

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по научно-  
исследовательской работе ФГБОУ  
ВО «Саратовский национальный  
исследовательский  
государственный университет  
имени Н.Г. Чернышевского»  
д.ф.м.н., профессор  
Короновский А.А.

« 30 » \_\_\_\_\_ 2016 г.

### **ОТЗЫВ**

**ведущей организации**

ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский  
государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»  
на диссертацию

**Голованова Георгия Анатольевича**

«Многопартонные взаимодействия в протон-протонных столкновениях  
в эксперимента D0 на коллайдере Тэватрон»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности  
01.04.16 – Физика атомного ядра и элементарных частиц.

Одним из актуальных направлений современной физики элементарных частиц является экспериментальное изучение процессов адрон-адронных столкновений. Составная природа адронов обуславливает тот факт, что при их столкновениях возможно взаимодействие нескольких пар составляющих их партонов, что может содержать важную информацию о внутренней структуре адронов.

Диссертационная работа Голованова Г.А. посвящена изучению процессов с множественными партон-партонными взаимодействиями в протон-антипротонных столкновениях, измерению доли таких событий, а также параметра, связанного с пространственным распределением партонов внутри нуклонов. Исследование свойств таких событий в конечных состояниях с рождением фотонов и адронных струй представляет также немалый интерес с точки зрения получения новой информации о жестких процессах в квантовой хромодинамике и сравнению с теоретическими предсказаниями в широком диапазоне бьеркеновских переменных ( $x-Q^2$ ). Помимо этого, исследование процессов с множественными партонными

взаимодействиями позволяет производить оценку фона к редким процессам, таким как рождение бозона Хиггса на существующих и будущих адронных ускорителях. С этих позиций **актуальность** диссертационной работы Голованова Г.А. не вызывает сомнений.

**Содержание работы.** Диссертация Голованова Г.А. представлена на 149 страницах и состоит из введения, 5 глав, заключения, 4 приложений и библиографии, включающей в себя 111 наименований.

Во **введении** приводится обоснование актуальности исследований, проводимых в рамках данной диссертации, перечисляются цели и задачи работы, формулируются основные положения, выносимые на защиту, дается общая характеристика работы.

**Первая глава** посвящена общим свойствам партон-партонных взаимодействий в рамках КХД. Более детально описываются характеристики процессов с множественными партон-партонными взаимодействиями в адрон-адронных столкновениях, а также вводится понятие эффективного сечения процессов с многопартонными взаимодействиями  $\sigma_{eff}$ , экспериментальное измерение которого представляет интерес с точки зрения более глубокого понимания структуры адронов.

Во **второй главе** описываются базовые составляющие ускорительного комплекса Тэватрон и экспериментальной установки D0. Приводится описание принципиального устройства и характеристик основных детектирующих систем установки, а также методика набора данных и идентификации частиц.

Характеристики процессов с многопартонными взаимодействиями изучаются в рамках исследования процесса  $p\bar{p} \rightarrow \gamma + 3 jets$ . Этому предшествует детальное изучение кинематических характеристик процессов ассоциативного рождения фотонов и адронных струй  $p\bar{p} \rightarrow \gamma + jet + X$ . В **третьей главе**, приводится подробное описание измерения тройного дифференциального сечения этих процессов в различных кинематических областях. Обсуждаются фундаментальные процессы в лидирующем порядке КХД, лежащие в основе таких событий, а также эффекты, связанные с вкладом более высоких порядков. Значительное внимание уделено описанию методики экспериментального отбора исследуемых процессов из всего набора данных, полученных на установке D0. Измеренные сечения процессов совместного рождения «фотон + струя» сравниваются с теоретическими предсказаниями.

**Четвертая глава** целиком посвящена изучению характеристик процессов  $p\bar{p} \rightarrow \gamma + 3 jets$  с двойными партон-партонными взаимодействиями, образованными конечными состояниями «фотон + струя» и «струя + струя». Описывается методика, применяемая для экспериментальной оценки доли таких событий и измерению параметра  $\sigma_{eff}$ . Исследуется также зависимость этих величин от энергетической шкалы второго партон-партонного взаимодействия.

