

СТЕНОГРАММА

заседания № 17-04 диссертационного совета Д 720.001.02
на базе Международной межправительственной организации
Объединенный институт ядерных исследований
от 23 ноября 2017 г.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ диссертационного совета □ доктор физико-математических наук,
профессор Малахов Александр Иванович.

УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ диссертационного совета □ кандидат физико-математических
наук Арёфьев Валентин Александрович.

На заседании присутствовали члены диссертационного совета:

Специальность 01.04.01 □ Приборы и методы экспериментальной физики, физико-
математические науки:

Водопьянов Александр Сергеевич	- доктор физико-математических наук
Глаголев Виктор Викторович	- доктор физико-математических наук
Садовский Сергей Анатольевич	- доктор физико-математических наук
Никитин Владимир Алексеевич	- доктор физико-математических наук
Таратин Александр Михайлович	- доктор физико-математических наук
Тяпкин Игорь Алексеевич	- доктор физико-математических наук
Арёфьев Валентин Александрович	- кандидат физико-математических наук.

Специальность 01.04.01 □ Приборы и методы экспериментальной физики,
технические науки:

Басиладзе Сергей Геннадьевич	- доктор технических наук
Матюшин Валентин Тарасович	- доктор физико-математических наук
Романов Юрий Иванович	- доктор технических наук
Смирнов Виталий Анатольевич	- доктор технических наук
Тимошенко Геннадий Николаевич	- доктор физико-математических наук
Тютюнников Сергей Иванович	- доктор технических наук

Специальность 01.04.16 □ физика атомного ядра и элементарных частиц, физико-
математические науки:

Батюня Борис Владимирович	- доктор физико-математических наук
Капишин Михаил Николаевич	- доктор физико-математических наук
Кекелидзе Владимир Дмитриевич	- доктор физико-математических наук
Малахов Александр Иванович	- доктор физико-математических наук
Панебратцев Юрий Анатольевич	- доктор физико-математических наук
Ставинский Алексей Валентинович	- доктор физико-математических наук
Строковский Евгений Афанасьевич	- доктор физико-математических наук

Специальность 01.04.20 □ физика пучков заряженных частиц и ускорительная
техника, технические науки:

Агапов Николай Николаевич	- доктор технических наук
Зайцев Лев Николаевич	- доктор технических наук

Коваленко Александр Дмитриевич - доктор физико-математических наук
Ширков Григорий Дмитриевич - доктор физико-математических наук

Малахов А.И.: Уважаемые члены совета, открываем наше заседание. Кворум у нас имеется, присутствуют 24 члена совета (при минимуме 21). Докторов по специальности у нас тоже достаточно □ присутствуют 7 человек, а надо не менее 5-ти.

Переходим к первому вопросу повестки □ принятие к защите диссертации Кузнецова Олега Михайловича, представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 □ физика атомного ядра и элементарных частиц. Предоставляю слово ученому секретарю совета.

Арефьев В.А.: Уважаемые коллеги! В совет поступило заявление от Кузнецова Олега Михайловича: «Прошу принять к рассмотрению и защите мою диссертацию на тему «Исследование структуры адронов в процессах с образованием очарованных мезонов» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 □ физика атомного ядра и элементарных частиц. Защита работы проводится впервые. Согласен на включение моих персональных данных в аттестационное дело и их дальнейшую обработку. Подтверждаю, что все представляемые к защите данные и результаты являются подлинными и оригинальными и, кроме специально оговоренных случаев, получены мной лично». Текст диссертации опубликован на сайте ОИЯИ 21 сентября 2017 года. Документы представлены в совет 10 октября 2017 года. В числе документов заявление соискателя, заверенная копия диплома кандидата наук, распечатка страницы сайта ОИЯИ с информацией о размещении текста диссертации, отзыв научного консультанта профессора Савина И.А., положительное заключение Лаборатории физики высоких энергий ОИЯИ как организации, где была выполнена диссертация, личный листок со списком публикаций соискателя. Была назначена комиссия совета по предварительному рассмотрению диссертации и представленных документов в составе Капишин М.Н., Водопьянов А.С., Арефьев В.А. После рассмотрения представленных материалов комиссия дала следующее заключение.

1. Диссертация соответствует специальности 01.04.16 □ физика атомного ядра и элементарных частиц и отрасли «физико-математические науки», по которым диссертационный совет имеет право проведения защиты диссертаций.
2. Материал диссертации достаточно полно изложен в опубликованных соискателем работах в соответствии с рекомендациями ВАК.
3. Документы, представленные соискателем в совет, соответствуют требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней».

Комиссия рекомендует диссертационному совету:

1. Принять к защите диссертацию Кузнецова О.М., представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук.
2. Назначить в качестве ведущей организации по диссертации ФИАН, г.Москва.

3. Утвердить в качестве официальных оппонентов по диссертации доктора физико-математических наук Белостоцкого С.Л. (ПИЯФ, г. Гатчина), доктора физико-математических наук Бооса Э.Э. (НИИЯФ МГУ, г. Москва) и доктора физико-математических наук Васильева А.Н. (ИФВЭ, г.Протвино).

4. Разрешить Кузнецову О.М. опубликовать автореферат диссертации в издательском отделе ОИЯИ.

Малахов А.И.: Есть вопросы к ученому секретарю, членам комиссии, соискателю? Пожалуйста.

Батюня Б.В. Результаты каких экспериментов вошли в диссертацию?

Кузнецов О.М. Первая часть это результаты «ДЕЛФИ», вторая □ результаты «COMPASS».

Малахов А.И.: Есть еще вопросы? Нет. Тогда мы должны открытым голосованием принять рекомендации комиссии. Кто за то, чтобы принять диссертацию Кузнецова О.М. к защите? Против? Нет. Воздержался? Нет. Диссертация принимается к защите единогласно.

Переходим ко второму основному вопросу нашего заседания □ это защита Колесниковым Вадимом Ивановичем диссертации на тему «Изучение рождения $\pi^{+/-}$, $K^{+/-}$, протонов, антипротонов, легких ядер (d, t, ^3He), и антидейтронов в столкновениях $\text{Pb}+\text{Pb}$ при энергиях от 20 до 158 ГэВ на нуклон», представленной на соискание ученой степени доктора физ-мат наук по специальности по специальности 01.04.16 □ физика атомного ядра и элементарных частиц. Ведущая организация - Физический институт им. Лебедева. Официальных оппонентов, как и положено три. Это Ким Виктор Тимофеевич, доктор физико-математических наук из Петербургского института ядерной физики. Затем Долголенко Анатолий Григорьевич, доктор физико-математических наук из ИТЭФ; и Волков Алексей Анатольевич, доктор физико-математических наук, доцент из Института физики высоких энергий. Есть информация, которую я должен довести до вас □ это то, что один из оппонентов Ким Виктор Тимофеевич по уважительной причине отсутствует. Это допускается, если отзыв положительный, - а он положительный и мы можем рассматривать защиту с двумя присутствующими оппонентами. Теперь для того, чтобы познакомить вас с документами, которые имеются в деле предоставляю слово Валентину Александровичу Арефьеву.

Арефьев В.А.: В деле имеется заявление Колесникова Вадима Ивановича в совет. «Прошу принять к защите диссертацию «Изучение рождения $\pi^{+/-}$, $K^{+/-}$, протонов, антипротонов, легких ядер (d, t, ^3He), и антидейтронов в столкновениях $\text{Pb}+\text{Pb}$ при энергиях от 20 до 158 ГэВ на нуклон» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 □ «физика атомного ядра и элементарных частиц». Диссертация предоставляется для защиты впервые. Все выносимые на защиту результаты получены мною лично или при моем непосредственном участии. Разрешается использовать мои персональные данные для оформления диссертационного дела». Диссертация опубликована на сайте ОИЯИ 28.04.2017 г., документы были получены 15.05.2017 г., Комиссия Совета в составе

Водопьянов А.С., Панебратцев Ю.А. и Арефьев В.А. рассмотрела документы и рекомендовала принять диссертацию к защите. Диссертация была принята к защите нашим Советом 22.06.2017 г.

