

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Институт физики высоких энергий им. А.А.Логонова
Национального исследовательского центра
«Курчатовский институт»
(НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ)

27 апреля 2018 г.

Заседание диссертационного
совета Д 201.004.01

Протокол № 2018-1

**Стенограмма заседания Диссертационного совета Д 201.004.01
Защита диссертации Харлова Юрия Витальевича
«Изучение образования нейтральных мезонов в протон-протонных
столкновениях в эксперименте ALICE»
на соискание учёной степени доктора физико-математических наук
по специальности 01.04.23 - физика высоких энергий**

Председательствующий: председатель диссертационного совета
Д 201.004.01 доктор физико-математических наук, профессор Тюрин
Николай Евгеньевич.

Секретарь: учёный секретарь диссертационного совета Д 201.004.01
кандидат физико-математических наук. Рябов Юрий Григорьевич

Всего членов совета: 22 человека.

Присутствует: 19 человек.

На заседании присутствуют следующие члены диссертационного совета
Д 201.004.01:

1. Тюрин Н.Е., доктор ф.-м.н., 01.04.02 - председатель;
2. Зайцев А.М., доктор ф.-м.н., 01.04.23 - заместитель председателя;
3. Рябов Ю.Г., канд. ф.-м.н., 01.04.23 - ученый секретарь диссовета;
4. Арбузов Б.А., доктор ф.-м.н., 01.04.02;
5. Герштейн С.С., доктор ф.-м.н., 01.04.02;
6. Денисов С.П., доктор ф.-м.н., 01.04.23;
7. Зайцев Ю.М., доктор ф.-м.н., 01.04.23;
8. Иванов С.В., доктор ф.-м.н., 01.04.20;
9. Качанов В.А., доктор ф.-м.н., 01.04.23;
10. Козуб С.С., доктор ф.-м.н., 01.04.20;
11. Мочалов В.В., доктор ф.-м.н., 01.04.23;

12. Образцов В.Ф., доктор ф.-м.н., 01.04.23;
13. Петров В.А., доктор ф.-м.н., 01.04.02;
14. Разумов А.В., доктор ф.-м.н., 01.04.02;
15. Сенько В.А., доктор ф.-м.н., 01.04.20;
16. Ткаченко Л.М., доктор ф.-м.н., 01.04.20;
17. Трошин С.М., доктор ф.-м.н., 01.04.02;
18. Федотов Ю.С., доктор ф.-м.н., 01.04.20.
19. Фещенко А.В., доктор ф.-м.н., 01.04.20

Диссертационный совет Д 201.004.01 утверждён приказом по Федеральной службе по надзору в сфере образования и науки № 105/нк от 11 апреля 2002 года в составе 22 человек. На заседании присутствуют 19 членов совета, из них 6 докторов наук по специальности 01.04.23 - физика высоких энергий, кворум имеется. На заседании присутствуют также официальные оппоненты доктор физ.-мат. наук Пантуев Владислав Сергеевич и доктор физ.-мат. наук Смирнова Лидия Николаевна.

Н.Е.Тюрин объявляет повестку дня: Сегодня защите докторской диссертации Ю.В.Харловым «Изучение образования нейтральных мезонов в протон-протонных столкновениях в эксперименте ALICE» по специальности физика высоких энергий.

Ю.Г.Рябов представляет материалы, имеющиеся в деле: Ю.В.Харлов, 1968 г. рождения, кандидатскую диссертацию защитил в 2002 г., представленная к защите диссертация выполнена в отделении экспериментальной физики, принята к защите диссертационным советом Д 201.004.01 21 декабря 2017 года. Совет утвердил официальными оппонентами Завертяева Михаила Васильевича — ФИАН, Пантуева Владислава Сергеевича — Институт ядерных исследований РАН, Смирнову Лидию Николаевну — физфак МГУ и ведущую организацию — Объединенный институт ядерных исследований. У соискателя 241 опубликованная работа, в том числе по теме диссертации — 19 работ, из них в рецензируемых научных изданиях — 14 работ. В деле имеются все документы, соответствующие требованиям ВАК для защиты диссертаций.

Н.Е.Тюрин предоставляет слово Ю.В.Харлову для представления работы.

