

ОТЗЫВ

официального оппонента Смирновой Лидии Николаевны на диссертацию Харлова Юрия Витальевича «Изучение образования нейтральных мезонов в протон-протонных столкновениях в эксперименте ALICE», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий

Эксперимент ALICE на Большом адронном коллайдере (БАК, ЦЕРН) предназначен для исследования кварк-глюонной плазмы в соударениях релятивистских ионов большой массы как нового состояния вещества. Это определило сложную структуру детекторной установки ALICE, включающей наибольшее количество различных методик регистрации частиц. Назначением этих методик является регистрация и идентификация адронов разной природы в широком диапазоне поперечных импульсов частиц. Возможности идентификации вторичных частиц и предельно малые нижние пороги области измеряемых поперечных импульсов частиц определяют уникальность установки ALICE. Эти особенности установки отражены в диссертации Юрия Витальевича Харлова, посвященной изучению образования нейтральных мезонов в протон-протонных столкновениях в эксперименте ALICE. Максимальные достигнутые энергии соударений на БАК и особые возможности установки ALICE в измерении частиц заданной природы определяют актуальность темы диссертации Ю.В.Харлова и новизну представленных в ней результатов.

В качестве нейтральных мезонов в диссертации рассматриваются π^0 и η мезоны, легчайшие адроны, состоящие из легких u и d кварков, а также примеси странных s кварков для η мезона. Прецизионное измерение инклюзивных дифференциальных сечений рождения этих мезонов в протонных соударениях позволяет осуществить проверку предсказаний пертурбативной квантовой хромодинамики (КХД) и множества моделей, используемых для описания процессов в области непертурбативной КХД. Для пертурбативной КХД дифференциальные сечения π^0 и η мезонов могут быть использованы для уточнения функций фрагментации партонов. Актуальность этой задачи обусловлена тем, что измеренные на БАК инклюзивные спектры адронов в протонных взаимодействиях обнаружили значительное (порядка 15%) расхождение с предсказаниями генераторов событий, настроенных на результаты измерений при меньших энергиях взаимодействия протонов. Кроме того, при энергиях БАК сталкивающиеся протоны представляют практически потоки глюонов, тогда как при меньших энергиях соударений в них значителен вклад кварковой компоненты. Результаты, полученные в диссертации

Ю.В.Харлова, позволили уточнить на уровне мировых данных функции фрагментации партонов, в особенности для глюонов.

Основной проблематикой эксперимента ALICE является изучение взаимодействий релятивистских тяжелых ионов. В соударениях этих частиц, благодаря их высокой энергии, возникают состояния с высокой плотностью энергии и барионной плотностью. Это дает возможность структурным элементам нуклонов перейти из состояния конфайнмента в новое состояние кварк глюонной материи, характеризующееся деконфайнментом, или в состояние кварк-глюонной плазмы (КГП). Из-за сложности выявления новых состояний вещества, отсутствия однозначных факторов их проявления, для их исследования в первую очередь применяется фактор ядерной модификации R_{AA} , определяемый через отношение инклюзивных спектров частиц в ядро-ядерных и протон-протонных соударениях, с учетом нормировки первых на количество взаимодействующих нуклонных пар. Для измерения величины R_{AA} требуются результаты непосредственных измерений для протон-протонных соударений. Именно такие результаты представлены в диссертации Ю.В.Харлова, что также определяет актуальность выполненных автором исследований.

В диссертации дан краткий обзор современных теоретических подходов в исследовании кварк-глюонной материи с необходимыми библиографическими указателями, приведен обзор результатов эксперимента ALICE, что является достоинством работы.

Измерения нейтральных π^0 и η мезонов включают большую работу по их реконструкции из регистрируемых в детекторах фотонов. Помимо присутствия прямых одиночных фотонов среди множества фотонов от распадов π^0 и η мезонов, при реконструкции возникает большой комбинаторный фон, преодоление вклада которого требует применения специальных методик физического анализа и высокого качества методов измерения, т.е. характеристик используемых детекторов и способов анализа их данных. Фотоны, как правило, измеряются электромагнитными калориметрами, если они не конвертировали до попадания в калориметр, и трековыми детекторами в случае их конвертации. В диссертации Ю.В.Харлова представлены измерения, выполненные в фотонном спектрометре PHOS установки ALICE, собранном из уникальных кристаллов $PbWO_4$, на электромагнитном калориметре сэмпингового типа EMCAL, и трековом детекторе установки – внутренней трековой системе ITS и времяпроекционной камере TPC. Проведение измерений несколькими независимыми методами, тщательный анализ

систематических погрешностей, сравнение с другими измерениями и с теоретическими вычислениями подтверждает обоснованность и достоверность научных положений, приведенных в диссертации.

В диссертации подробно описаны электромагнитный калориметр PHOS, системы триггера и мониторинга его работы, проведен анализ различных типов электромагнитных калориметров. Сравнение характеристик калориметра PHOS непрерывного типа и составного (сэмплингового) калориметра проведено с использованием специального прототипа, описанного в третьей главе диссертации. Автором диссертации показано, что сэмплинговые электромагнитные калориметры не уступают калориметрам на основе кристаллов, даже столь уникальным как кристаллы $PbWO_4$. Это является, безусловно, важным результатом работы из-за существующих сложностей с доступностью кристаллов.

