

Отзыв официального оппонента

доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника ИЯИ РАН Пантуева Владислава Сергеевича на диссертацию Харлова Юрия Витальевича на тему «Изучение образования нейтральных мезонов в протон-протонных столкновениях в эксперименте ALICE» по специальности 01.04.23 — физика высоких энергий, представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук.

Актуальность избранной темы

Запуск Большого Адронного Коллайдера (БАК) в ЦЕРН явился знаменательной вехой в свете неоспоримого подтверждения справедливости Стандартной Модели элементарных частиц. Однако, помимо открытия бозона Хигса, БАК открывает широкий ландшафт для дальнейшего уточнения Стандартной Модели как в сильном, так и в электрослабом секторах. Важное место занимают измерения и сравнения с расчетами по КХД дифференциальных сечений образования идентифицированных адронов в широком кинематическом диапазоне. Такого рода экспериментальные данные необходимы для уточнения параметров КХД — структурных функций сталкивающихся адронов, функций фрагментации измеряемых адронов конечного состояния, матричных элементов элементарных протонных процессов в высших порядках теории возмущений. Получение сечений рождения нейтральных мезонов в pp и ядро-ядерных столкновениях в условиях одной и той установки позволяет избежать многих систематических ошибок для изучения по программе столкновения релятивистских ядер.

Прецизионные измерения дифференциальных сечений образования адронов различных ароматов также важны для исследований в электрослабом секторе, где каналы рождения и распада частиц через сильное взаимодействие являются неизбежным фоном. Учет этого фона основан как на расчетах КХД и на феноменологических моделях образования адронов, так и на базе экспериментальных данных.

Таким образом, тема диссертации Ю.В.Харлова, посвященной измерениям сечений образования легких нейтральных мезонов, π^0 и η , в pp столкновениях при энергиях БАК $\sqrt{s}=0.9, 7$ и 8 ТэВ, а также измерениям спиновых эффектов в столкновении поляризованных протонных и антипротонных пучков при энергии $\sqrt{s}=19$ ГэВ, является актуальной в современной физике высоких энергий.

Степень обоснованности положений диссертации

В диссертации представлен цикл исследований образования нейтральных мезонов в pp столкновениях на установке ALICE на БАК. Автор внес существенный вклад в разработку, создание, эксплуатацию и обработку данных фотонного спектрометра PHOS. В частности, описана светодиодная мониторинговая система PHOS, триггер PHOS на отбор событий, содержащих фотоны высоких энергий PHOS, приведены основные характеристики этой аппаратуры, полученные на данных эксперимента. В Главе 4 описаны методы реконструкции данных детектора PHOS и идентификации фотонов и π^0 мезонов при больших поперечных

импульсах, обоснованы коррекции параметров фотонов. Собственно, результаты измерений дифференциальных сечений образования нейтральных мезонов и односпиновых асимметрий в образовании η -мезонов и их анализ представлены в главе 6. Подробно описаны методы анализа данных, обоснованы критерии отбора событий и кандидатов в фотоны. Представлены сравнения наблюдаемых сечений, измеренных в экспериментах ALICE и E704, с расчетами пертурбативной КХД и с результатами моделирования современных генераторов событий.

Достоверность и новизна полученных результатов

Исследования образования легких нейтральных мезонов в протон-протонных столкновениях, описанные в диссертации, выполнены в составе международных коллабораций ALICE в ЦЕРН и E704 в FNAL. Обработка данных, обсуждение полученных результатов, написание статей в больших коллаборациях проходит многоступенчатую проверку, что гарантирует надежность опубликованных результатов. Измерения дифференциальных сечений образования π^0 и η мезонов в pp столкновениях в эксперименте ALICE были проведены двумя методами при энергиях $\sqrt{s}=0.9, 7$ ТэВ и четырьмя методами при $\sqrt{s}=8$ ТэВ. Все методы обладают различными независимыми систематическими погрешностями. Согласованность этих независимых измерений, как показано в диссертации, подтверждает достоверность полученного результата. Измерение односпиновых асимметрий в образовании η мезонов в столкновении поляризованных протонов и антипротонов с неподвижной протонной мишенью, проведенное в эксперименте E704, выполнены стандартными для физики высоких энергий методами, правильность применений которых не вызывает сомнений. В диссертации также приведены оценки систематических погрешностей односпиновых асимметрий.