Ю.В.Харлов: Уважаемые коллеги, представляю вашему вниманию диссертацию «Изучение образования нейтральных мезонов в протон-протонных столкновениях в эксперименте ALICE».

Целью работы являются следующие пункты:

- Диссертация посвящена отдельным аспектам экспериментального изучения инклюзивного образования легких нейтральных мезонов, π^0 и η , в протон-протонных столкновениях.

- В эксперименте ALICE на БАК были измерены дифференциальные инвариантные сечения образования π^0 и η мезонов в pp столкновениях при энергиях $\sqrt{s}=0.9, 7$ и 8 ТэВ в области центральных быстрот $y \approx 0$ и в широком диапазоне поперечных импульсов.
- Проведенные сравнения измерений с теоретическими расчетами пертурбативной КХД и Монте-Карло моделями позволили расширить понимание о точности и применимости вычислений КХД, стимулировали уточнение функций фрагментации партонов в пионы.
- Сделаны выводы о масштабных свойствах спектров нейтральных мезонов относительно поперечной массы образующихся частиц.
- В диссертации рассмотрен ряд методических вопросов, необходимых для изучения нейтральных мезонов в pp и Pb-Pb столкновениях – таких как методы реконструкции данных электромагнитных калориметров, триггер на отбор событий с фотонами высоких энергий, система мониторинга калориметров.
- Измерена односпиновая асимметрия в образовании η мезона в столкновении поляризованных протонов и антипротонов с импульсом $p=200$ ГэВ/с с неполяризованной протонной мишенью в области фрагментации поляризованного пучка в эксперименте E704 в ФНАЛ.
- Сравнение этих данных с теоретическими моделями дает знания о возможных механизмах односпиновых асимметрий в образовании адронов в поляризованных столкновениях.

Актуальность выбранной темы обусловлена тем, что измерение образования идентифицированного адронов в pp столкновениях в широких кинематических диапазонах является информативным средством проверки сильных взаимодействий при высоких энергиях. Надежной количественной теорией сильных взаимодействий при больших Q^2 является квантовая хромодинамика в пертурбативное разложение. ПКХД претендует на описание спектров адронов при коллайдерных энергиях при $pT > 2$ ГэВ/с. Однако, и в ПКХД остаются неопределенности: до каких порядков теории возмущений вести расчеты, обладают ли структурные функции и функции фрагментации предсказательной силой при экстраполяции в еще неизмеренные области, зависит ли от энергии столкновений относительный вклад фрагментации глюонов и кварков в спектры идентифицированных адронов, какой параметр брать в качестве масштаба КХД в факторизационном разложении.

Несмотря на то, что ПКХД обладает предсказательной силой, для мягких процессов нет четкой количественной теории, описывающей образование

адронов их “первых принципов”. В этой области по-прежнему остается эмпирическое и феноменологическое описание сильных взаимодействий при малых Q^2 . Генераторы событий с десятками параметров обладают достаточной гибкостью, чтобы описать столкновения pp в широком диапазоне энергиях. Остается также вопрос о применимости скейлинга по m_T и x_T .

Точные измерения спектров нейтральных мезонов, распадающихся на фотоны, имеют и практическое применение: легкие нейтральные (π^0 , η) могут быть идентифицированы в гораздо большем диапазоне энергий, чем заряженные адроны

Распадные фотоны – основной фон для изучения образования прямых фотонов и тяжелых кварков в полулептонной моде распадов. Измерения в протон-протонных столкновениях являются также опорными измерениями для последующих измерений в столкновениях тяжелых ионов.

Научная значимость и новизна работы сформулирована следующим образом:

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/с в pp столкновениях при $\sqrt{s}=0.9$ и 7 ТэВ и от 0.4 до 35 ГэВ/с при $\sqrt{s}=8$ ТэВ, что существенно превышает возможности других экспериментов, измеряющих спектры образования идентифицированных адронов.

Точные измерения дифференциальных спектров образования π^0 и η мезонов имеют важное значение для квантовой хромодинамики, позволяя уточнить параметры расчетов в высших порядках теории возмущений.

Впервые проведены измерения односпиновой асимметрии образования η мезона в столкновении поперечно поляризованных протонных и антипротонных пучков с протонной мишенью.