Далее личное дело. Колесникова Вадим Иванович, число месяц и год рождения □ 14 ноября 1964 года, пос. Крепенский, г. Антрацит, Ворошиловградской области, гражданство российское, образование высшее, закончил физико-технический факультет Харьковского государственного университета им. А.М. Горького в 1990 году по специальности «экспериментальная ядерная физика». Владеет английским свободно, имеет 110 публикаций в рецензируемых журналах. В 1982 году принят в Харьковский государственный университет, в 1983-1985 гг. служил в Вооруженных силах СССР, далее с 1985 по 1990 гг. продолжал обучение в ХГУ, который окончил в 1990 году. С 1990 года работает в Объединенном институте ядерных исследований, занимал должности стажер-исследователь, инженер, инженер-электроник 3-й категории, научный сотрудник, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник, в настоящее время является начальником сектора. Кандидатскую диссертацию защитил в диссертационном совете ОИЯИ в 2002 году. Название диссертации «Калибровка 900-канального времяпролетного детектора и измерение спектров адронов при взаимодействии ядер Pb+Pb при энергии 158 ГэВ на нуклон», имеется копия диплома. Прилагается список публикаций.

В деле имеются положительное заключение НТС Лаборатории физики высоких энергий, отзыв ведущей организации - Физического института им. Лебедева, отзывы официальных оппонентов □ докторов наук Волкова, Долголенко и Кима, дополнительный отзыв от споксмана коллаборации Петера Сейбота. Все документы соответствуют требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней.

Малахов А.И.: Есть ли вопросы по документам? Вопросов нет. Теперь предоставляем слово соискателю для представления основных положений и выводов диссертации.

Колесников В.И.: Уважаемые члены совета, коллеги. Тема диссертационной работы □ это исследование рождения заряженных пионов, каонов, протонов, антипротонов, легких ядер и антидейтронов в столкновениях ядер свинца при энергиях от 20 до 158 ГэВ на нуклон.

Актуальность темы исследования заключается в том, что именно в столкновениях релятивистских ядер образуется сильновзаимодействующая материя при экстремальных значениях плотности и температуры, позволяющая изучать в лабораторных условиях наиболее фундаментальные проблемы КХД □ конфайнмент, свойства фазовой диаграммы, характеристики фазовых переходов, динамику ядерных взаимодействия и коллективные эффекты, в частности, механизмы образования нуклонных кластеров. Многие результаты также важны для астрофизики и теории ранней Вселенной. Здесь показаны различные программы по тяжелым ионам в данной области энергии, которые выполняются в настоящее время или планируются к выполнению, поэтому данные по выходам частиц и импульсным распределениям чрезвычайно востребованы.

Основной целью исследований являлось экспериментальное изучение характеристик рождения, в частности, инвариантных распределений по поперечной массе, плотностей частиц по быстроте, полных множественностей и отношений для заряженных адронов, легких ядер и антиядер в зависимости от энергии столкновения и прицельного параметра.

Это экспериментальная работа и для достижения поставленных целей, были решены следующие задачи:

- создание и запуск в эксплуатацию детектора для идентификации частиц по времени пролета в эксперименте NA49;
- были реализованы методы коррекции времяпролетной информации с этого детектора, а также эффективной идентификации частиц с использованием комбинированной информации о времени пролета и ионизационных потерь;
- проведено экспериментальное и теоретическое исследование выходов частиц в зависимости от максимального количества параметров столкновения и кинематических переменных.

Экспериментальные данные были набраны на ускорителе SPS в столкновениях ядер свинца с энергиями в системе центра масс от 6 до 17 ГэВ на нуклон, или для энергий налетающего ядра от 20 до 158 ГэВ на нуклон. Это эксперимент с фиксированной мишенью. Задачей первой в мире программы энергетического сканирования с тяжелыми ионами на SPS было поиск сигнала о начале деконфайнмента (термин onset of deconfinement) и изучения характеристик вещества в форме кварк-глюонной плазмы. Только эксперимент NA49 участвовал в этой программе, набор данных осуществлялся в конце прошлого столетия и начале этого (1996-2003 гг.).

Основная экспериментальная стратегия была это изучение пробников, которые при наличии фазового перехода в ядерной материи обладают нетривиальной энергетической зависимостью. К примеру, отношение странности к энтропии (оцениваемое как отношение выходов положительно заряженных каонов к пионам), которое характеризуется монотонным ростом в фазе адронного газа и становится постоянным в статистически равновесной фазе КГП. Кроме этого интерес вызывало исследование рождения антиматерии — ожидается повышенный выход античастиц в столкновениях тяжелых ионов по сравнению с элементарными столкновениями. Предварительные экспериментальные данные на это указывали. Кроме того, для изучения термодинамических характеристик файерболла и изучения динамики необходимо исследование так называемых «bulk probes» т.е. максимального количества распределений адронов и легких ядер по фазовому пространству.

Для исследования реакций столкновения ядер детектор NA49 состоит из четырех время-проекционных камер. Две из них в магните для определения импульса, две других для трекинга и измерения ионизационных потерь. Задачей группы ЛФВЭ была создание одной из двух стенок времяпролетного детектора, расположенного в районе центральной быстроты. Задача была поставлена так, что необходимо было создать детектор площадью около двух квадратных метров, который на длине пролета порядка 14 метров обеспечивал бы разделение адронов до импульсов 10

ГэВ/с. Для этого временное разрешение должно быть лучше 85 пикосекунд. Здесь представлен общий вид в сборе системы, состоящей из 81 кассеты, это фото одного сцинтилляционного счетчика с фотоумножителем.

Времяпролетная система была запущена в эксплуатацию весьма компактной группой (здесь приведен состав группы) за очень короткий срок (менее года), поэтому работа была для всех. В качестве личного вклада это участие в сборке, наладке, тестировании, разработка программ для онлайн контроля, а также участие в наборе всех типов данных, анализируемых в диссертации.

Основным направлением деятельности и основной зоной ответственностью в первые годы было разработка методов коррекции времяпролетной информации с TOF. Все время я являлся ответственным за калибровку и реконструкцию с TOF детектора. Была предложена оригинальная методика, основанная на выделении пионов в каждом событии по комплементарной информации по ионизационным потерям, расчет теоретических времен пролета для пионов, и затем с этим набором частиц определение разного вида констант и коррекций, включая константу T_0 , коррекция на распространения время в сцинтилляторе, амплитудная зависимость, по-событийные флуктуации, - множество алгоритмов и коррекций. Здесь в качестве примера показаны коррекции на время распространения в сцинтилляторе и коррекция на амплитуду. По результатам всех коррекций было получено временное разрешение для всех счетчиков около 76 пикосекунд, что гораздо лучше, чем требовалось. В качестве личного вклада разработка и реализация метода калибровки времяпролетной информации с TOF детектора; получение калибровочных констант для TOF для всех существующих наборов данных NA49;

разработка методов и программ для TOF-детектора в реконструкции событий.

Все основные процедурные моменты изложены в моей кандидатской диссертации.

На следующем слайде проиллюстрированы методы идентификации частиц, анализируемых в диссертации. По комбинации времени пролета и ионизационных потерь в бинах по полному импульсу и поперечному импульсу определялись характеристики 2-х мерных распределений. Затем определялись области идентификации \square здесь показаны области для пионов, каонов и протонов с условием на примесь частиц другого сорта не более некоторой заданной величины. Здесь проиллюстрированы возможности идентификации для дейтронов и анти-дейтронов и идентификации по ионизационным потерям для 2-х зарядных ядер гелия-3. Комплементарным методом, использованным для проверки, был метод идентификации только по ионизационным потерям в большом аксептансе TRC. В качестве личного вклада здесь \square предложена и реализована процедура идентификации частиц с использованием комбинированной информации о

времени пролета с TOF и ионизационных потерь с время-проекционных камер NA49. Метод позволяет эффективно разделять адроны (пионы, каоны, (анти)протоны) с импульсами от 1 до 10 ГэВ/с и легкие ядра (d, t, ^3He) до 15 ГэВ/с.

Анализ состоит в определении дважды дифференциальных распределений частиц по скорости и поперечному импульсу или поперечной массе. В качестве иллюстрации

показан фазовое пространство для пионов, каонов дейтронов и гелия-3 при энергии пучка 30 ГэВ на нуклон. Несколько слов о методах оценки систематических погрешностей □ кроме стандартных вариаций критериев качества и диапазонов селекций систематика проверялась сравнением результатов по комплементарным методикам идентификации -здесь показаны спектры пионов в общем диапазоне по поперечному импульсу для обоих анализов и видно хорошее согласие. Здесь показаны выходы для гелия-3 при противоположных полярностях магнитного поля, при этом частицы измеряются в разных половинках детектора. и различным наборам данных. Детали анализа опубликованы в различных работах, которые включены в список работ по диссертации.

Здесь представлены наборы данных. Анализ проводился в центральных столкновениях при 5-ти энергиях столкновения от 20 до 158 ГэВ. Центральность определялась по энергосодержанию в калориметре под нулевым углом. При 2-х энергиях столкновения анализ проводился в так называемых MinBias событиях, деленных на 5-6 интервалов по величине энергосодержания.

