяющую всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23, а ее автор, Александр Владимирович Артамонов, как заслуживающего присвоения ему искомой ученой степени. Далее Ю.Г.Рябов отмечает, что замечаний в отзыве нет.

Н.Е.Тюрин: Спасибо, Юрий Григорьевич. Ну раз замечаний не прозвучало, то давайте тогда перейдем к дискуссии. Кто хочет сказать что-то?

С.С.Герштейн просит слово.

Н.Е.Тюрин: Пожалуйста, Семён Соломонович.

С.С.Герштейн: Мне кажется, что собран большой и интересный экспериментальный материал. Каких-либо вопросов о присуждении ученой степени безусловно не возникает. Но некоторую критику, полезную для защищающегося, хотелось бы высказать. Далее Семён Соломонович отмечает, что в автореферате нет ссылок ни на одну теоретическую работу. Было бы полезно включать подобные ссылки в автореферат. Второе замечание (пожелание) Семёна Соломоновича связано с тем, чтобы было обсуждение полученных результатов с теоретиками нашего института (НИЦ «Курчатовский институт» — ИФВЭ), тем более, что в диссертации упоминается теоретическая модель цветковых синглетов, которая, как известно, была независимо предложена теоретиками нашего института (А.Лиходед, С.Слабоспицкий и др.). В заключении Семён Соломонович отметил, что это дружеские замечания.

Н.Е.Тюрин: Спасибо, Семён Соломонович. Есть еще замечания. Вопросов и замечаний нет. Тогда, Александр Владимирович, вам заключительное слово.

А.В.Артамонов В заключении хочется выразить глубокую благодарность своему научному руководителю Владимиру Фёдоровичу Образцову за постановку задачи, плодотворное научное руководство, создание стимулирующей научной атмосферы, многочисленные обсуждения полученных результатов, а также за помощь и поддержку, оказанные в ходе диссертационной работы. Также хочу глубоко поблагодарить Ивана Михайловича Беляева. Его постоянное внимание к диссертационной работе, помощь в любой ситуации, бесценные советы, терпеливые объяснения, а также многочисленные обсуждения полученных результатов способствовали успешному выполнению диссертационной работы. Хочется тепло поблагодарить Виктора Юрьевича Егорычева, с кем были получены защищаемые в диссертации результаты, за поддержку в проводимых исследованиях и постоянное внимание к диссертационной работе. Мне приятно выразить слова благодарности всем коллегам из коллаборации ЛНСб. Отдельные слова благодарности я хочу выразить Константину Сергеевичу Белоусу, Юрию Петровичу Гузу, Владимиру Ивановичу Романовскому, Михаилу Михайловичу Шапкину, Lucio Anderlini, Giulia Manca, Zhenwei Yang и Yanxi Zhang. Я также хочу поблагодарить Руководство и Ученый совет НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ за создание всех необходимых условий для выполнения данного диссертационного исследования.

Н.Е.Тюрин: Спасибо. Теперь перейдем к выборам счетной комиссии. Предлагаются Василий Александрович Качанов (председатель), Сергей Сергеевич Козуб и Александр Витальевич Разумов.

Перерыв на голосование. Проводится голосование. Голосование завершено.

Н.Е.Тюрин: Давайте заслушаем результаты голосования.

Председатель счетной комиссии В.А.Качанов: Уважаемые коллеги, мы готовы зачитать результаты голосования. На заседании присутствовало 19 членов Диссертационного совета. Из них докторов по научной специальности рассматриваемой диссертации — 6. Роздано

бюллетений — 19, осталось не розданных — 3, в урне бюллетений — 19, «за» — 19, «против» — нет, недействительных бюллетений — нет.

Н.Е.Тюрин: Есть предложение утвердить Протокол счетной комиссии.

Диссертационный совет утверждает результаты голосования.

Н.Е.Тюрин: Теперь мы должны обсудить и утвердить проект Заключения о научном значении диссертации А.В.Артамонова. Члены совета ознакомились с проектом заключения? Есть ли какие-либо замечания или предложения? Если замечаний нет, то давайте тогда проведем открытое голосование по проекту заключения о научном значении диссертации. Прошу проголосовать. Единогласно. Спасибо. Александр Владимирович, поздравляю вас с успешной защитой и желаю вам новых интересных и красивых результатов!

Заседание Диссертационного совета завершено.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

24 октября 2019 г.



Тюрин Н.Е.
Рябов Ю.Г.