Результаты измерений односпиновой асимметрии, выполненные в эксперименте E704, наряду с более ранними измерениями этого эксперимента, а также с новыми результатами, полученными в эксперименте PHENIX в БНЛ, важны для понимания спиновых эффектов с адронных столкновениях.

Диссертация также обладает практической значимостью:

- Методы исследований, опыт создания и эксплуатации экспериментальной аппаратуры, алгоритмы реконструкции и анализа данных, описанные в диссертации, имеют практическую значимость для действующих и будущих экспериментов в физике высоких энергий.
- Алгоритмы реконструкции данных фотонного спектрометра PHOS, примененные в получении результатов данной диссертации, являются универсальными для любых калориметров годоскопического типа.

- Представленная в диссертации светодиодная система мониторинга 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 как количественного подхода для описания адронных взаимодействий.

Диссертация основана на 14-ти работах, опубликованных в рецензируемых журналах. Апробация диссертации была проведена на конференциях, где докладывались как предварительные, так и окончательные результаты. Результаты также представлены в препринтах ЦЕРН.

Измерения, представленные в диссертации, проведены в эксперименте ALICE, в состав которой входят детекторы для измерения и идентификации всех частиц. Я подробно остановлюсь на тех детекторах, которые необходимы для проведения измерений: центральной трековой системе, построенной на внутренней трековой системе ITS и времяпроекционной камере TPC, двух электромагнитных калориметрах разного типа PHOS и EMCAL и триггерном детекторе V0 для отбора событий с минимальным взаимодействием. Все детекторы имеют различные аксептансы и характеристики, приведенные на слайде (приводится описание указанных детекторов, показаны схемы экспериментальной установки). Подробнее представлен фотонный спектрометр PHOS, с которым связана моя основная деятельность на протяжении 20 лет. Далее идет описание физических процессов, для которых предназначен детектор PHOS, сформулированы требования к детектору, приведены параметры детектора — энергетическое разрешение, динамический диапазон, геометрические и конструкционные характеристики. Одной из систем детектора PHOS является триггер на отбор событий с фотонами высоких энергий (далее следует описание триггера PHOS). Характеристики триггера были определены на физических данных, набранных с pp столкновениями. Фактор подавления является долей событий, содержащих фотоны с большой энергией в PHOS среди всех событий неупругого взаимодействия. Фактор подавления и частота срабатывания триггера PHOS зависят от порога триггера. Мониторная система PHOS является еще одним из важных элементов установки (приводятся требования к мониторной системе PHOS, показана блок-диаграмма мониторной системы и объясняется назначение различных её модулей). Обсуждаются режимы работы мониторной системы: поджиг светодиодов с варьируемой амплитудой и картиной засветки от события к событию, возможность задавать нужную амплитуду, нужную частоту поджига, форму засвеченной области в каждом

события (показаны рисунки, характеризующие режимы работы мониторинжной системы).

Далее представлены методы реконструкции и идентификации фотонов в детекторе PHOS. Физические задачи PHOS определяют требования не только к детектору, но и к методам реконструкции и идентификации частиц: высокая избирательная способность различать фотоны от любых других частиц, таких как нейтральных и заряженных адронов, мюонов и электронов; высокое энергетическое и пространственное разрешение и, соответственно, высокое разрешение по массе нейтральных мезонов, распадающихся на фотоны.

Идентификация частиц в PHOS основана на трех критериях: по форме ливня идентифицируются электромагнитные ливни, вызванные фотонами и электронами, и подавляются ливни от адронов; время кластера позволяет подавлять медленные частицы, летящие со скоростью меньше скорости света; совпадение кластера в PHOS с проекцией трека, восстановленного в трековых детекторах ALICE, идентифицирует кластер как произошедший от заряженной частицы. При низких энергиях кластера (\sim ГэВ) основным фоном для фотонов являются сигналы от адронов, а при высоких энергиях (>50 ГэВ) фон для фотонов составляют π^0 мезоны. Идентифицировать частицу, образовавшую кластер с энергией $E > 50$ ГэВ, можно, используя форму ливня (приводятся рисунки, объясняющие параметры формы ливня, и распределения, иллюстрирующие разделение кластеров от фотонов и π^0 мезонов).