Теперь переходим к результатам. Наиболее значимые и цитируемые коллаборационные результаты в которые я внес вклад - это изучение энергетической зависимости выходов пионов и каонов в столкновениях ядер свинца. При пяти энергиях исследовались центральные столкновения и при одной энергии изучалась зависимость от центральности. Здесь показан список основных результатов. Это получение инвариантных выходов, интегрированных по поперечной массе распределений по быстрой, параметров наклонов спектров и так далее. На следующих слайдах я проиллюстрирую основные результаты.

Здесь показаны распределения пионов и каонов по поперечной массе с TOF детектора при 20 и 30 ГэВ на нуклон. Распределения являются экспоненциальными, термальная функция использовалась для экстраполяции и анализа параметра наклона. На этом рисунке показаны интегрированные по поперечной массе спектры, наши данные сделаны при центральной быстрой. Несмотря на не очень большое количество точек измерения являются очень значимыми, так как они являлись проверочными для данных по другим методикам анализа вследствие лучшего качества идентификации частиц для комбинированного метода идентификации.

На этом слайде представлены хорошо известные результаты - это энергетическая зависимость отношения каонов к пионам, данные с TOF детектора показаны красным. Хорошо видна характерная немонотонность в отношении с максимумом при энергии столкновения 30 ГэВ. Представленное отношение не описывается моделями без фазового перехода и отличается от поведения в элементарных столкновениях. Рисунок слева показывает данные при центральной быстрой, а справа показано отношение всех рожденных в реакции странных кварков к пионам.

Здесь представлена энергетическая зависимость параметров наклонов спектров □ так называемой эффективной температуры, которая есть сумма хаотичного термального движения и коллективного поля скоростей в расширяющемся источнике. Видна характерная не-монотонность: сначала рост при энергиях AGS, потом плато при энергиях SPS, и потом опять рост. Это может служить указанием на образование

смешанной фазы в данной области энергий. Поведение для каонов обоих знаков не описывается микроскопическими моделями без фазовых переходов, но воспроизводится только моделью на основе гидродинамического подхода с фазовым переходом.

В качестве иллюстрации воспроизводимости результатов Надо сказать, что результаты по отношению каонов к пионам и спектрам вызвали огромный интерес в научном сообществе, так что ускорительный центр RHIC, в частности эксперимент STAR по аналогии с SPS провели измерения при энергиях ускорителя гораздо более низких, чем планировалось изначально. Здесь показано сравнение результатов NA49 и STAR и видно очень хорошее согласие по отношению каонов к пионам и по спектрам. Здесь показаны не параметр наклона, а средние значения поперечной массы для пионов, каонов и протонов. Видно, что воспроизводимость данных очень хорошая.

Тем не менее, для данной наблюдаемой я бы хотел обратить внимание на несколько альтернативных объяснений так называемому Hogn-эффекту. Большой интерес к этим данным инициировал большое количество теоретических изысканий. В частности, в рамках модели PHSD, которая реализует партонные степени свободы и частичное восстановление киральной симметрии через модификацию функции-фрагментации струн удается описать энергетическую зависимость отношений каонов и Лямбда-гиперонов к пионам. При этом за поведение в пике отношений отвечает восстановление киральной симметрии, а плато объясняется фазовым переходом. Другая попытка предпринята в рамках термальной статистической модели, которая предполагает некое предельное значение температуры для спектра масс резонансных состояний, неявно указывающее тем не менее на возможный фазовый переход. Здесь я бы хотел закончить следующими словами, что, хотя на данный момент не существует консенсуса об интерпретации характерной немонотонности в энергетической зависимости Ка-пи отношения и эффективного параметра наклона спектра как экспериментального свидетельства о фазовом переходе в состояние КГП (onset of deconfinement), корректность и актуальность самих результатов измерений не подвергается сомнению.

Следующим исследованием было изучение зависимости выходов пионов и каонов от центральности столкновения. Здесь показаны инвариантные спектры с фитами, отношения каонов различных знаков к пионам и средняя поперечная масса спектров (аналог параметра наклона) в бинах по центральности. Отношение странности к энтропии выходит на плато, что указывает на установление статистического равновесия для выходов частиц с возрастанием числа вторичных столкновений в системе. На это же, хотя и неявно, указывает хорошее описание данных моделью core-corona подразумевающей установление равновесия в центре файерболла. Рост среднего $\langle m_t \rangle$ объясняется возрастанием плотности энергии в системе с центральностью, а, следовательно, более высокой температурой и сильным коллективным расширением.

Следующие результаты, представленные в диссертации, касаются изучения рождения протонов и антипротонов в Pb+Pb столкновениях. Потери энергии протонами

определяют плотность энергии в файерболле, а выход антипротонов определяет пространственно-временное распределение барионной плотности в источнике. В представленных на этом слайде работах впервые получены систематические данные по выходам протонов и антипротонов в центральных Pb+Pb соударениях при 5 энергиях столкновения, изучена энергетическая зависимость интегрированных по поперечному импульсу выходов (анти)протонов, отношения антипротонов к протонам, получены данные по выходам (анти)протонов в нескольких бинах по центральности столкновения, а также формы спектров по поперечной массе. Было обнаружено экспериментально, что в отличие от мезонных распределений спектры тяжелых частиц отклоняются от экспоненциальности при малых поперечных вследствие коллективных потоков, так как вклад от коллективных потоков пропорционален массе. На это также указывает зависимость формы спектров от прицельного параметра b в периферийных столкновениях спектры экспоненциальные, а с ростом центральности увеличивается искажение. Здесь показана энергетическая зависимость отношений антибарионов к барионам, данные для отношения антипротонов к протонам \bar{p}/p это самые нижние точки. Наблюдается быстрый рост отношения антибарионов к барионам при энергиях SPS, а вот полная симметрия между материей и антиматерией достигается лишь при сверхвысоких энергиях

На этом слайде показаны еще результаты по анализу рождения антипротонов.

Слева зависимость от центральности для среднего значения поперечной массы для протонов и антипротонов в зависимости от центральности. Видно, что в пределах ошибок измерений формы спектров для протонов и антипротонов идентичны, что указывает на похожую динамику для протонов и антипротонов, а поглощение при данной энергии не ведет к модификации спектров при данной энергии столкновения. Аналогично для энергетической зависимости \bar{p}/p плато для средней поперечной массы, как и для мезонов, что, возможно указывает на образование смешанной фазы. Для нормированных на число нуклонов участников выходов наблюдается различное поведение: для протонов (рост в центральных соударениях вследствие увеличения стоппинга, а для антипротонов сначала спад из-за аннигиляции в плотной барионной материи, затем плато в более центральных столкновениях. Такое поведение некоторые теоретики объясняют, как регенерацию антипротонов вследствие обратной для аннигиляции реакции многомезонного слияния. Для отношения анти-Лямбда к антипротонам обнаружен рост с уменьшением энергии столкновения, который не воспроизводится микроскопическими каскадными моделями. В качестве возможного объяснения предлагается изменения сечения аннигиляции для анти-Лямбда в плотной барионной материи, то есть будет разница в сечениях поглощения около 20% для анти-Лямбда и антипротонов, то данное поведение можно объяснить.

Следующая часть результатов касается изучения рождения легких ядер (дейтронов, трития и гелия-3). Это на самом деле наиболее значимая часть диссертации. Эти исследования были нами начаты в конце прошлого века, а последняя работа датируется этим годом. Изучались выходы легких ядер в центральных столкновениях при пяти энергиях пучка, а также зависимость от центральности при максимальной

энергии 148 ГэВ. Были получены инвариантные спектры, быстрое распределения, множественности и отношения.

На следующем слайде представлены инвариантные спектры по поперечному импульсу для ядер гелия-3 при пяти энергиях столкновения от 20 до 158 ГэВ. Измерения проведены в нескольких интервалах по быстрой, так что спектры из симметричных относительно центральной быстрой бинов показаны один над другим. Причем хорошее согласие между собой таких спектров указывает на малую систематическую ошибку в измерениях. Здесь показаны инвариантные спектры для дейтронов в нескольких бинах по быстрой, и спектры для тритонов, которые интегрированы по всему фазовому пространству для тритонов.

На следующем слайде показаны быстрое спектры для гелия-3 и дейтронов при пяти энергиях столкновения с функциями параметризации для оценки полных выходов.