Все результаты, опубликованные в статьях, на основании которых написана диссертация, являются новым вкладом в феноменологию образования нейтральных мезонов. Как сечения образования нейтральных мезонов в pp столкновениях при энергиях БАК, так и односпиновые асимметрии в образовании η мезонов на поляризованных пучках ускорительного комплекса FNAL выполнены впервые.

Новизна методических положений, представленных в диссертации, также подтверждается созданием, введением в эксплуатацию, обслуживанием и анализом данных фотонного спектрометра PHOS эксперимента ALICE. Это, в частности, светодиодная система мониторинга калориметра, а также разработка триггера PHOS для отбора событий с фотонами высоких энергий, без которых не могли бы быть получены физические результаты.

Значимость полученных автором результатов

Измерения инклюзивных дифференциальных сечений образования π^0 и η мезонов в pp столкновениях при энергиях $\sqrt{s}=0.9, 7$ и 8 ТэВ проведены впервые. Данные эксперимента ALICE получены в наиболее широком диапазоне поперечных импульсов — от 0.4 до 25 ГэВ/c в pp столкновениях при $\sqrt{s}=0.9$ и 7 ТэВ и от 0.4 до 35 ГэВ/c при $\sqrt{s}=8$ ТэВ, многие из которых недостижимы в других экспериментах на БАК. Широкий кинематический диапазон в области больших поперечных импульсов обеспечен выбором электромагнитного

калориметра с малым радиусом Мольера на основе сцинтиллирующих кристаллов вольфрамата свинца. Высокая гранулированность и малый радиус электромагнитного ливня обеспечивает хорошую разрешающую способность детектора по координате фотонов. Точные измерения дифференциальных спектров образования π^0 и η мезонов при больших импульсах позволяя уточнить параметры расчетов в высших порядках теории возмущений по КХД.

Измерения односпиновой асимметрии образования η мезона в столкновении поперечно поляризованных протонных и антипротонных пучков с протонной мишенью, выполненные в эксперименте E704 важны для понимания спиновых эффектов в адронных столкновениях. Универсальность спиновых эффектов в области фрагментации поляризованного пучка была подтверждена в более поздних измерениях, проведенных на ускорителе RHIC при в 10 раз больших энергиях. Показано, что качественно и количественно эти эффекты не зависят от энергии столкновений.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Опыт создания и эксплуатации экспериментальной аппаратуры, методы исследований, алгоритмы реконструкции и анализа данных, описанные в диссертации, имеют практическую значимость для действующих и будущих экспериментов. В частности, алгоритмы реконструкции данных фотонного спектрометра PHOS, примененные в получении результатов данной диссертации, являются универсальными для любых калориметров годоскопического типа. Светодиодная система мониторингования калориметра и методы её управления также могут быть применены в аналогичных детекторах.

Измерения дифференциальных сечений образования π^0 и η мезонов в pp столкновениях при энергиях $\sqrt{s}=0.9, 7$ и 8 ТэВ и односпиновых асимметрий в столкновениях поляризованных протонных и антипротонных пучков с водородной мишенью имеют важное значение для дальнейшего развития пертурбативной КХД. Опубликованные измерения, представленные в диссертации, используются теоретиками для уточнения параметризации функций фрагментации.

Оценка содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения. Диссертация содержит 195 страниц, включающих 65 рисунков и 20 таблиц. Библиография содержит 176 ссылок. Основные результаты были опубликованы автором в 14 статьях в реферируемых журналах. Диссертация является завершенным циклом 20-ти летней работы автора.

Постановка задачи исследований по изучению свойств сильновзаимодействующей материи, образующейся в столкновениях протонов и тяжелых ионов при высоких энергиях, сформулирована во введении и в Главе 1. Описание экспериментальной установки ALICE приведено в Главе 2. В главах 2 и 3, представлены принципы построения прецизионных электромагнитных калориметров, в частности, калориметров слоистого типа из свинца и органического сцинтиллятора, типа «Шашлык», и калориметра PHOS из неорганического