Переходим к измерениям по данным эксперимента ALICE. Диссертация основана на данных, набранных в первом сеансе Большого адронного коллайдера в 2010-2012 гг: протон-протонные столкновения при энергиях 0.9, 7 и 8 ТэВ. Нейтральные мезоны π^0 и η реконструировались по спектрам инвариантных масс фотонов, регистрируемых в ALICE тремя методами: фотоны могут регистрироваться в двух электромагнитных калориметрах PHOS и EMCAL, а также фотоны, конвертировавшие в e^+e^- пары, могут реконструироваться в центральной трековой системе. Показаны критерии отбора фотонов в электромагнитных калориметрах и методы реконструкции конвертировавших фотонов в центральной трековой системе. Далее показаны примеры спектров инвариантных масс пар фотонов всеми методами реконструкции, иллюстрирующие измерение числа реконструированных нейтральных мезонов. Представлены результаты измерений дифференциальных сечений образования нейтральных мезонов в pp столкновениях при энергиях 0.9 и 7 ТэВ в диапазоне поперечных импульсов от 0.3 до 25 ГэВ/c для π^0 в pp при $\sqrt{s}=7$ ТэВ, от 0.4 до 7 ГэВ/c для π^0 в pp при $\sqrt{s}=0.9$ ТэВ и от 0.4 до 12 ГэВ/c для η в pp при $\sqrt{s}=7$ ТэВ. Измеренные сечение были сравнены с расчетами ПКХД, используя известные в 2012 г параметризации функций фрагментации, что показало, что предсказания КХД превышают измерения почти в 2-3 раза, что объясняется тем, что функции фрагментации не обладают достаточной возможностью экстраполяции на новые кинематические области, доступные на БАК. Более поздние измерения

спектров нейтральных мезонов, проведенные в 2012 г на pp столкновениях при $\sqrt{s}=8$ ТэВ и опубликованные в 2017 г, были сравнены с новыми расчетами ПКХД, основанными на новых параметризациях функций фрагментации. Согласие новых расчетов с измерениями оказалось гораздо лучше, хотя теоретические предсказания по-прежнему превышают измеренные сечения. Отношения спектров π^0 и η мезонов хорошо описываются КХД в том диапазоне p_T , где работает КХД. Модель Pythia также хорошо описывает измеренные отношения. Измерения предыдущих экспериментов, начиная с ISR, показывали, что спектры π^0 и η мезонов хорошо описываются функциями от поперечной массы m_T , что названо m_T -скейлингом. Отношения этих спектров, измеренных на БАК, показывают также хорошее согласование с m_T скейлингом при $p_T > 3.5$ ГэВ/с, в то время как при малых поперечных импульсах наблюдается заметное отклонение измеренных отношений π^0 и η от m_T скейлинга.

Далее перейдем к еще одному измерению — односпиновой асимметрии в образовании η мезона в столкновении поляризованных протонных и антипротонных пучков с импульсом 200 ГэВ/с с неполяризованной протонной мишенью, выполненной в эксперименте E704 в FNAL, проведенного в 1990-х гг. Оказывается, что эти измерения также важны для понимания образования нейтральных мезонов, как и результаты эксперимента ALICE. Далее следует описание эксперимента E704 и методы реконструкции η мезона. Результаты измерения односпиновой асимметрии показывают, что асимметрия сравнима с 0 при $x_F < 0.3$, а начиная с $x_F > 0.3-0.4$ асимметрия начинает линейно расти в области фрагментации поляризованного пучка. Поведение односпиновой асимметрии в образовании η мезона аналогично предыдущим измерениям эксперимента E704 асимметрии заряженных и нейтральных пионов в области фрагментации поляризованного пучка. Более поздние измерения асимметрии в образовании η мезона, проведенные экспериментом PHENIX на RHIC при энергии столкновения 200 ГэВ показали, что поведение асимметрии в области фрагментации поляризованного пучка сохраняет свое поведение при увеличении энергии почти в 10 раз. Теоретические расчеты в рамках ПКХД показали, что односпиновые асимметрии могут быть описаны с использованием функций фрагментации, использующих многопартонные корреляции.