На этих рисунках представлена энергетическая зависимость множественностей дейтронов и гелия-3 (полные выходы спадают экспоненциально) по сравнению с предсказаниями термальной статистической модели. Для этого подхода были использованы значения параметров источника, а именно температуры, потенциалов и объема из данных по выходам адронов, чтобы избежать автокорреляций. Обнаружено хорошее согласие данных с модельными предсказаниями, что является очень нетривиальным результатом. Даже теоретики, которые делали предсказания, полагали, что описать выходы ядер с адронными параметрами невозможно. Тем не менее, наши данные показали, что это не так. Данный результат может служить указанием на близость моментов химического «фризаута» для адронов и ядер, а реализация такого сценария возможна через образование динамического равновесия между рожденными и диссоциированными нуклонными кластерами в расширяющемся при постоянной энтропии источнике.

На этом слайде представлены результаты анализа зависимости выходов ядер, то есть плотности на единицу быстрой для протонов, дейтронов и гелия-3, от массового числа A . Выход падает экспоненциально с массой, причем резкость спада возрастает с увеличением энергии. Распределения фитировались экспонентой с параметром фитирования называемым фактором подавления или «penalty factor» причем величина параметра p может быть выражена через комбинацию термодинамических параметров файербола. Близость рассчитанных по данной формуле факторов Больцмана и полученных из анализа данных факторов подавления, результаты сравнения представлены на данном рисунке, указывает на то, что в рамках термальных моделей выходы ядер хорошо описываются. Это в свою очередь может являться непрямым указанием на образование термодинамического равновесия в источнике, так что относительные выходы частиц, включая ядра, подчиняются простым закономерностям на основе термодинамики.

На данном слайде представлены результаты по изучению формы распределений легких ядер по поперечной массе. В частности, подробно исследована зависимость средней поперечной для гелия-3 от быстрой q_T при всех энергиях это Гауссово распределение, указывающее на то, что именно при центральной быстрой образуется наиболее плотная и горячая система. Причем величина этой эффективной

температуры даже для гелия-3 слабо зависит от энергии при SPS, возможно, очередное указание на смешанную фазу.

Теоретические расчеты предсказывают отклонение от линейной для массовой зависимости средней поперечной массы для нуклонных кластеров при отличной от постоянной радиальной плотности нуклонов в источнике. Однако наши данные для протонов, дейтронов и гелия-3 показывают, что при энергиях SPS, зависимость от массового числа является линейной, причем это позволило пойти дальше и, используя связь средней поперечной массы с температурой и средней скоростью радиального расширения, получить эти параметры файерболла именно из фитов. Здесь показаны полученные результаты для этих параметров зелеными символами при всех энергиях столкновения в сравнении с результатами комплементарного анализа (так называемых Blast Wave фиты) для адронов с эксперимента NA49 (синие) и STAR (красные). Довольно хорошее согласие разных экспериментов и методик позволило сделать пока осторожно немного провокационный вывод о возможной близости даже кинетических «фризаутов» адронов и ядер. На этом рисунке представлена хорошая иллюстрация наличия коллективных потоков, показывающая значение средней поперечной массы для протонов и дейтронов в зависимости от центральности. В периферийных столкновениях оба параметра близки, но разница возрастает с увеличением центральности, так как вклад от наличия коллективных потоков пропорционален массе частицы.

На следующем слайде представлены результаты сравнительного анализа выходов ядер и протонов в рамках модели коалесценции. В данном подходе предполагается, что ядра образуются при близости нуклонов в конфигурационном пространстве и малых относительных скоростях. При этом инвариантные распределения для ядер пропорциональны произведению нуклонных в соответствующих степенях с коэффициентом пропорциональности - параметром коалесценции B , зависящем от геометрических размеров источника и определяемой динамикой процесса, а именно координатно-импульсными корреляциями. Была изучена энергетическая зависимость, зависимость от поперечного импульса и центральности. Здесь показана исследованная при 5-ти энергиях столкновения зависимость параметра коалесценции для гелия-3. Рост параметра B_3 с поперечной массой указывает на наличие сильных радиальных потоков. Фитируя зависимость было получено значение параметра при нулевом поперечном импульсе, а здесь представлена энергетическая зависимость для параметров B_2 и B_3 по сравнению с результатами при более низких и более высоких энергиях. В рамках термальных моделей параметр коалесценции обратно пропорционален характерному размеру источника — радиусу коалесценции. Расчеты для этих параметров для дейтронов и гелия-3 показаны на этом рисунке в зависимости от энергии столкновения. Видно хорошее согласие для 2-х различных ядер, а сами размеры увеличиваются только на 15% с ростом энергии столкновения в несколько раз, что подтверждается результатами анализа по двухчастичным корреляциям.

Последние результаты, которые представлены в диссертации — это анализ рождения антидейтронов, который был проведен для 0-23% центральных столкновений ядер

свинца при максимальной энергии SPS. Были впервые получены инвариантные спектры антидейтронов в нескольких бинах по центральности, изучено отношение антидейтронов к дейтронам в зависимости от поперечного импульса, получены выходы антидейтронов в зависимости от быстроты и центральности столкновения, и впервые получены параметры коалесценции для антидейтронов в зависимости от поперечного импульса и центральности столкновения

На этом слайде представлены основные результаты для антидейтронов. Инвариантные спектры измерены в 3-х бинах по центральности в интервале поперечного импульса до 0.9 ГэВ/с. Отношение антидейтронов к дейтронам слабо зависит от поперечного импульса и близко к квадрату отношения антипротонов к протонам при тех же условиях. Распределения антидейтронов по скорости близко к Гауссову с максимумом при центральной скорости, дейтронное же распределение имеет минимум при центральной скорости. Форма данных распределений подобна возведенной в квадрат форме скоростных спектров для протонов и антипротонов.

Последние результаты, которые я хотел бы представить — это выходы антидейтронов и дейтронов в зависимости от центральности столкновения. Здесь показаны плотности антидейтронов и дейтронов на единицу скорости, нормированная на число нуклонов-участников столкновения. Результаты для антидейтронов получены в двух бинах по центральности. Так как в первом приближении число нуклонов-участников пропорционально энтропии системы и объему источника частиц, то независимость от центральности нормированного выхода дейтронов указывает на постоянство плотности энтропии в файерболле при всех прицельных параметрах столкновения и плотности антипротонов в центральных столкновениях, что для легких ядер согласуется с результатами для адронов. На данном рисунке представлены результаты для параметра коалесценции V_2 для антидейтронов и дейтронов в бинах по центральности (верхняя панель) и поперечного импульса (нижняя). Уменьшение параметра коалесценции в более центральных столкновениях может быть интерпретировано как увеличение средних межнуклонных расстояний в источнике возрастающего с центральностью размера. Причем, в пределах ошибок измерения нет разницы в результатах для ядер и антиядер, т.е. предполагается идентичность эффективных размеров источника для ядер и антиядер.

Далее я бы хотел перечислить основные результаты, которые выносятся на защиту. Это: участие в разработке и создании времяпролетного детектора TOF для эксперимента NA49, разработка и реализация метода калибровки времяпролетной информации с TOF детектора и получение всех калибровочных констант для наборов данных из диссертации, разработка процедуры идентификации частиц с использованием комбинированной информации о времени пролета с TOF и ионизационных потерь. Далее по экспериментальным данным: впервые получены экспериментальные данные по выходам заряженных пионов и каонов в центральных Pb+Pb соударениях при 5 энергиях столкновения от 20 до 158 ГэВ на нуклон; измерены инвариантные спектры при центральной скорости; изучена энергетическая зависимость для интегрированных по поперечному импульсу выходов частиц, для параметров наклонов спектров T и средней поперечной массы $\langle m_T \rangle - m$; впервые

подробно исследована зависимость выходов заряженных пионов и каонов от центральности столкновения в Pb+Pb соударениях при энергии столкновения 158 ГэВ на нуклон; впервые получены систематические данные по выходам протонов и антипротонов в центральных соударениях при 5 энергиях столкновения, а также в min-bias Pb+Pb реакциях при 40А и 158А ГэВ; получен большой объем новых экспериментальных данных по рождению легких ядер в центральных столкновениях ядер свинца в диапазоне энергий столкновения от 20 до 158 ГэВ на нуклон; впервые получена и проанализирована зависимость выходов дейтронов и гелия-3 от быстроты при 5-ти энергиях столкновения, а также полные выходы d и ^3He ; проведены расчеты по статистической модели для множественностей ядер и показано, что полные выходы легких ядер хорошо описываются данной моделью; впервые получено быстрое распределение параметров наклона спектров по поперечной массе для ^3He , на основе анализа параметров наклонов спектров для ядер различной массы получены оценки для температуры и средней скорости радиального расширения в источнике частиц; впервые получена массовая зависимость выходов нуклонных систем (протонов и легких ядер) в различных интервалах фазового пространства; получены новые экспериментальные данные по выходам анти-дейтронов в столкновениях Pb+Pb при энергии столкновения 158 ГэВ на нуклон; впервые изучены зависимость рождения анти-дейтронов от прицельного параметра столкновения для 0-23% центральных Pb+Pb реакций, а также зависимость от поперечного импульса для отношения анти-дейтронов к дейтронам; впервые получены данные по выходам анти-;дейтронов в зависимости от быстроты, сделаны оценки формы быстрого распределения и полного выхода для антидейтронов; впервые проведен сравнительный анализ выходов антидейтронов и антипротонов в зависимости от центральности столкновения и поперечного импульса в рамках модели коалесценции, получены значения параметров коалесценции для нескольких значений центральности.