Параметр  $\sigma_{eff}$  является процесс-независимым, что делает возможным его применение для оценки фона, обусловленного двухпартонными

взаимодействиями в других процессах. В пятой главе оценка фона от событий с двухпартонными взаимодействиями производится в рамках изучения процесса ассоциативного рождения  $W$ -бозона и бозона Хиггса при энергии сталкивающихся протон-антипротонных пучков 1.96 ТэВ в системе центра масс. Измеренное значение  $\sigma_{eff}$  применяется для установления величины сечения процесса с двухпартонными взаимодействиями, которое сравнивается с сечением процесса  $p\bar{p} \rightarrow W + X$ , обладающего таким же конечным состоянием, но полученного в рамках механизма одиночного партон-партонного взаимодействия.

**Научная новизна.** Основные результаты диссертационной работы являются новыми и получены впервые.

**Научно-практическая значимость.** Результаты диссертационной работы представляют значительный интерес для специалистов как в области эксперимента, так и феноменологии физики элементарных частиц и могут найти применение для более детального изучения структуры адронов. Помимо этого, выполненные измерения могут быть использованы для усовершенствования существующих моделей множественных партон-партонных взаимодействий и увеличения точности теоретических предсказаний.

**Личный вклад автора.** Работа выполнена автором в составе международной коллаборации D0, Фермилаб. Все результаты, вошедшие в диссертацию, были получены лично автором или при его непосредственном участии.

По представленной диссертации можно сделать ряд **замечаний**.

1. На рисунке 1.4 приводятся параметризации функций партонных плотностей для  $u, \bar{u}, d$ -кварков и глюонов. Не лишним было бы отображение на графиках аналогичной параметризации для  $\bar{d}$ -кварка, как еще одного валентного кварка, участвующего в протон-антипротонных столкновениях.
2. В разделе 1.3 (стр. 18) общепринятый в специальной литературе термин “К-фактор” употребляется в значении отношения сечений следующего за лидирующим (NLO) к лидирующему (LO) порядку теории возмущений, в то время как в разделе 5.4 (стр. 105) он понимается в смысле коэффициента нормализации теоретических предсказаний сечений к экспериментально измеренным сечениям, что вносит определенную путаницу.
3. В Приложении В (стр. 145) приведено сравнение различных моделей пространственной плотности партонов с использованием измеренного значения эффективного сечения множественных партонных взаимодействий. Данное приложение содержит интересный результат, связанный с оценкой среднеквадратичного радиуса протона, который несомненно имеет право быть внесенным в основной текст диссертации в виде отдельного раздела.

**Общая оценка работы.** Диссертационная работа Голованова Георгия Анатольевича представляет собой полноценное и оригинальное исследование, посвященное решению актуальной задачи физики элементарных частиц. Заявленные и поставленные цели достигнуты, результаты признаны международной коллаборацией D0. Все представленные результаты своевременно опубликованы в ведущих научных журналах (5 публикаций), удовлетворяющих требованиям, предъявляемым Высшей аттестационной комиссией, и известны специалистам. Представленные результаты были лично доложены автором на международных и российских семинарах и конференциях.

Текст автореферата корректно отражает содержание диссертации.

Сделанные замечания не являются принципиальными и не снижают ценность представленной автором работы.

Диссертационная работа «Многочастичные взаимодействия в протон-антипротонных столкновениях в эксперименте D0 на коллайдере Тэватрон» соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, учрежденного Постановлением Правительства Российской Федерации N842 от 24 сентября 2013 г. «О порядке присуждения учёных степеней», предъявляемых к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор **Георгий Анатольевич Голованов** заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – Физика атомного ядра и элементарных частиц.

Отзыв составлен профессором кафедры теоретической физики Смолянским С.А.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры теоретической физики ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» (протокол № 1 от 30 августа 2016 г).

Заведующий кафедрой теоретической физики ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»,  
доктор физ-мат наук, профессор



Бабков Лев Михайлович

Сведения о ведущей организации:  
410012, г.Саратов, ул. Астраханская, 83  
Телефон: +7 (8452) 51-17-57  
Email : lmbabkov@gmail.com