Переходя к заключению диссертации, следует отметить:

1. Показана важность физических измерений дифференциальных сечений выходов идентифицированных адронов в pp столкновениях при высоких энергиях и роль фотонного спектрометра PHOS эксперимента ALICE на Большом Адронном Коллайдере в этих измерениях;
2. Разработана программа управления светодиодной мониторинговой системой PHOS, а также разработаны и реализованы методы определения качества данных и калибровки спектрометра PHOS при помощи этой системы;

3. Введен в эксплуатацию триггер PHOS на события с фотонами высоких энергий. По данным, набранным детектором PHOS с pp столкновениями, определены основные параметры триггера, такие как фактор подавления, эффективность и чистота. С применением триггера PHOS существенно увеличена интегральная светимость, набранная PHOS в первом сеансе БАК с pp столкновениями при энергии 8 ТэВ;

4. Разработан пакет программ для моделирования и реконструкции данных фотонного спектрометра PHOS эксперимента ALICE, а также методы идентификации фотонов и нейтральных мезонов при высоких энергиях;

5. Измерены инвариантные дифференциальные сечения образования π^0 и η мезонов в протон-протонных столкновениях при энергиях 0.9, 7 и 8 ТэВ. Сравнения измерений с вычислениями пертурбативной КХД в высших порядках теории возмущений с применением структурных функций протона и функций фрагментаций, полученных по данным экспериментов на предыдущих коллайдерах, показали, что КХД не описывает данные БАК без существенных изменений параметров модели.

6. Показано, что уточнение функций фрагментации с использованием глобального фитирования спектров, измеренных при всех доступных энергиях, включая энергии БАК, позволили улучшить описание экспериментальных данных ALICE. Сравнение измерений спектров нейтральных мезонов при энергиях БАК с расчетами модели PYTHIA8 с различными настройками показали, что наилучшее описание данных моделью PYTHIA8 достигается с применением настройки Monash-2013.

7. Измерены односпиновые асимметрии в образовании η мезона в столкновении поляризованных протонных и антипротонных пучков с импульсом 200 ГэВ/с неполяризованной протонной мишенью. Полученные результаты сравнены с измерениями, выполненными позже на коллайдере RHIC при более высоких энергиях, а также с различными теоретическими моделями. Сделаны выводы о сохранении спиновых эффектов с ростом энергии и о возможном вкладе трехглюонной корреляции в односпиновые асимметрии.

Н.Е.Тюрин: Кто хотел бы задать вопросы?

С.М.Трошин: Если спиновые эффекты должны сохраняться с ростом энергии, то означает ли, что они должны наблюдаться и на БАК?

Ю.В.Харлов: Программа с поляризованных пучками не была реализована на БАК, но была измерена поляризация Λ гиперона и J/ψ в инклюзивном образовании в pp столкновениях, что показало сохранение спиновых эффектов при очень высоких энергиях.

С.М.Трошин: Вы сказали, что по данным ALICE были получены новые функции фрагментации, которые лучше описывают образование нейтральных

мезонов при энергиях БАК. Проверялись ли эти функции фрагментации при более низких энергиях?

Ю.В.Харлов: Да, проверялись. Группа теоретиков, занимающаяся функциями фрагментации, проводит глобальное фитирование экспериментальных данных при всех энергиях столкновения, поэтому полученные функции фрагментации действуют и при энергиях RHIC, и БАК.

С.М.Трошин: Вы измерили сечения образования мезонов при очень больших поперечных импульсах. Какой степени по поперечному импульсу соответствуют эти спектры?

Ю.В.Харлов: Если профитировать спектры при высоких p_T , где уже действует степенной закон поведения спектров, то наши измерения могут быть описаны функцией $\sim 1/p_T^6$. Чем больше энергия столкновения, тем меньше степень этого степенного закона.

С.М.Трошин: Почему показатель степенного закона отличается от 4?

Ю.В.Харлов: Степень 4 ожидается в пертурбативной теории для элементарных процессов — например, образования прямых фотонов или струй. Спектры адронов описываются сверткой жестких КХД процессов с функциями фрагментации, что приводит к повышению спектров в области малых p_T и, следовательно, к более высокому значению показателя степенной функции по p_T .

С.С.Герштейн: Было предсказание, что для идентичных нейтральных мезонов должна наблюдаться корреляция в виде некоторой струи из ρ^0 мезонов, аналогично лазерному эффекту. Такие эффекты при малых энергиях наблюдались, но при высоких энергиях было бы тоже интересно их изучать.