Далее я бы хотел остановиться на новизне и практической значимости исследования.

Основные результаты диссертации важны для дальнейшего развития физики релятивистских ядерных столкновений и представляют интерес для развития теоретических методов и моделей. Получены новые экспериментальные данные по выходам заряженных пионов, каонов, протонов, антипротонов, легких ядер (d, t, и ^3He) и антидейтронов. Энергетическая зависимость выходов частиц представлена как эволюция инвариантных распределений по поперечной массе (поперечному импульсу) в нескольких интервалах по скорости. Почти все экспериментальные данные по энергетической зависимости выходов частиц получены впервые. Благодаря значительному охвату по фазовому пространству была получена подробная экспериментальная информация по быстрым плотностям частиц, а также по полной множественности для дейтронов и гелия-3. Широкий набор частиц и их кинематических характеристик позволил провести детальное изучение механизма рождения адронов и легких ядер в Pb+Pb столкновениях, а также характеристик коллективных эффектов в плотной ядерной материи. Практическая ценность полученных результатов заключается в том, что эти данные широко применяются при проектировании установок и планировании новых экспериментов в России,

например, проект НИКА в ОИЯИ, и за рубежом — это эксперимент СВМ в Германии. Многие результаты по методике эксперимента, по обработке и анализу данных, предложенные и реализованные автором, являлись на тот момент пионерскими, сейчас являются хорошо известными и представляются на данный момент как эффективные способы анализа столкновений с большой множественностью частиц, которые могут быть применены во вновь планируемых экспериментах.

По поводу апробации работы — основные результаты представлялись на научных семинарах в Лаборатории физики высоких энергий, на научных семинарах международных научных центров в Германии, Швейцарии, Франции, а также представлялись на международных конференциях с 2003 года по 2016 год. Список конференций здесь показан, на конференциях «Кварковая Материя» результаты от группы TOF по выходам мезонов и легких ядер представлялись регулярно на протяжении многих лет.

По материалам диссертации опубликованы следующие работы в изданиях, рекомендованных ВАК для докторских диссертаций. Список их здесь приведен, общее количество публикаций — 15.

Я закончил свое выступление, спасибо за внимание.

Малахов А.И. Спасибо, теперь, пожалуйста, вопросы

Батюня Б.В. У меня вопрос по детектору TOF. Как я понял вы не пользовались для определения T_0 специальным детектором, а определяли его именно вычислением?

Колесников В.И.: У нас не было специального детектора для T_0 . Оно вычислялось по разнице измеренного и рассчитанного времени для пионов.

Батюня Б.В. Я знаю, что такой метод достаточно точный. Значит, специального детектора у вас не было?

Колесников В.И.: Нет, не было.

Батюня Б.В. У меня еще вопрос. Примесь, которую вы определяли для разных частиц. Для этого вы использовали моделирование, или экспериментальные данные, то есть зависимость сигнала для разных типов частиц, или и то и другое?

Колесников В.И.: Смотря что, вы подразумеваете под словом примесь. Если это неправильно идентифицированные частицы, то в анализе мы использовали разбиение на интервалы по импульсу таким образом, чтобы распределение по обеим осям, т.е. квадрата массы и ионизационных потерь было бы максимально близким к Гауссову. Тогда примесь частиц другого сорта определялась из функции-параметризации двумерных распределений в бине. То есть мы использовали данные. А содержание в идентифицированных частицах примеси от распадов других частиц, к примеру, в пионах и протонах от распадов Лямбда-гиперонов. Такая примесь определялась по моделированию и из данных также.

Батюня Б.В. Понятно. И еще вопрос по физике. Я помню эту дискуссию по поводу нашумевшего отношения положительных каонов к пионам, в отличии от ка-минус к пи-минус, То есть ли там фазовый переход или нет. Ну вроде статистическая модель, которую предложили Андроник, Браун-Мунцингер и Стахел достаточно хорошо

описывают это поведение, и почти дотягиваются до максимума. Вроде получается, что не требуется фазового перехода здесь верно?

Колесников В.И.: Вопрос понятен. Там есть специфика в этой модели. Для того, чтобы попытаться описать данное отношение авторы использовали все известные мезонные и барионные резонансы. Может лучше сначала опять показать этот слайд. Вот он. Итак, для всех существующих состояний они получили кривую, показанную здесь сплошной линией. Тем не менее, чтобы получить еще более лучшие результаты авторы добавили в этот коктейль еще больше частиц на том основании, что согласно теории Нагедорна плотность резонансов с ростом массы возрастает до некоего предельного значения температуры источника. То есть хорошее описание данных получено с использованием несуществующих в природе состояний. И даже более этого, на этом слайде представлен перевод заключения авторов этой статьи, где сказано, что предсказания основаны на концепции предельной температуры для спектра масс адронных резонансов неявно подразумевающих фазовый переход в ядерной материи. То есть, авторы начали с того, что попытались объяснить эффект без фазового перехода, а в конце пришли к тому, что есть неявное указание на переход. В заключении я бы хотел еще повторить, что на данный момент нет консенсуса является ли отношение указанием на начало фазового перехода или нет.

Садовский С.А. Вы представляли данные по легким ядрам очень хорошие. А почему вы ни слова не сказали о легких гиперядрах?

Колесников В.И.: Я не сказал ни слова о них потому что я не занимался анализом гиперядер, и эксперимент NA49 не имеет результатов по гиперядрам. При этой области энергий данные по выходам гиперядер есть только с эксперимента STAR. В нашем эксперименте, когда мы объясняли для чего мы хотим изучать рождение гелия-3, кроме интереса к рождению гелия-3, было то, что это первый шаг к реконструкции гипер-тритонов по инвариантной массе гелия-3 и пиона. Но по ряду причин эта идея не была реализована, поэтому данные по рождению гиперядер с эксперимента NA49 отсутствуют.

Капишин М.Н. В ваших результатах диссертации вы пишете, что реализован оригинальный способ идентификации частиц по комбинированной информации по времени пролета и ионизационным потерям. Но это достаточно хорошо известный метод в настоящее время, не так ли?

Колесников В.И.: Да согласен с вами. Мы начали развивать и использовать этот метод в 1994-95 годах. На тот момент метод был оригинальным. В настоящее время он хорошо известен и широко применяется в других экспериментах, таких как ALICE и STAR.

Ставинский А.В. Когда вы говорите о размере области генерации для ядер и коалесценции сейчас это является почти общепринятым, что в столкновениях ядер при больших энергиях вследствие коллективных эффектов характерным размером для корреляционных наблюдаемых и для коалесценции тоже является не размер системы, а величина радиуса однородности. Мой вопрос заключается в следующем, вы имеете в виду то же самое?

Колесников В.И.: Да то же самое. Если внимательно посмотреть, - начальный размер ядра около 6 ферми радиус, потом еще расширение фактор 2-3 увеличение размеров. А мы получаем размер около 5-6 ферми, то есть мы измеряем размер области гомогенности или однородности.

Теряев О.В. Мой вопрос в продолжении вопроса Капишина. Вы сказали, что разработан метод идентификации, который был оригинальным в 1994 году, а сейчас хорошо известен. А есть какие-то оригинальные статьи по этой методике, они цитируются?

Колесников В.И.: К сожалению, таких публикаций нет. Описание метода включено в статьи по детектору и анализу адронов, которые включены в диссертацию.

Теряев О.В. Ну в общем это является преимуществом, что метод, который являлся оригинальным, сейчас хорошо известен и широко применяется. Теперь вопрос по физике. В пунктах 5 и 6 вы отмечаете массовую зависимость выходов легких ядер и поддерживаете статистическую модель образования ядер. Далее в пункте 7 вы представляете результаты в рамках модели коалесценции. Значит ли это, что вы поддерживаете эту модель?

Колесников В.И.: На самом деле наши взгляды на механизмы образования ядер с течением времени и с новыми данными эволюционировали. Нас даже в коллаборации прямо спрашивали, вот вы вначале говорили о коалесцентном подходе, теперь работаете в рамках статистического подхода. Означает ли это, что этот подход более правильный. Мне вообще кажется, что если два разных подхода описывают одно и то же одинаково успешно, то должен существовать некий более общий подход, объединяющий эти два.

