

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор Московского
Государственного Университета
имени М.В. Ломоносова
профессор



А.А. Федянин
« » _____
А.А. Федянин
2019 г.

ведущей организации Московского Государственного Университета
имени М.В. Ломоносова о диссертационной работе
Артамонова Александра Владимировича «Исследование рождения $\Upsilon(nS)$
мезонов в pp-взаимодействиях при $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ
в эксперименте LHCb», представленной на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук по специальности
01.04.23 — физика высоких энергий

С момента открытия J/ψ и Υ - мезонов в 70-х годах прошлого века изучение тяжелых кварк-антикварковых систем обеспечило значительный вклад в наше понимание квантовой хромодинамики (КХД). Однако, несмотря на то, что это одна из простейших систем в КХД, результаты по сечениям рождения и поляризации J/ψ и Υ - мезонов показывают несоответствия между измерениями и теоретическими предсказаниями, поэтому любые новые измерения на Большом адронном коллайдере (БАК) характеристик рождения и распадов различных тяжелых кваркониевых систем дают ценную информацию для верификации различных теоретических подходов, основанные на цвето-синглетных поправках, цвето-октетных терминах, подходе КТ-факторизации и других моделях, и обеспечивают дополнительный вклад в улучшение понимания рождения кваркония в адронных взаимодействиях.

В диссертационной работе А.В. Артамонова представлен обширный экспериментальный материал по инклюзивному рождению Υ -мезонов в pp-взаимодействиях при энергиях $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ, полученный в эксперименте LHCb. Данные по дважды-дифференциальным сечениям рождения $\Upsilon(1S)$, $\Upsilon(2S)$ и $\Upsilon(3S)$ -мезонов получены на существенно большем по объему материале ($\times 40$), чем предыдущие измерения коллаборации LHCb, что позволило значительно уменьшить статистические и систематические неопределенности и расширить кинематическую область измерений по поперечному импульсу мезонов до 30 ГэВ/c (против 15 ГэВ/c в ранних измерениях). Впервые представлены данные по полному угловому анализу и измерению трёх поляризационных параметров векторных $\Upsilon(nS)$ -мезонов в области энергий БАК как функции поперечного импульса и быстроты мезона. Существенный вклад в качество полученных результатов обеспечила разработанная автором методика измерения эффективности идентификации мюонов на установке LHCb. Результаты исследований опубликованы в 4-х печатных работах, являющихся официальными публикациями коллаборации LHCb, что подтверждает их высокую достоверность. В диссертации приводится сравнение результатов по сечениям и поляризационным параметрам с данными других экспериментов. Отмечено согласие (в общих кинематических областях) с данными экспериментов CMS и предыдущими данными LHCb. Проведено также сравнение результатов с различными теоретическими

предсказаниями. Отмечено, что зависимость отношения дифференциальных сечений при 7 и 8 ТэВ не совпадает с поведением, предсказываемым нерелятивистской КХД (в приближении NLO) и моделью цветowych октетов. Измерение 3-х параметров угловых распределений в распадах $\Upsilon(nS)$ -мезонов в трёх различных системах координат показывают хорошую самосогласованность и согласие с доступными результатами CMS. Столь полный поляризационный анализ несомненно будет использован для развития теоретического описания поляризационных эффектов в распадах тяжелых кваркониев. Результаты работы представляют безусловную ценность для проводимых и планируемых экспериментов в области физики высоких энергий как в Российских (ИФВЭ, ОИЯИ), так и зарубежных (ЦЕРН) научных центрах. Высокая значимость представленных в работе результатов для прогресса в области физики высоких энергий не вызывает сомнений.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и трех приложений общим объемом 205 страниц текста и 157 ссылок на литературу, содержит 45 иллюстраций и 45 таблиц.

Во введении дан обзор современного теоретического и экспериментального статуса изучения рождения тяжелых кваркониев, показана актуальность темы диссертации и сформулирована цель исследования и его новизна. Также во введении обоснована практическая значимость работы и изложено содержание личного вклада автора в полученные результаты.

Первая глава содержит описание ускорителя БАК и установки LHCb. Детально описаны её детекторные элементы, экспериментальные возможности, подробно описана триггерная система и её возможности по отбору димюонных событий распадов Υ -мезонов. Также изложена методика обработки экспериментальных данных и Монте-Карло моделирования процессов pp -взаимодействия, работы детектора, триггера и восстановления характеристик зарегистрированных событий.

Во второй главе автор излагает разработанную им методику измерения эффективности идентификации мюонов на основе распадов J/ψ -мезонов на два мюона и приводит полученные результаты для различных конфигураций установки и различных периодов набора данных. Эти эффективности являются одним из основных ингредиентов для измерений, представленных в следующих главах.