Ю.В.Харлов: Такие измерения, называемые НВТ корреляциями или интерферометрией, проводятся и на PHENIX, и в ALICE. Для ρ^0 мезонов такие измерения сложны, но для идентичных заряженных пионов измерения были проведены в столкновениях тяжелых ионов. Сила корреляции мала, для ρ^0 мезонов она сравнима с систематическими погрешностями. Таким образом, такого усиления, которое предсказывается теоретиками, не наблюдается.

С.С.Герштейн: Знаете ли вы, что 60 лет назад кандидатская диссертация почти с таким же названием защищалась в Дубне и была квалифицирована как докторская диссертация? Это была диссертация Ю.Д.Прокошкина и тогда это было важным открытием.

Ю.В.Харлов: Я не знал об этом факте, но он подтверждает важность изучения образования нейтрального пиона как средства изучения сильных взаимодействий.

С.Р.Слабоспицкий: Вы говорили о разделении фотонов и ρ^0 при высоких энергиях с помощью формы ливня. Какова величина вероятности идентификации?

Ю.В.Харлов показывает слайд с соответствующим рисунком и объясняет, что при энергии 50 ГэВ вероятность истинной идентификации фотона достигает 80% при вероятности ложной идентификации фотона как π^0 на уровне 3%. С ростом энергии истинная идентификация падает, и при энергии выше 100 ГэВ уже трудно различить одиночные фотоны от π^0 .

С.Р.Слабоспицкий: Покажите слайд 36 со сравнением отношения спектров η/π^0 с m_T скейлингом. Как вычислялась кривая предсказаний m_T скейлинга?

Ю.В.Харлов: Спектр π^0 был измерен как функция от поперечного импульса p_T . Значение p_T переводилось в m_T , используя массу π^0 мезона. Предполагая универсальность формы спектра как функции m_T , вычислялся p_T для η мезона, что позволило получить предсказание m_T скейлинга в отношении η/π^0 как функции от p_T .

С.Р.Слабоспицкий: Говоря о вычислениях ПКХД, вы использовали структурные функции STEQ6M. Пробовали ли вы другие структурные функции?

Ю.В.Харлов: Да, вычисления ПКХД проводились и с другими структурными функциями. Оказалось, что выбор структурных функций практически не влияет на расчеты ПКХД, но выбор функций фрагментации влияет существенно.

Б.В.Полищук: Эксперимент ALICE показал, что спектры π^0 и заряженных пионов отличаются. Как это объяснить?

Ю.В.Харлов: Нельзя говорить, что ALICE наблюдает различие спектров нейтральных и заряженных пионов и видит нарушение изотопической инвариантности. В пределах систематических погрешностей эти спектры совпадают. Различие спектров нейтральных и заряженных пионов есть только при очень малых p_T , где вносят вклад распады η и ω мезонов, распады которых нарушают изотопическую инвариантность.

Н.Е.Тюрин: Переходим к заключению ведущей организации.

Ю.Г.Рябов зачитывает заключение организации, в которой была выполнена работа, принятое на заседании семинара отделения экспериментальной физики 13 декабря 2017 г. (есть в диссертационном деле).

Ведущая организация — Объединенный институт ядерных исследований — дала положительное заключение о диссертации Ю.В.Харлова. Зачитывает заключение ведущей организации (есть в диссертационном деле). Диссертационная работа Ю.В.Харлова была представлена на семинаре лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Н.Е.Тюрин: Переходим к выступлениям официальных оппонентов. Первым имеет слово Пантуев Владислав Сергеевич, ИЯИ РАН.

В.С.Пантуев подтвердил актуальность, важность исследований и достоверность результатов, представленных в диссертации, и дал положительную оценку диссертации. Были перечислены замечания к диссертации, которые есть в официальном отзыве оппонента. В заключении В.С.Пантуев сказал, что замечания не снижают ценности проведенной работы, а диссертация на соискание ученой степени доктора наук соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, а сам диссертант заслуживает присвоения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.23 — физика высоких энергий.