Малахов А.И. Еще пожалуйста вопросы. Если нет вопросов, то переходим к следующему этапу. Валентин Александрович нас познакомит с отзывами НТС лаборатории, ведущей организации и если есть с другими поступившими документами.

Арефьев В.А. Зачитывает заключение Научно-технического совета Лаборатории физики высоких энергий (ЛФВЭ) Объединенного института ядерных исследований (заключение прилагается).

Панебратцев Ю.А. Я хочу обратить ваше внимание, что в заключении НТС написано о вкладе в развитие физики столкновения тяжелых ионов, а в заключении нашего совета написано о вкладе в Стандартную Модель.

Малахов А.И. Спасибо, давайте обсудим содержание нашего заключения, когда к нему перейдем в конце заседания. Теперь у нас отзыв ведущей организации.

Арефьев В.А. Зачитывает отзыв ведущей организации - Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), г. Москва на диссертационную работу Колесникова Вадима Ивановича (отзыв прилагается).

Малахов А.И. Спасибо. Там были высказаны замечания в отзыве, что-то сказать хотите?

Колесников В.И.: Да, действительно, в тексте диссертации и автореферата имеется некоторое количество опечаток и описок. Данное замечание я признаю.

Малахов А.И. Спасибо. Еще какие документы поступили в совет?

Арефьев В.А. В Совет на имя председателя совета А.И. Малахова поступило письмо, подтверждающее вклад Вадима Колесникова в эксперимент NA49 и коллаборацию. Я его зачитаю.

Уважаемый профессор Малахов! Доктор Колесников внес значительный вклад в детектор, набор данных и физический анализ в эксперименте NA49. В частности, он принимал участие в создании сцинтилляционной стенки TOF-L для измерения времени пролета, а также был ответственный за его функционирование и калибровку. Кроме этого, он разработал программные средства для реконструкции времени пролета и идентификации частиц, критически важные для изучения рождения пионов, каонов, протонов и легких ядер, а также внес значительный вклад в получение и публикацию результатов по рождению этих частиц. Вадим практически единолично провел анализ и подготовил публикации по результатам рождения ядер d , ${}^3\text{He}$ и t , которые являются уникальными в области энергий SPS. По моему мнению Вадим является креативным ученым, работающим с исключительной тщательностью при получении и публикации прекрасных физических результатов. Подписано, Питер Сейбот, споксмен коллаборации NA49.

Малахов А.И. Спасибо. То есть споксмен коллаборации подтверждает вклад Вадима Ивановича в результаты.

Теперь мы переходим к официальным оппонентам. Вначале мы рассматриваем отзыв отсутствующего оппонента, это допускается, так как отзыв положительный. Оппонент Ким Виктор Тимофеевич из Петербургского института ядерной физики им. Константинова Национального исследовательского центра Курчатовский институт, заместитель руководителя отделения общей физики по научной работе.

Никитин В.А. А можно читать отзыв не полностью

Арефьев В.А. Положено зачитывать отзыв полностью для отсутствующих оппонентов. Но я могу предложить не зачитывать часть, касающуюся содержания диссертации.

Никитин В.А. Ну конечно, ведь слушали уже.

Малахов А.И. Ну, если нет возражений, пожалуйста.

Арефьев В.А. Отзыв официального оппонента на диссертацию Колесникова Вадима Ивановича «Изучение рождения $\pi^{+/-}$, $K^{+/-}$, протонов, антипротонов, легких ядер (d , t , ${}^3\text{He}$) и антидейтронов в столкновениях РЬ+РЬ при энергиях от 20 до 158 ГэВ на нуклон», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 □ «Физика атомного ядра и элементарных частиц».

За свою уже почти полувековую историю релятивистская ядерная физика, зародившаяся в ЛВЭ ОРШИ (Дубна) и Лоуренцевской Лаборатории (Беркли), претерпевает очередной этап бурного развития. Получаемые данные с ускорителя SPS (CERN) и коллайдеров RHIC (БИ) и LHC (CERN) говорят о том, что в центральных соударениях тяжелых ядер наблюдаются закономерности, характерные для фазового перехода в новое состояние кварк-глюонной материи. Одним из самых важных результатов, полученных в этих исследованиях экспериментом NA49 на SPS (CERN), является тот факт, что энергия в системе центра масс нуклонов сталкивающихся ядер свинца, когда появляются признаки фазового перехода, равна приблизительно 7-8 ГэВ. Поэтому в дополнение к исследованиям при высоких энергиях на коллайдерах RHIC (BNL) и LHC (CERN), когда достигаются высокие температуры, но при этом плотность кварк-глюонной материи мала вследствие асимптотической свободы, планируется изучение центральных соударений тяжелых ядер при более низких энергиях, но при большой барионной плотности, на строящихся ускорителях НИКА (Дубна) и FAIR (Дармштадт). Поэтому актуальность темы исследования диссертации, выполненной в рамках исследований эксперимента NA49 на SPS (CERN), не вызывает никаких сомнений.

Основной целью представленной диссертации являлось экспериментальное исследование на установке NA49 в CERN характеристик образования заряженных пионов, каонов, протонов, антипротонов, а также легких ядер: дейтронов, антидейтронов, тритонов и гелия-3 в столкновениях ядер свинца при энергиях налетающего ядра от 20 ГэВ до 158 ГэВ на нуклон. В зависимости от энергии столкновений и их центральности изучались инвариантные распределения образованных частиц по поперечной массе, распределения плотности частиц по быстроте, множественности частиц и их отношения. Для достижения поставленных целей были решены следующие основные задачи: 1) Создание и запуск в эксплуатацию сцинтилляционного детектора для идентификации частиц по времени пролета в эксперименте NA49; 2) Разработка и практическое применение новых методов коррекции времяпролетной информации в событиях с большой множественностью частиц, а также эффективных алгоритмов идентификации адронов и легких (анти)ядер с использованием комбинированной информации о времени пролета и об ионизационных потерях в интервале импульсов от 1 до 15 ГэВ/с; 3) Разработка алгоритмов для проведения моделирования отклика и эффективности детектора, а также для корректного учета вклада от слабых распадов гиперонов в выходах (анти)протонов и заряженных пионов; 4) Экспериментальное и теоретическое изучение инвариантных распределений частиц по поперечной массе, плотностей частиц по быстроте, множественностей частиц и их отношений; 5) Изучение энергетической зависимости отношения выходов заряженных каонов к пионам, антипротонов к протонам, антилямбда к антипротонам и трития к гелию-3; 6) Экспериментальное исследование зависимости от центральности столкновения выходов адронов и ядер антидейтерия.

Дальше в отзыве описывается содержание диссертации и приводятся основные положения, выносимые на защиту, что мы уже видели.

Методологической основой исследований, представленных в диссертации, является совокупность специальных методов по экспериментальному и теоретическому исследованию многочастичных адронных состояний, образованных в столкновениях тяжелых ядер. К основным экспериментальным методам относятся используемые методики регистрации заряженных частиц в газовых и сцинтилляционных детекторах, а также разработанный автором оригинальный способ идентификации частиц по комбинированным ионизационным потерям и времени пролета, который сыграл решающую роль для получения представленных в диссертации результатов. В анализе экспериментальных данных широко применялись методы из смежных областей физики - термодинамики и релятивистской гидродинамики, а также методы численного моделирования физических процессов при прохождении частиц через вещество. Основу данной диссертации составляют результаты завершенного цикла исследований автора, который занял период более двадцати лет. Основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные работы. Из работ, выполненных в соавторстве, в диссертацию включены результаты, полученные либо лично автором, либо при его определяющем участии в постановке задач, разработке методов их решения, и анализа экспериментальных данных.

Диссертация Колесникова Вадима Ивановича является законченным научным трудом и выполнена на высоком научном уровне. Содержащиеся в ней многие новые результаты получены впервые и имеют важную научную ценность для дальнейшего развития релятивистской ядерной физики с целью изучения новых состояний кварк-глюонной материи. Практическая ценность полученных результатов состоит в том, что они широко применяются при анализе современных данных, при планировании новых исследований и экспериментальных установок, например, на ускорителях НИКА (ОИЯИ) и FAIR (GSI).

Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждена независимыми экспериментальными измерениями, альтернативными методами где это было возможно, компьютерным моделированием и согласием с теоретическими ожиданиями и вычислениями.

