

Отзыв официального оппонента

доктора физико-математических наук Гаврилова Владимира Борисовича на диссертацию Артамонова Александра Владимировича «Исследование рождения $\Upsilon(nS)$ мезонов в pp -взаимодействиях при $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВ в эксперименте LHCb», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – «физика высоких энергий»

Диссертация Александра Владимировича Артамонова 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 инклюзивных процессах.

Ранее дифференциальные сечения образования $\Upsilon(1S)$, $\Upsilon(2S)$ 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 в для больших быстрот были получены только для небольшой интегральной светимости 25пб^{-1} (50пб^{-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 мезонов $\Upsilon(nS)$, впервые полученных для области быстрот эксперимента LHCb. Поэтому результаты диссертации безусловно являются новыми и актуальными.

Во введении диссертации подробно обсуждается современный теоретический подход к описанию процессов образования тяжелых

кваркониев в рр-взаимодействиях при высоких энергиях. Он основан на факторизации процессов образования пары тяжелых кварка-антикварка с последующей фрагментацией в тяжелый кварконий. Поскольку в экспериментах по инклюзивному образованию $\Upsilon(nS)$ мезонов не разделяется прямое образование и образование в результате распада других кваркониевых состояний с большей массой, то для корректного сравнения экспериментальных данных с модельными расчетами необходим аккуратный учет вкладов этих двух механизмов.

Первая глава диссертации посвящена подробному описанию экспериментальной установки, всех ее компонентов, методам отбора, реконструкции и анализа полученных данных. Показано, что установка LHCb оптимально подходит для регистрации образования $\Upsilon(nS)$ мезонов с их распадом на два мюона в области быстрот от 2 до 4.5.

Основным вкладом диссертанта в методику анализа данных эксперимента LHCb было экспериментальное определение эффективности идентификации мюонов на основе использования событий распада $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$. Описанию этого метода и полученных результатов посвящена вторая глава диссертации. Метод основан на определении числа событий $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$, зарегистрированных в установке LHCb, в который оба или только один из мюонов удовлетворяет условию идентификации. Большое количество зарегистрированных событий $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$ позволило измерить зависимость эффективности идентификации мюонов от квазибыстроты и поперечного импульса для разных знаков их заряда и направлений магнитного поля. Интересно было бы сравнить эти эффективности, найденные для данных эксперимента и для моделированных событий, что позволило бы оценить качество моделирования деталей реконструкции и идентификации мюонов.

Третья глава диссертации посвящена определению дифференциальных сечений инклюзивного образования $\Upsilon(nS)$ мезонов в протон-протонных взаимодействиях, зарегистрированных в эксперименте LHCb. Сечения измерялись в зависимости от поперечного импульса и быстроты $\Upsilon(nS)$

мезонов в кинематическом диапазоне установки LHCb - $p_T < 30$ ГэВ, $2 < y < 4.5$. Хорошие идентификация мюонов и разрешение по димюонной массе позволили надежно определять количество зарегистрированных событий каждого из $\Upsilon(nS)$ мезонов для всех выбранных бинов по p_T и y . Числа экспериментальных событий поправлялись на эффективности триггера, реконструкции, отбора и идентификации мюонов. Эффективность идентификации была определена из экспериментальных данных по методике, описанной во 2й главе. Эффективности триггера, реконструкции и отбора были вычислены с помощью моделирования событий методом Монте-Карло.

Подробно рассмотрены источники систематических ошибок и связанные с ними неопределенности. Часть систематических погрешностей сокращается для отношений дифференциальных сечений инклюзивного образования $\Upsilon(nS)$ мезонов, измеренных для энергий сталкивающихся протонов 8 и 7 ТэВ. Диссертант отмечает хорошее согласие полученных данных с расчетами по модели цветowych 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.

Четвертая глава диссертации посвящена анализу угловых распределений мюонов в распаде $\Upsilon(nS)$ мезонов и измерению поляризационных параметров этих векторных мезонов. Во введении к этой главе отмечается, что пока не существует теоретической модели, которая бы одновременно описывала бы дифференциальные сечения и поляризационные параметры образования тяжелых кваркониев при высоких энергиях.

Результаты приводятся для трех систем координат, используемых в поляризационных анализах - спиральной, Коллинса-Сопера и Готтфрида-Джексона. Подробно описана процедура анализа и проверок результатов,

полученных для разных систем координат, на самосогласованность. Полученные зависимости поляризационных параметров от поперечного импульса $\Upsilon(nS)$ мезонов сравниваются с данными экспериментов CDF и CMS. Все эти зависимости оказались близки друг к другу, за исключением зависимости λ_θ для $\Upsilon(1S)$ в спиральной системе координат, где наблюдается значимое отличие результатов CDF от данных LHCb и CMS, которые близки друг к другу.

А.В. Артамонов продемонстрировал в диссертации глубокие знания методики физического эксперимента и анализа данных. Все результаты диссертации хорошо обоснованы и достоверны. Их новизна не вызывает сомнений. Измеренные зависимости эффективности идентификации мюонов в эксперименте LHCb могут быть использованы для анализа данных этого эксперимента, в которых используются мюоны. Полученные в диссертации результаты могут быть использованы для развития теоретических моделей образования тяжелых кваркониев при высоких энергиях.

Диссертация Александра Владимировича Артамонова представляет завершённое научное исследование и написана ясным языком. 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 измеренным величинам, а не к их статистическим ошибкам. Однако эти недостатки не умаляют высокого качества и ценности диссертации.

Материалы диссертации опубликованы в ведущих рецензируемых научных изданиях. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа А.В. Артамонова «Исследование рождения $\Upsilon(nS)$ мезонов в pp-взаимодействиях при $\sqrt{s} = 7$ и 8 ТэВв эксперименте

ЛНСб» 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».

Доктор физико-математических наук (01.04.01 — экспериментальная физика)

начальник лаборатории ФГБУ "Институт теоретической и экспериментальной физики имени А.И. Алиханова" Национального исследовательского центра "Курчатовский Институт" (НИЦ "Курчатовский институт" – ИТЭФ)

Гаврилов Владимир Борисович



Подпись Гаврилова Владимира Борисовича удостоверяю:

Ученый секретарь НИЦ "Курчатовский институт" – ИТЭФ

кандидат физ.-мат. наук В.В. Васильев



«10» сентября 2019 года