Ю.В.Харлов ответил на замечания оппонента В.С.Пантуева в виде отдельной презентации, содержащей вопросы оппонента и ответы на них:

- Глава 5 основана на одной из основных работ диссертации, опубликованной в журнале «Ядерная физика». Эта глава показывает разнообразие физических результатов эксперимента ALICE и место измерений, представленных в диссертации, в научной программе ALICE. Поэтому обзор экспериментальных результатов заслуживает отдельной главы диссертации.
- Замечание об отсутствии в диссертации формулы энергетического разрешения калориметра EMCAL справедливо. Её можно найти в статьях, на которые ссылается диссертация. В ответе оппоненту была показано энергетическое разрешение калориметра EMCAL и обосновано значение параметров формулы разрешения.
- Эффективность триггера минимального взаимодействия не описана подробно в диссертации, потому что этот триггер не является основным результатом, полученным диссертантом. Тем не менее, эта эффективность является важной характеристикой, от которой зависят результаты, на которых основана диссертация. В ответе дано объяснение эффективности триггера на минимальное взаимодействие, показано, от чего она зависит.
- Замечание В.С.Пантуева о статистических погрешностях эффективности триггера PHOS на фотоны больших энергий справедливо. В статье, на которой основана глава диссертации, описывающая триггер PHOS, погрешности были вычислены некорректно, предполагая некоррелированные погрешности. Ю.В.Харлов согласился, что правильным методом вычисления погрешностей триггера является вычисление погрешностей биномиального распределения.

- Даны пояснения к рисунку 3 диссертации, который недостаточно подробно объяснен в подписи к рисунку. Подробно этот рисунок объяснен в тексте диссертации и в статье, на которых основана глава диссертации, содержащая рис.3
- На замечание оппонента к рисунку 5.5 с результатами измерения множественности заряженных частиц в pp и Pb-Pb столкновениях при энергии 5.02 ТэВ дано подробное объяснение со ссылками на статьи, цитируемые в диссертации.
- На замечание об отсутствии рисунка с эффективностью и акцептансом детекторов в разделе диссертации, посвященном измерениям дифференциальных сечений образования нейтральных мезонов в pp столкновениях при энергиях 0.9 и 7 ТэВ, Ю.В.Харлов ответил, что такой рисунок не вошел в статью, на которой основана эта глава диссертации, из-за ограниченного объема статьи в журнале Phys.Lett.B. Эффективности и акцептансы есть во внутренних документах коллаборации ALICE, они показаны на слайде с ответами оппоненту. Также дана ссылка на аналогичные рисунки, присутствующие в диссертации в разделе, описывающем измерения сечений нейтральных мезонов в pp столкновениях при энергии 8 ТэВ.
- Отсутствие выходных данных на публикацию [115] объяснено техническим сбоем в компиляции текста диссертации в системе верстки текста LaTeX.
- В ответ на замечание оппонента на отсутствие рисунка со схемой эксперимента ALICE в автореферате диссертации было сказано, что из-за ограниченного объема автореферата, которые определяется максимум в 2 авторских листа, диссертант постарался уместить в автореферат как можно больше текста, в результате для рисунков осталось место только с физическими результатами.

В.С.Пантеев согласился с ответами Ю.В.Харлова на все его замечания.

Н.Е.Тюрин предоставляет слово официальному оппоненту Смирновой Лидии Николаевне, МГУ.

Л.Н.Смирнова обосновала важность и актуальность результатов, вошедших в диссертацию Ю.В.Харлова. Достоверность результатов, вошедших в диссертацию, не вызывает сомнений. Подчеркнута важность главы, описывающую прецизионные калориметры сэмпингового типа.

Подтвержден личный вклад Ю.В.Харлова в полученные результаты. Высказаны замечания к диссертации, которые есть в официальном отзыве оппонента. Диссертация удовлетворяет требованиям Положения о защите ученых степеней, предъявляемых к диссертациям на соискание степени доктора наук.

Ю.В.Харлов ответил на замечания оппонента Л.Н.Смирновой: инвариантные дифференциальные сечения, измеренные в эксперименте ALICE, действительно, являются функциями от двух кинематических переменных — поперечного импульса и быстроты. Диапазон быстрот всех детекторов ALICE, участвующих в измерениях, достаточно узок, поэтому сечения усредняются по скорости и приводятся как функция от одной переменной — поперечного импульса, измеренной в области $y=0$. На вопрос о зависимости параметров двух-компонентной функции, описывающей спектры нейтральных мезонов, от энергии столкновения, Ю.В.Харлов ответил, что это является задачей будущих исследований, которые готовятся сейчас в коллаборации ALICE.