Результаты диссертации могут быть использованы во всех зарубежных и российских центрах с пучками релятивистских ядер: ЦЕРН, BNL, GSI, ОИЯИ, ИФВЭ НИЦ КИ, а также в НИЦ КИ, НИЦ КИ - ПИЯФ, НИЦ КИ ИТЭФ, ФИАН, ИЯИ РАН, ИЯФ СОРАН, НИИЯФ МГУ, СПбГУ и др.

Результаты, полученные в диссертации с достаточной полнотой опубликованы в ведущих реферируемых научных журналах, хорошо известны в научном обществе, имеют высокую цитируемость, и неоднократно апробировались на международных научных конференциях, совещаниях и семинарах. Содержание диссертации соответствует опубликованным работам. Автореферат в целом верно отражает содержание диссертации.

Диссертация написана довольно кратком, но ясном стиле. Небольшими недостатками диссертации можно считать местами фрагментарное изложение, частое употребление научного жаргона, некритичное использование как переведенных так и

непереведенных терминов (penalty factor вместо фактор подавления midrapidity вместо центральная быстрота термальный вместо термодинамический и т. п.), неудачное обозначение для поперечной массы m_t вместо m_T , и слишком краткое обсуждение методологии и методики исследований работы в автореферате. Несмотря на довольно тщательное оформление, все же имеются опечатки: например, процедура вместо процедуры на стр. 16, часто используется термин плато в неправильном английском написании Plato на стр. 126, 176, 177 (в автореферате на стр. 38,39), означающем знаменитого древнегреческого философа, вместо plateau и т. п.). Но все эти отмеченные выше недостатки ни в какой мере, конечно, не меняют общей высокой положительной оценки диссертации.

Диссертационная работа Колесникова Вадима Ивановича «Изучение рождения $7\bar{\Lambda}$ протонов, антипротонов, легких ядер (d, t, z, He) и антидейтронов в столкновениях $Pb+Pb$ при энергиях от 20 до 158 ГэВ на нуклон», выполнена на высоком научном уровне, соответствует специальности 01.04.16 «Физика атомного ядра и элементарных частиц» и отвечает всем требованиям положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор Колесников Вадим Иванович безусловно заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук.

Малахов А.И. Спасибо. В отзыве есть ряд замечаний. Имеете право на них ответить.

Колесников В.И.: Да, спасибо. Как я уже сказал по поводу замечаний из предыдущего отзываю. Я согласен с тем, что качество оформление текста диссертации и автореферата далеко от идеального. По поводу замечания о том, что недостаточно внимания уделено методологии исследований это связано с тем, что я постарался в ограниченный объем включить слишком много результатов по анализу данных, что, наверное, повлияло на отличие от близкой к идеальной структуре автореферата.

Малахов А.И. Спасибо. Далее слово официальному оппоненту Долголенко Анатолию Григорьевичу, доктору физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт теоретической и экспериментальной физики имени А.И.Алиханова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», начальник лаборатории радиационных процессов.

Долголенко А.Г. В этой аудитории говорить об актуальности исследований ядро-ядерных столкновений было бы странно, так как лаборатория в основном этим занимается. В моем отзыве я отметил два основных вопроса на которые искались ответ в этой работе и будут этим заниматься еще. Это при каких условиях происходит фазовый переход в состояние кварк-глюонной плазмы. И можно ли обнаружить при каких-либо условиях критическую точку в столкновениях ядер. Теория о фазовом переходе говорит однозначно, но в каком месте фазовой диаграмме это происходит остается неясным. Поэтому столкновения ядер являются единственны способом в контролируемых лабораторных условиях ответить на этот вопрос. В этом состоит актуальность и важность работы. Сама диссертационная работа сделана хорошо, и главное, что было отмечено в письме споксмена коллаборации это то, что работа по созданию детектора по времени пролета и

организации ее эффективной работы была критически важной для качественного разделения частиц. Хотя эксперимент создавался еще в прошлом веке, я не припомню других экспериментов при высоких энергиях с таким хорошим разделением по сортам частиц. Это принесло свои плоды в смысле результатов о которых в диссертации много сказано, так много, что я выписал их в рецензии и у меня получилось 10 пунктов. На самом деле их реально больше и перед каждым стоит слово «впервые». Во многом это определяется возможностями по разделению частиц. Наиболее интересным результатом считается данные по отношениям положительных каонов к пионам, которое имеет экзотическую форму. На настоящий момент говорить о том, что в этом месте обнаружен фазовый переход пока преждевременно, так как существуют и другие альтернативные объяснения. Но что важно, то, что с экспериментальной точки зрения это наблюдение подтверждено в независимых измерениях и подтверждено абсолютно достоверно. Так же ряд других измерений подтвержден последующими опытами. Кроме широко обсуждаемого отношения каонов к пионам, я бы хотел отметить результат по изучению выходов антипротонов, которые очень сильно растут с увеличением энергии, и важно отметить, что в диссертации кроме большого количества картинок с экспериментальными распределениями приводится очень квалифицированное обсуждение полученных результатов. Это большой плюс диссертанту и диссертации. Ну и возвращаясь к антипротонам \square рост их выхода с увеличением энергии по-видимому указывает на уменьшение барионной плотности с увеличением энергии. Далее я не буду отмечать и все другие важные моменты, так как они отмечались в докладе Вадима Ивановича и другими выступающими. Следует, тем не менее, сказать и о своих замечаниях. Первое замечание о том, что диссертантом вместе с сотрудниками ЛФВЭ была создана только одна времяпролетная стенка, а была еще и другая, и маленькие детекторы, которые стояли поперек. Очевидно, что идентификация в эксперименте основывалась на всех этих детекторах, однако об этом не сказано ни слова, а это следовало бы сделать. Второй момент, к которому есть замечание, это то, что в диссертации не обсуждается (хотя в оригинальных работах, на которые ссылается диссертант это есть) разница в количестве примесей в идентифицированных частицах противоположного знака, в частности, в каонах. Для отрицательных частиц более-менее понятно \square фон там маленький. А вот для положительных каонов фон от протонов значительный. И вот это место в диссертации отдельно не обсуждается, а его стоило бы обсудить именно в диссертации, потому что в статье это есть. Есть еще ряд технических замечаний. Так, например, в одном месте написано, что коэффициент потерь составляет 99% - видимо описка. Так же есть некоторое количество опечаток, которое для такого большого объема диссертации вполне могут быть. Хотя в автореферате, который уже меньшего объема (только 30 страниц) примерно половина страницы повторены 2 раза. Ну эти все замечания технического характера, и теперь я просто зачту констатирующую часть. Результаты проведенных автором диссертации исследований представляют несомненную научную ценность и высокую научную значимость. Диссертационная работа В.И. Колесникова выполнена на высоком научном уровне, является цельной научной работой и содержит большое количество полученной впервые ценной

экспериментальной информации, имеющей фундаментально важное значение для развития теории сильных взаимодействий, проверки моделей ядро-ядерных столкновений и планировании новых экспериментов. Здесь я бы хотел отметить, что это очень важно для Лаборатории, что человек работал в таком хорошем эксперименте и получил такой колоссальный опыт. Основные результаты диссертации своевременно и полно опубликованы в ведущих научных журналах и неоднократно докладывались на российских и международных научных конференциях. Оформление рукописи соответствует принятым правилам и стандартам. Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Диссертация В.И. Колесникова отвечает всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Колесников Вадим Иванович, за результаты изучения свойств адронов и сильновзаимодействующей материи в широкой области энергий, которые могут быть квалифицированы как крупное научное достижение, несомненно заслуживает присуждения ему степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 □ физика атомного ядра и элементарных частиц. Результаты диссертации обсуждались и были одобрены на научном семинаре ИТЭФ, отзыв подписан и заверен. Я закончил, спасибо за внимание.

Малахов А.И. Спасибо. Ну что, Вадим Иванович, отвечайте на замечания.

Колесников В.И.: Прежде всего, я бы хотел поблагодарить Анатолия Григорьевича за такое тщательное изучение и разбор содержания диссертации и автореферата. Я признаю ошибку □ в тексте автореферата закралась ошибка и несколько строк там дублированы. Что касается другой времяпролетной стенки, действительно, стоило бы ее описать в тексте. Она была сделана нашими коллегами из Марбургского университета. По характеристикам она немного лучше, в терминах временного разрешения это порядка 60 пикосекунд, по разделению частиц это дает прибавку 10%, то есть еще плюс 1 ГэВ/с. Некоторая часть данных была анализирована с этой стенки, но так как методика идентификации идентичны, то большой разницы в результатах нет. По поводу примесей в частицах разного знака □ здесь я согласен с Анатолием Григорьевичем. Так как выходы протонов гораздо выше, чем у антипротонов, то эффективности и примеси в каонах разных знаков различны. Мы делали оценки для систематической ошибки. Это разница в 1-2% на уровне полной ошибки порядка 4-6%. Согласен, что стоило бы указать это в диссертации.