сцинтиллятора $PbWO_4$. Там же дано описание подсистем детектора PHOS — триггера на события с фотонами высоких энергий и светодиодной мониторинговой системы. Алгоритмы реконструкции фотонов и нейтральных мезонов в детекторе PHOS описаны в Главе 4. Краткий обзор экспериментальных результатов эксперимента ALICE, полученных в первом сеансе работы БАК, представлено в Главе 5. Глава 6 диссертации содержит подробное описание измерений дифференциальных инвариантных сечений образования π^0 и η мезонов в pp столкновениях при энергиях $\sqrt{s}=0.9, 7$ и 8 ТэВ и односпиновых асимметрий в столкновениях поляризованных протонных и антипротонных пучков с импульсом 200 ГэВ/с с неподвижной водородной мишенью. В заключении приведены основные результаты исследований и положения, выносимые автором на защиту диссертации.

Автореферат диссертации полностью соответствует содержанию самой диссертации.

Замечания к диссертации

**ФН
Б1** Не совсем понятно выделение Главы 5 в отдельную часть, которая и занимает всего 10 страниц. В ней приводятся основные результаты, полученные в эксперименте ALICE, причем, преимущественно по столкновению тяжелых ионов, которые не имеют прямого отношения к теме диссертации. Её содержание можно было бы сократить и представить, как вводную часть к Главе 6. В существующем виде содержание Главы 5 первоначально интерпретируется как часть выносимых на защиту результатов.

**ФН
Б1** При описании EMCAL на стр. 36-39 не приводится формула разрешения детектора по энергии, а это один из самых важных параметров детектора.

**ФН
Б1** В части 2.5.1 при обсуждения минимального триггера следовало бы указать, чем определяются величина эффективности в 75% и как эта цифра была получена?

**ФН
Б1** Вызывают вопрос ошибки эффективности триггера, представленные на стр. 63 на рис. 2.17 справа. Приводимые ошибки точек существенно больше статистической флуктуации. Скорее всего, использовалась пуассоновская процедура оценки, события триггера уже являются частью всех событий, на которые производится нормировка. В данном случае, правильно использовать ошибку биномиального распределения, которая будет существенно меньше.

**ФН
Б1** На рис. 3.3 описание приводимых спектров приводится только в тексте, что затрудняет понимание.

**ФН
Б1** На рис. 5.5 справа, не понятно перемещение точек для pp и для p+Pb при 2.76 ТэВ на факторы 1.13 и 1.12.

**ФН
Б1** В части 6.1.2 на стр. 109-110 при оценке комбинаторного фона не уточнено были ли события ранжированы по категориям: по положению вершины взаимодействия или полной множественности события. Такое разбиение необходимо для правильного построения комбинаторного фона.

**ФН
Б1** Хотелось бы видеть в виде рисунка поведение акцептанса и эффективности детектора в зависимости от импульса, стр. 111-112. Качественное описание недостаточно для таких важных величин.

**ФН
Б1** Такое же замечание относится к поведению систематической ошибки, Таблица 6.2.

- В списке литературы на стр.178 отсутствует собственно сама ссылка на публикацию 115.
- Имеются небольшие опечатки, в частности, на стр. 35, 60, 61, 137, 163.
- В автореферате было бы уместно привести рисунок эксперимента и места расположения калориметров.

Высказанные замечания относятся к содержанию рукописи и ни в коей мере не снижают собственно ценности проделанной обширной работы.

Заключение

Считаю, что диссертация Харлова Ю.В. на соискание ученой степени доктора наук является научно-квалификационной работой, которая может рассматриваться как научное достижение, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней». Основные результаты диссертации были опубликованы в 14 научных статьях в реферируемых журналах, а также представлялись на международных конференциях. Личный вклад автора с получением результатов, приведенных в диссертации, не вызывает сомнений. Автор диссертации заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.23 — физика высоких энергий.

Отзыв составил:

доктор физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц,
ведущий научный сотрудник Отдела экспериментальной физики, ИЯИ РАН

Пантуев Владислав Сергеевич

e-mail: pantuev@inr.ru
тел.: (495)850-42-52

Федеральное государственное учреждение науки Институт ядерных исследований
Российской Академии Наук
117312, Москва, В-312, проспект 60-летия Октября, 7а
e-mail: inr@inr.ru
тел. (495)850-42-01

Подпись Пантуева Владислава Сергеевича заверяю

Заместитель директора
ФГБУН Института ядерных исследований
Российской академии наук




Либанов М.В.