

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук, профессора Салеева Владимира Анатольевича  
на диссертационную работу Верхеева Александра Юрьевича  
**«Изучение процессов с рождением прямых фотонов и ассоциированных адронных  
струй в эксперименте D0 на Тэватроне»**,  
представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Одной из ключевых задач физики высоких энергий является экспериментальная проверка предсказаний Стандартной Модели физики элементарных частиц. Изучение процессов ассоциированного рождения фотона и адронных струй является важным тестом квантовой хромодинамики (КХД), позволяющим уточнить современные представления о жёстких взаимодействиях кварков и глюонов. Также, такие процессы могут позволить получить дополнительную новую информацию о функциях распределения партонов внутри нуклона.

С ростом энергии современных ускорительных комплексов возрастает необходимость в учёте новых эффектов, например, связанных с мультипартонными взаимодействиями или с эффектами неколлинеарной партонной динамики.

Содержание диссертационной работы Верхеева А.Ю. основано на полученных им результатах обработки и изучения инклюзивных процессов рождения прямого изолированного фотона и ассоциированных с ним адронных струй в протон-антипротонных столкновениях при энергии 1.96 ТэВ в системе центра масс, проводимых на эксперименте D0 в ускорительном центре Фермилаб (Батавия, США).

Материал диссертационной работы, состоящий из введения, шести глав, заключения и двух приложений, изложен на 143 страницах машинописного текста, включает 66 рисунков и 35 таблиц. Библиографический список состоит из 140 наименований.

Во **введении** автор обозначает цель работы, обсуждает актуальность проблемы, также приводит основные положения, выносимые на защиту. Также представлено краткое описание содержания диссертации и обсуждение практической ценности полученных результатов.

В **первой** главе кратко рассматриваются теоретические аспекты, лежащие в основе выполненных экспериментальных работ, такие как Стандартная Модель, квантовая

хромодинамика, непертурбативные эффекты, используемые при описании низкоэнергичных взаимодействий и адронизации и пр.

Во **второй** главе диссертационной работы приводится описание ускорительно комплекса Тэватрон и детектора эксперимента D0.

В **третьей** главе кратко обсуждается триггерная система, которая использовалась в эксперименте D0 при отборе физических событий. Дополнительно приводится описание основных алгоритмов, используемых для реконструкции физических объектов: таких как положение первичной вершины у порождённых конечных частиц, фотон, адронная струя и пр.

В **четвёртой** главе приводятся полученные автором результаты измерения тройного дифференциального сечения процессов с рождением изолированного прямого фотона и ассоциированной с ним адронной струи при энергии сталкивающихся протонных и антипротонных пучков при их полной энергии  $\sqrt{s} = 1.96$  ТэВ в шестнадцати различных кинематических областях по быстротам фотона и струи. Полученные результаты были сравнены автором с различными теоретическими предсказаниями на основе Монте-Карло генераторов (NLOJetPhox, Pythia, Sherpa).

В **пятой** главе диссертации приводятся полученные нормированные дифференциальные сечения как функции азимутальных углов в четырёх интервалах по поперечному импульсу второй струи процессов вида «фотон + 2 струи + X» и «фотон + 3 струи + X». Данные сечения чувствительны к вкладу от адронных струй, исходящих из дополнительных жестких партонных взаимодействий. Измерения, выполненные автором на основе анализа полученных данных, могут быть использованы для улучшения существующих мультипартонных теоретических моделей, а также оценки доли мультипартонных событий.

В **шестой** главе приводятся выполненные автором измерения доли двойных партонных взаимодействий и параметра, несущего информацию о поперечном партонном распределении в нуклоне, эффективного сечения,  $\sigma_{\text{eff}}$ , в «фотон + 3 струи + X» (инклюзивный случай) и «фотон + b/c-струя + 2 струи + X» (HF случай) событиях. С учетом неопределенностей, найденные эффективные сечения для инклюзивного и HF набора событий совпадают между собой и согласуются с существующими физическими измерениями на Тэватрон и БАК. Данные измерения  $\sigma_{\text{eff}}$  являются наиболее точными на сегодняшний день, и это первое измерение со струями, образованными тяжелыми кварками.