Л.Н.Смирнова приняла ответы на свои замечания и согласилась с ними.

Н.Е.Тюрин просит зачитать отзыв официального оппонента Завертяева Михаила Васильевича, отсутствующего на защите.

Ю.Г.Рябов зачитывает отзыв М.В.Завертяева. Все замечания носят стилистический характер. Диссертация представляет собой законченное научное исследование, удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, а её автор, Харлов Ю.В., заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук.

Ю.В.Харлов отвечает на замечания оппонента М.В.Завертяева показом соответствующих слайдов:

- Название эксперимента E704 не фигурирует в названии диссертации, несмотря на то, что результатам посвящен отдельный раздел, объясняется тем, что Ю.В.Харлов подключился к эксперименту E704 уже после окончания набора данных этим экспериментом и участвовал только в анализе данных. Однако, результаты E704 тесно связаны с результатами ALICE, представленными в диссертации, поэтому E704 вошел в состав основных результатов, на которых основана диссертация.
- Описание детекторов ALICE, используемых в измерениях сечений образования нейтральных мезонов, более подробно описано в главе 6, посвященное этим измерениям, с целью предоставить согласованную информацию, необходимую для понимания методов измерения. Поэтому такое подробное описание детекторов выделено из главы

диссертации, кратко описывающих всю экспериментальную установку ALICE.

- На вопрос к качеству аппроксимации энергетического разрешения калориметра PHOS Ю.В.Харлов ответил, что аппроксимация, представленная в диссертации, нужна лишь качественного понимания зависимости разрешения от энергии, поэтому не приведено значение χ^2 . В тех измерениях, на которых основана данная диссертация, не используется аппроксимация энергетического разрешения явным образом.
- Ю.В.Харлов признал наличие опечаток и неточностей перевода в тексте диссертации.

Н.Е.Тюрин предлагает перейти к обсуждению диссертации.

С.С.Герштейн: Диссертация выполнена на высоком научном уровне. Вместе с тем отмечено, что в списке публикаций, на которых основана диссертация, нет работ на русском языке. Это не запрещено правилами ВАК, однако важно популяризировать работы, проведенные в зарубежных экспериментах, в российском научном сообществе. С.С.Герштейн рекомендует представлять чаще результаты зарубежных экспериментов в российских институтах и публиковать обзоры в российских журналах. Важно также расширять ссылки на работы, выполненными российскими учеными.

Н.Е.Тюрин предоставляет заключительное слово Ю.В.Харлову.

Ю.В.Харлов в ответ на выступление С.С.Герштейна отметил, что результаты экспериментов на Большом адронном коллайдере все же представляются в России, в частности — на ежегодных сессиях ядерного отделения РАН, на которых и сам Харлов неоднократно представлял обзоры результатов ALICE. Ю.В.Харлов также отметил, что работы, вошедшие в диссертацию, были выполнены в большом коллективе, поэтому диссертация была бы невозможна без участия подразделений Института физики высоких энергий и других российских институтов.

Н.Е.Тюрин предлагает выбрать счетную комиссию в составе: С.М.Трошин, В.Ф.Образцов, В.А.Качанов и приступить к голосованию.

Перерыв на голосование.

После голосования Н.Е.Тюрин предоставляет слово председателю счетной комиссии В.Ф.Образцову.

В.Ф.Образцов доложил результаты голосования:

Всего члена совета: 22, роздано бюллетеней: 19, осталось не розданных бюллетеней: 3, в урне оказалось бюллетеней: 19. Результаты голосования: за — 19, против — нет, недействительных бюллетеней — нет.

Н.Е.Тюрин: Протокол утвердили. Переходим к обсуждению проекта заключения. Замечаний к проекту заключения совета нет. Предлагается проголосовать за проект заключение. Единогласно проект заключения принят.

Юрий Витальевич, поздравляю вас с успешной защитой и желаю вам новых достижений!

Заседание диссертационного совета завершено.

Председатель
Диссертационного совета,
доктор физико-
математических наук,
профессор

Н.Е.Тюрин



Учёный секретарь
Диссертационного совета,
кандидат физико-
математических наук,

Ю.Г.Рябов

A handwritten signature in dark ink, consisting of several fluid, connected strokes, positioned to the right of the printed name.