

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Попова Алексея Валерьевича «Поиск новой физики и изучение процессов квантовой хромодинамики в эксперименте D0», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.23– «Физика высоких энергий».

Диссертация посвящена актуальным направлениям в физике высоких энергий – поиску физики за пределами Стандартной модели, изучению двух-партонных взаимодействий и поиску экзотических состояний на установке D0 на протон-антипротонном коллайдере Tevatron. Необходимо отметить, что эксперименты на Tevatron сделали большой вклад в физику высоких энергий, был открыт топ-кварк, прецизионно измерены свойства W-бозона и b-кварка, определены другие параметры Стандартной модели. Одним из направлений исследований был поиск физических процессов и состояний за пределами Стандартной модели, чему посвящена первая часть диссертации. Поиск партнеров калибровочных бозонов согласно моделям суперсимметрии и поиск проявлений дополнительных размерностей на экспериментальных данных D0 являются темами, изучаемыми в диссертации. Вклад двух-партонных взаимодействий по отношению к одно-партонным взаимодействиям изучался во второй части диссертации в процессах парного образования тяжелых мезонов со скрытыми c и b кварками. Полученные экспериментальные данные были интерпретированы на основе теоретических подходов квантовой хромодинамики. Такие исследования являются актуальными, так как вклад мульти-партонных взаимодействий необходимо учитывать при интерпретации жестких адрон-адронных взаимодействий при высоких энергиях и поиске процессов, в которых проявляется новая физика. Третья часть диссертации посвящена изучению одного из экзотических много-кварковых состояний адронов. Эта тема исследований также вызывает большой интерес физиков и является областью применения непертурбативной хромодинамики.

Для реализации исследований, представленных в диссертации, автор сделал значительный вклад в развитие методики эксперимента, а именно, в разработку мониторинга стабильности работы передней мюонной системы и системы измерения светимости эксперимента D0. Поддержание стабильности работы данных систем являлось необходимым условием для получения физических результатов в эксперименте.

В диссертации выполнен поиск партнеров калибровочных бозонов и бозонов Хиггса в рамках модели минимальной суперсимметрии (MSSM). В результате анализа экспериментальных данных была определена область исключений для суперсимметричных партнеров в зависимости параметров модели. Данный результат на момент публикации превосходил результаты других экспериментов. Также был проведен поиск возможного проявления дополнительных размерностей в физических процессах образования RS-гравитонов, распадающихся на пары фотонов или электронов, поставлен верхний предел на величину сечения образования первого гравитона и в рамках модели поставлен нижний предел на его массу. Данный результат также был наиболее строгим ограничением на момент публикации. В диссертации также проведено исследование событий с двумя фотонами, имеющими большой поперечный импульс и с большой недостающей энергией в конечном состоянии. В спектре по недостающей энергии для таких событий не наблюдалось статистически значимых отклонений от предсказаний Стандартной модели. Результат был интерпретирован в виде ограничения на значения эффективного масштаба нарушения суперсимметрии и массы легчайшего нейтрино, а также в рамках модели универсальных дополнительных измерений. Во все результаты по поиску новой физики в эксперименте D0, представленные в диссертации, автор внес значительный вклад. Описанные в диссертации результаты давали наиболее строгие ограничения на возможные проявления новой физики и заложили основу для дальнейших поисков за пределами Стандартной модели в экспериментах на Большом Адронном Коллайдере (LHC), что подтверждает новизну и актуальность исследований, представленных в диссертации.

Вызывает большой интерес представленное в диссертации исследование двух-партонных взаимодействий в экспериментальных событиях парного образования мезонов со скрытыми s и b кварками: $J/\psi J/\psi$ и $J/\psi \Upsilon$. Автор детально описал экспериментальную методику выделения сигналов данных процессов, оценки фоновых процессов, коррекций экспериментальных распределений на акцептанс установки D0 и эффективность триггера. Не вызывает сомнения глубокое владение автором методикой анализа экспериментальных данных. В результате анализа был также определен вклад одно-партонных взаимодействий в процесс парного образования $J/\psi J/\psi$. Нужно отметить, что процессы парного образования $J/\psi \Upsilon$ были исследованы впервые и результаты измерения до сих пор являются уникальными. В таких процессах доминируют двух-партонные взаимодействия, так как одно-партонные взаимодействия подавлены законами сохранения. Измерение сечения образования состояний $J/\psi J/\psi$ и $J/\psi \Upsilon$ позволило определить эффективное

сечение двух-партонных взаимодействий для данных процессов. Результаты измерения были интерпретированы в рамках эффективного поперечного размера глюон-глюонных взаимодействий, которые дают доминирующий вклад в образования пар мезонов J/ψ J/ψ и J/ψ Υ . Обнаруженное подавление эффективного сечения двух-партонных взаимодействий в процессах образования J/ψ J/ψ и J/ψ Υ по отношению к процессам образования струй в кварк-кварковых и кварк-глюонных взаимодействиях требует теоретического объяснения. Таким образом, полученные результаты по определению вклада двух-партонных взаимодействий являются новыми и актуальными как для дальнейших исследований в экспериментах на коллайдере LHC, так и для развития теоретических подходов в рамках пертурбативной квантовой хромодинамики.