В третьей главе диссертации представлены результаты определения дважды-дифференциальных сечений образования $\Upsilon(nS)$ -мезонов при энергиях $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ. Данные получены для расширенного в 2 раза, по сравнению с предыдущими данными, интервала по поперечному импульсу Υ -мезонов. Отмечено, что спектры по поперечному импульсу хорошо аппроксимируются функцией Цаллиса с небольшим ростом температурного параметра с энергией и массой Υ -мезона. Отношения дифференциальных сечений при энергиях 7 и 8 ТэВ показывают более быстрый рост с увеличением поперечного импульса, чем предсказываемый моделью NRQCD. Поведение отношения в зависимости от быстроты мезона также не совпадает с предсказаниями модели цветowych октетов.

В четвертой главе содержатся результаты измерения поляризационных параметров в распадах векторных Υ -мезонов, образованных в pp -взаимодействиях при энергиях БАК. Параметры определялись в трёх системах координат, используемых в подобном анализе различными авторами, что важно как для сравнения с данными других групп, так и для подтверждения самосогласованности полученных значений параметров. Отмечено согласие между результатами работы и результатами коллаборации CMS по определению поляризационных параметров а также расхождение с результатами CDF в спиральной системе координат. Отмечено, что Υ -мезоны образуются в pp -взаимодействиях при данных энергиях без большой спиновой выстроенности в исследованной кинематической области.

В заключении сформулированы результаты диссертации, представленные для защиты. Текст автореферата соответствует содержанию диссертации. Результаты, выносимые автором на защиту, в полной мере представлены в публикациях, приведённых в автореферате.

Достоверность основных результатов подтверждается их согласованностью с данными других экспериментов в пересекающихся кинематических областях или при определении аналогичных экспериментальных величин.

Следует отметить ряд замечаний к диссертационной работе:

1. В 1-й главе при описании установки ЛНСб используются величины псевдобыстроты и угла (вероятно, азимутального), но не приведены их формальные определения, так же как и определение координатной системы, используемой в эксперименте.
2. В 3-й главе Таблица 3.1 озаглавлена «Условия отбора кандидатов $\Upsilon(nS) \rightarrow \mu\mu$ » и приведены диапазоны отбора для величин p , p_T и y , что можно интерпретировать как параметры отбора Υ -мезона, в то время, как из текста следует, что это параметры мюонов от распада Υ -мезона.
3. Формула (3.5) в 3-й главе определяет эффективность регистрации Υ -мезона. Соответственно, сомножители в этой формуле — это эффективности (реконструкции, триггирования, идентификации) ди-мюонного объекта. Однако, величина $\epsilon^{\mu\mu}$, определенная из экспериментальных данных во 2-й главе, относится только к одиночным мюонам. Из текста неясно, как эта величина соотносится с $\epsilon^{\mu\mu}(\Upsilon)$ из формулы (3.5). Если считалось, что $\epsilon^{\mu\mu}(\Upsilon) = \epsilon^{\mu\mu}(\mu+) \times \epsilon^{\mu\mu}(\mu-)$, 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. Отметим ряд стилистических неточностей и применение жаргонных терминов :
 - стр. 38: «массовое разрешение В-мезонов» вместо *разрешение калориметра по массе (восстановленных) В-мезонов*
 - стр. 39: «кластерА» (мн.ч.) вместо *кластеры*
 - стр. 42: «...плоскости проволочек заИЛИнь» вместо, например, *сигналы с плоскостей проволочек подключены по схеме логического сложения «ИЛИ»*
 - стр. 53: «...частота... на которой детектор зачитывался в 2011-2012 годах» вместо более строгого, например *частота... с которой происходило считывание информации с детектора*
6. Излишнее использование транслитерации англоязычных терминов при наличии русскоязычных эквивалентов:
 - «колор-синглет» в одних местах, но «цветовые синглеты» в других.
 - «делая кат на эту величину» (стр. 51) вместо *делая обрезание по этой величине*
 - стр. 71, 77: «констрейн» вместо *ограничение*
 - стр. 48: «импакт-параметр» вместо *прицельный параметр*
 - стр. 61 и др. «магента» вместо *пурпурный* или *малиновый*
7. В Приложении В нумерация таблиц начинается с №2, однако Таблица 1 в работе отсутствует.

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», утвержденном постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 с дополнениями от 21 апреля 2016 год № 335. Артамонов Александр Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 — физика высоких энергий.

Отзыв составил: канд. физ-мат. наук
ст.н.с. лаборатории тяжёлых частиц и резонансов
Отдела экспериментальной физики высоких энергий
НИИЯФ МГУ
Тел.: (495)9328972, Эл. адрес: sivokl@sinp.msu.ru

С.Ю.Сивоклоков

Результаты диссертации рассмотрены и одобрены на семинаре Отдела экспериментальной физики высоких энергий Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ 24 июня 2019г.

Заведующий Отделом экспериментальной физики высоких энергий
НИИЯФ МГУ
профессор

Э.Э. Боос

Директор НИИЯФ имени Д.В. Скобельцына
МГУ имени М.В. Ломоносова
профессор

М.И. Панасюк