Автореферат полностью и последовательно отражает содержание диссертации.

Работа написана ясно и последовательно. В качестве замечания, хотелось бы отметить следующее: одним из результатов работы является извлечение параметра  $\sigma_{\text{eff}}$ , который определяет абсолютную величину вклада двойного партонного рассеяния (ДПР) в процессах ассоциативного рождения фотона и двух или трех струй. Абсолютный вклад ДПР определяется как разность между экспериментально измеренным сечением (или спектром) и теоретическим предсказанием, полученным в модели одиночного партонного рассеяния (ОПР) в том или ином приближении. Для процессов  $2 \rightarrow 2$  частицы теоретические результаты в модели ОПР получены на уровне точности следующего за лидирующим приближения пертурбативной КХД, а для процессов  $2 \rightarrow 3$  и  $2 \rightarrow 4$  только в лидирующем приближении КХД. Известно, что поправки от следующего приближения теории возмущений КХД могут быть большими. Насколько обоснованно в этом случае полученное значение  $\sigma_{\text{eff}}$ ? В работе исследуется вклад от ОПР и ДПР только в приближении коллинеарной партонной модели, однако известно, что при высоких энергиях могут быть важны эффекты неколлинеарной динамики партонов (kt-факторизация или факторизация при высоких энергиях), которые дают вклад в той же кинематической области, что ДПР, например, в области больших азимутальных углов между конечными струями или струей и фотоном. Представляет большой интерес для проверки адекватности коллинеарного и неколлинеарного приближений анализ экспериментальных данных в таких переменных, которые бы смогли помочь разделить вклады ДПР в коллинеарном приближении и ОПР с неколлинеарной динамикой партонов.

Сделанные замечания не умаляют значения полученных результатов и не снижают высокого научного уровня диссертации. Рассмотренная диссертация является законченной научно-исследовательской работой. Она выполнена лично автором и характеризуется высоким научным уровнем. Работы, вошедшие в диссертацию, являются достоверными и оригинальными.

Обоснованность и достоверность результатов, представленных в диссертационной работе подтверждается тем, что в ней используются строгие и апробированные методы измерения физических объектов, современные методы статистического анализа, а также сравнением с теорией и данными существующих измерений.

По материалам диссертации опубликовано 4 работы, 3 из которых в издании, удовлетворяющем требованиям, предъявленным Высшей аттестационной комиссией. Работа апробирована диссертантом в ходе российских и международных школ и научных конференций.

Результаты диссертационной работы представляют научный интерес для современных мировых центров, в частности в ЦЕРН (Швейцария) и ФАИР (Германия) и

могут быть использованы в исследованиях многоструйных процессов при отличной от Фермилаб энергии в системе центра масс частиц.

Диссертация Верхеева Александра Юрьевича «**Изучение процессов с рождением прямых фотонов и ассоциированных адронных струй в эксперименте D0 на Тэватроне**» полностью отвечает требованиям Положения о присуждении учёных степеней», предъявляемым к диссертационным работам на соискание учёной степени кандидата наук, а сам диссертант, Верхеев Александр Юрьевич, безусловно, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Официальный оппонент,  
доктор физико-математических наук, профессор,  
профессор кафедры физики  
федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Самарский государственный аэрокосмический университет  
имени академика С. П. Королева  
(национальный исследовательский университет)»

Салеев Владимир Анатольевич

03.03.2016

443086, Приволжский федеральный округ,  
Самарская область, г. Самара, Московское шоссе, д. 34.  
email: [saleev@samsu.ru](mailto:saleev@samsu.ru), телефон: 8 (846) 267-45-29

Подпись	<i>Салеев В. А.</i>	удостоверяю.
Начальник отдела обеспечения деятельности советов СГАУ		
«03»	03	Павлова Н.Н.