Получению физических результатов на экспериментальной установке предшествует важный этап создания математической модели детектора, калибровки каналов съема информации, алгоритмов реконструкции характеристик физических объектов. Большой объем этой работы выполнен автором диссертации Ю.В.Харловым и отражен в 3 и 4 главах диссертации. Показано совпадение основных характеристик калориметра PHOS с результатами тестовых измерений на пучках электронов. Разработаны методы идентификации кластеров энергвыделения в калориметре PHOS при высоких энергиях с целью разделения каскадов от π^0 – мезонов и одиночных фотонов по форме электромагнитного каскада в калориметре. Объем выполненной работы, отраженный в диссертации, является важным вкладом в эксперимент ALICE и открывает возможность получения широкого набора физических результатов, существенно превышающих объем физических результатов, отраженных в диссертации. В первую очередь это результаты, относящиеся к измерению и анализу столкновений тяжелых ионов, основной задачи эксперимента ALICE.

Инвариантные дифференциальные сечения инклюзивного рождения π^0 и η мезонов измерены по величине поперечного импульса (p_T) во взаимодействиях протонов при энергиях 0.9, 7 и 8 ТэВ в системе центра масс и представлены в главе 6 диссертации. Измерения выполнены детекторами PHOS и трековой системой установки (ITS и TPC) для центральной области взаимодействий. Область измерений по быстрой отличалась для разных детекторов. Область измерений по p_T составляла от 0.3-0.5 ГэВ/с до десятков ГэВ/с. В работе достигнут значительный прогресс в попытке единого описания

инвариантного спектра в столь широком диапазоне поперечных импульсов адронов. Получены указания на проблемы в описании этих спектров в КХД, где необходимо учитывать и пертурбативный вклад, и непертурбативные модели процессов. Найдены оптимальные настройки генератора RUTHIA 8.2 для описания спектров. Показано успешное описание этих спектров функцией Цаллиса и, что вызывает наибольший интерес, при использовании двухкомпонентной модели А.Былинкина, Н.С.Чернавской и А.А.Ростовцева (Eur.Phys.J. C75, p.166, 2015), давшей наилучшую аппроксимацию спектров нейтральных мезонов. Измеренные спектры использованы при параметризации функций фрагментации, что демонстрирует практическую значимость результатов наряду с методическими разработками в калориметрии.

Важный результат приведен в последнем разделе главы 6 по измерению асимметрии спектров η мезонов в соударениях поперечно поляризованных протонов и антипротонов с импульсом 200 ГэВ/с с неполяризованными протонами. Измерения выполнены в Фермиевской национальной лаборатории США в эксперименте E704. Они подтвердили присутствие положительной асимметрии в спектрах η мезонов в области фрагментации, подобной наблюдаемой в спектрах π^0 и π^+ мезонов. Сравнительный анализ эффекта при разных энергиях показывает устойчивость эффекта с увеличением энергии взаимодействия.

Достижением диссертации Ю.В.Харлова является получение уникальных результатов об инвариантных дифференциальных сечениях π^0 и η мезонов в протонных взаимодействиях при энергиях, доступных ранее только в космических лучах. Использованная в диссертации методика позволила достичь недоступной ранее точности измерений и диапазона переменных измерения. Статус руководителя специальных групп в эксперименте ALICE демонстрирует не просто внесения вклада, а высокий уровень ответственности Ю.В.Харлова за полученные результаты.

В качестве замечаний можно отметить следующее.

- На рисунках с результатами измерений инвариантных дифференциальных сечений и в подписях к ним не указаны явно значения быстроты, к которым они относятся. Приведены только области измерений разными типами детекторов в тексте диссертации. Это некорректно и может вызвать неоднозначности при автономном использовании иллюстраций.
- При описании апробации работы не приведен список конференций, на которых автор сделал доклады.

- В тексте диссертации и автореферата присутствуют опечатки, несогласованность падежей, сложные обороты. Присутствует неоднозначность в использовании переводных терминов. Например, на стр.100 диссертации при описании корреляционных явлений есть выражение «структура с удвоенной пиковой стороны», смысл которого понять трудно без рисунка 5.8.

Указанные замечания не снижают высокого качества проведенных исследований. Результаты, приведенные в диссертации, опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

Личный вклад автора не вызывает сомнений. Автореферат отражает содержание диссертации.

Результаты, полученные автором диссертации, могут быть использованы при проведении, планировании и анализе экспериментов как в нашей стране в Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт», ОИЯИ, ФИАН, НИИЯФ МГУ, ИЯИ РАН, так и в зарубежных научных центрах.

Таким образом, диссертация Юрия Витальевича Харлова на соискание ученой степени доктора физико-математических наук является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены достоверные и научно-обоснованные результаты, использование которых вносит значительный вклад в развитие научного потенциала страны, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Официальный оппонент

Л.Н. Смирнова

Доктор физ.-мат. наук, профессор, специальность 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц), профессор Физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (119234, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, Физический факультет, тел. +7(495)939-16-82, адрес эл. почты: lns@physics.msu.ru; Lidia.Smirnova@com.ch)

Декан физического факультета МГУ
Профессор



Н.Н. Сысоев

20 марта 2018 г.