Заключительная часть диссертации посвящена поиску рождения экзотического состояния $Z_c^\pm(3900)$, которое распадается на $J/\psi \pi^\pm$, а также исследованию свойств такого экзотического много-кваркового состояния, образованного в полу-инклюзивных распадах b -адронов. В диссертации также был представлен результат измерения верхнего предела для доли событий от прямого образования состояния $\psi(4260)$ со скрытым c -кварком с дальнейшим распадом на $Z_c^\pm(3900)\pi$ и непрямого образования $\psi(4260)$ от распадов b -мезонов. Полученные результаты являлись актуальными на момент публикации. Систематическое исследование образования экзотических много-кварковых состояний в адронных взаимодействиях было реализовано в дальнейшем в эксперименте LHCb.

В диссертации приводится детальный анализ при выделении экспериментальных сигналов, подавлении и оценке вероятности фоновых процессов, вычислении сечений и предельных вероятностей процессов, оценке систематических ошибок измерений. Несомненно, автор показал высокую квалификацию при применении методов анализа и интерпретации экспериментальных данных. Методы анализа данных и их интерпретация являются обоснованными.

К недостаткам диссертационной работы можно отнести:

1. Результаты, представленные в трех частях диссертации, а именно, 1) по поиску суперсимметричных партнеров калибровочных бозонов и проявлений дополнительных размерностей, 2) измерению вклада двух-партонных взаимодействий в процессах парного образования тяжелых мезонов со скрытыми c и b кварками и 3) изучению одного из экзотических много-кварковых состояний адронов, слабо связаны между собой по

темам исследований, не являются составными частями более общего исследования как в эксперименте, так и со стороны теории.

2. Результаты, изложенные в диссертации, несомненно, были актуальными на момент докладов, представленных автором на конференциях, и публикации статей коллаборации D0. Представление диссертации в тот момент было бы более своевременным. С тех пор исследования по темам диссертации были выполнены в экспериментах на коллайдере LHC, что позволило повысить экспериментальные пределы в поисках новой физики за пределами Стандартной модели и продолжить исследования экзотических мультикварковых состояний.

3. При изложении материала автор многократно приводит детали анализа подобных процессов и состояний, критериев отбора событий, что несколько затрудняет выделение главных результатов анализа. Систематизация в виде таблиц критериев отбора и кинематических областей измеряемых величин помогла бы более наглядно следовать этапам анализа и сравнивать критерии при выделении физических процессов.

4. При сравнении результата измерения вклада двух-партонных взаимодействий в образование J/ψ J/ψ с предсказаниями теоретических расчетов на основе k_T факторизации (формулы 3.26 и 3.28 диссертации) автор слишком оптимистично указывает на согласие измерений и расчетов в пределах 1σ . Разница между экспериментом и моделью составляет величину порядка 1.6 от квадратичной суммы экспериментальных и модельных ошибок. В диссертации приводятся измеренные сечения образования J/ψ J/ψ в одно-партонных и двух-партонных взаимодействиях, умноженные на квадрат вероятности канала распада J/ψ (формулы 3.25 и 3.26). При этом результаты измерения сравниваются с теоретическими расчетами для полного сечения образования J/ψ J/ψ (формулы 3.27-3.30), что, по-видимому, является опечаткой. Также не совсем понятно, при каких предположениях выполнялись теоретические расчеты, так как в публикациях, где описан теоретический подход на основе k_T факторизации, нет самих расчетов сечений данных процессов.

Отмеченные недостатки не умаляют достоинств диссертации. Диссертация является законченным научным исследованием высокого уровня. Результаты опубликованы в престижных научных журналах, в том числе коллаборацией D0. Автор представлял результаты в докладах от имени коллаборации D0 на международных научных конференциях, что подтверждает значительный вклад автора в исследования. Полученные результаты являются актуальными для физики высоких энергий, так как они стали основой для дальнейших исследований, которые в настоящее время ведутся на коллайдере LHC в ЦЕРН, а также для развития теоретических моделей, как за пределами

Стандартной модели, так и в рамках квантовой хромодинамики. Положения и выводы диссертации обоснованы с научной точки зрения.

Автореферат диссертации полностью соответствует тексту диссертации.

Диссертация А.В.Попова безусловно удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.23 – «Физика высоких энергий», а ее автор заслуживает присуждения этой степени.

Капишин Михаил Николаевич,

Доктор физико-математических наук,

Начальник отдела НЭОБМН, Лаборатория Физики Высоких Энергий,

Объединенный Институт Ядерных Исследований,

141980, Московская обл., г.Дубна, ул. Жолио Кюри 6

Тел. (49621)-62861, адрес электронной почты: kapishin@jinr.ru

Подпись М.Н.Капишина заверяю.

Ученый секретарь Лаборатории Физики Высоких Энергий ОИЯИ

Кандидат физико-математических наук



А.П.Чеплаков

25 апреля 2022 г.