Долголенко А.Г. Хотел бы еще добавить, что Вадим Иванович по нашей просьбе проводил у нас в ИТЭФ семинар по материалам диссертации, и она была с большим интересом воспринята. Это подарок-напоминание □ это бланк уведомления о семинаре в ИТЭФ. Спасибо.

Малахов А.И. Спасибо. У нас еще один официальный оппонент присутствует. Это Волков Алексей Анатольевич, доктор физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», ведущий научный сотрудник.

Волков А.А. Я попытаюсь очень кратко и отметить только те моменты, которые не были освещены. Первое это то, что группе физиков из ОИЯИ очень повезло участвовать в таком прекрасном эксперименте NA49 на ускорителе SPS в ЦЕРНе. Чем этот эксперимент интересен? Прежде всего тем, что впервые была предложена программа измерений при изменении энергии налетающего пучка. Второе, это то, что был создан широкоапертурный компактный детектор, состоящий из многих систем и с уникальными характеристиками. Особенно хотел бы отметить, что физиков ОИЯИ создала прекрасный времяпролетный детектор с уникальными параметрами. В чем состоит уникальность? Все знают, что тогда время пролета мерялось детекторами с малым числом каналов. Создать детектор с числом каналов около тысячи — это было, действительно, большое достижение. Как это достигалось, здесь не говорилось. Это и подбор фотодетекторов, разработка специальных делителей напряжения, использование прецизионной электроники, это онлайн контроль и различные методы коррекций, — все это и позволило создать детектор с такими уникальными характеристиками. Теперь по данным. Я не буду говорить об отношении каонов к пионам, об этом много говорилось. Меня очень порадовало, что получен большой объем данных по выходам легких ядер. Это уникальные данные, причем в диссертации хорошо описаны не только сами данные, но и модели, с которыми сравнивались эти данные. Замечательная работа. Хочется также отметить тщательную работу по определению систематических погрешностей в эксперименте. Отмечаю также большую работу, которую провел автор по созданию программного обеспечения не только для обработки, но и для моделирования различных процессов. Ну и в конце обязательная часть. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Диссертация В.И. Колесникова отвечает всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 — физика атомного ядра и элементарных частиц.

Малахов А.И. Спасибо. Есть ли у вас замечания к работе?

Волков А.А. Недостатки работы уже все перечислены. Мои замечания в основном жаргона научного касаются, его можно было избежать.

Малахов А.И. Спасибо. Замечаний нет и Вадиму Ивановичу не на что отвечать. Сейчас объявляется общая дискуссия, и все желающие могут выступить. Кто хочет сказать? Пока вы думаете, я хотел бы сказать несколько слов. Результаты диссертации относятся и к анализу данных и к детектору, в оба направления Вадим Иванович внес важный вклад. Говоря о разнице в параметрах разных стенок, он сказал, что одна чуть лучше. Но он скромно умолчал, о том, что мы создавали нашу стенку в 90-е годы, когда в стране была разруха, из отечественных компонентов и сцинтилляторов и фотоумножителей. Более того, своим заказом на ФЭУ мы спасли Московский электроламповый завод. Более того сами фотоумножители для эксперимента были созданы как гибридные. Была проделана огромная работа, которая выполнялась при плохом финансировании, и задача была найти деньги. И

полученный результат был очень хороший, учитывая условия, в которых это все создавалось. Это первое. Что касается анализа, то Вадим Иванович внес значительный вклад в получение результатов, и вся деятельность по анализу легких ядер была ответственностью группы ЛФВЭ и лежала на его плечах. Наверно стоило бы даже раньше подготовить диссертацию, здесь было замечание о том, что методы, которые были оригинальными раньше теперь хорошо известны. Ну, это объясняется большим объемом выполненной работы. Кто-то еще хочет сказать? Нет. Ну, все было изложено четко и ясно, у членов совета сложилось уже мнение. Теперь предоставляется последнее слово соискателю.

Колесников В.И.: Прежде всего, я бы хотел выразить большую признательность моим коллегам по проекту NA49- ОИЯИ А.Ю.Семенову, С.В.Афанасьеву и А.Ю.Исупову, руководителями проекта А. И. Малахову и Г. Л. Мелкумову. Я бы хотел поблагодарить Директоров ОИЯИ академиков А.Н.Сисакяна и В.А.Матвеева, а также Директоров Лаборатории высоких энергий академика А. М. Балдина, профессоров А.И.Малахова и В.Д.Кекелидзе за многолетнюю поддержку нашего проекта. Я бы хотел выразить признательность за многолетнее сотрудничество руководителям эксперимента NA49 и участникам эксперимента, перечисленным здесь. Я очень признателен Герберту Штробеле, Мареку Газдзики и Петеру Сейботу за полезные предложения и помощь в подготовке публикаций. Я бы хотел поблагодарить моих коллег А. Г. Литвиненко и П. И. Зарубина за плодотворное обсуждение полученных результатов и помощь при подготовке диссертации, а также Ю. С. Анисимова, С.Г. Резникова, И.И.Мигулину, В.К.Бондарева, В.Ладыгина, В.Фролова и А.Н.Хренова за многолетнее сотрудничество. Искреннюю признательность и огромную благодарность я бы хотел выразить моей любимой жене Елене за постоянную поддержку и неоценимую помощь в течении многих лет.

Малахов А.И. Спасибо. Дальше у нас такой порядок работы. Мы должны избрать счетную комиссию, провести голосование, огласить результаты, утвердить протокол счетной комиссии, а потом, Юрий Анатольевич, принимать заключение Совета. Такой порядок. Поэтому у меня есть предложение приступить к избранию счетной комиссии. Раньше был порядок □ кто последний пришел, тот в комиссию. Сейчас порядок меняем наоборот, кто пришел первым □ того в комиссию. Когда я пришел, здесь уже сидел Александр Дмитриевич Коваленко, хорошо? Затем Виктор Викторович Глаголев, нет? У вас самоотвод. Есть ли желающие? Может тогда Валентин Тарасович Матюшин? Согласны? Хорошо. Ну и тогда Валентин Александрович, по традиции. Есть ли возражения по составу? Нет возражений, спасибо. Тогда счетная комиссия приступает к работе, и начинаем голосование.

Перерыв на голосование

После перерыва.

Малахов А.И. Слово председателю счетной комиссии. Прошу, Александр Дмитриевич.

Коваленко А.Д. зачитывает протокол счетной комиссии. Результаты голосования по вопросу присуждения Колесникову Вадиму Ивановичу ученой степени доктора наук: за 23, против нет, недействительный бюллетень один.

Малахов А.И. Прошу утвердить протокол. Кто за? Против? Нет. Воздержался? Нет. Принято единогласно. Поздравлять пока рано, мы должны еще принять заключение совета. Какие есть замечания и предложения? Юрий Анатольевич, Вам первое слово.

Панебратцев Ю.А. Я хочу сказать, что то, что мы слушали это большой вклад в релятивистскую ядерную физику. Наверное, эти результаты имеют значение для проверки стандартной модели и т.п., но лучше написать, чему они больше соответствуют.

Арефьев В.А. Предлагается учесть замечание Юрия Анатольевича следующим образом: «... работа, в которой на основании выполненных исследований автором получены результаты, имеющие важное значение для развития ядерной физики и теории сильных взаимодействий, что может быть квалифицировано как значительный вклад в развитие физики столкновений тяжелых ионов.»

Панебратцев Ю.А. Это годится.

Малахов А.И. Отлично. Еще какие-то замечания к этому документу есть?

Коваленко А.Д. Перед достоверностью результатов в предложении «... анализа столкновений с большой множественностью...» пропущен предлог «с». В разделе «теоретическая и практическая значимость» говорится о релятивистских энергиях это растяжимое понятие: умеренно релятивистские, ультрарелятивистские и т.д. Лучше указать диапазон энергий, как он обозначен.

Малахов А.И. Нет возражений? Принимается. Еще предложения?

Садовский С.А. Стилистическое замечание. В п.7 результатов вместо «реакций» я бы написал событий или взаимодействий.

Малахов А.И. Нет возражений? Принимается. Еще предложения? Нет. Голосуем за документ в целом. Кто за? Против? Нет. Воздержался? Нет. Принято единогласно. Вот теперь поздравляем Вадима Ивановича и желаем скорейшего получения диплома.

Всем спасибо. Заседание закрывается.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

« 20 » декабря 2017 г.



Малахов А.И.

Арефьев В.А.