

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 720.001.02 НА БАЗЕ
МЕЖДУНАРОДНОЙ МЕЖПРАВИТЕЛЬСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ
ОБЪЕДИНЁННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 23.11.2017 № 17-04

о присуждении Колесникову Вадиму Ивановичу, гражданину России, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Изучение рождения $\pi^{+/-}$, $K^{+/-}$, протонов, антипротонов, легких ядер (d, t, ^3He), и антидейтронов в столкновениях Pb+Pb при энергиях от 20 до 158 ГэВ на нуклон», по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц принята к защите 22 июня 2017 г., протокол № 17-02, диссертационным советом Д 720.001.02 на базе Международной межправительственной организации Объединенный институт ядерных исследований, почтовый адрес: 141980, ул. Жолио-Кюри, д.6, г. Дубна, Московская область, РФ, приказ от 11.04.2014 г. №105/нк.

Соискатель Колесников Вадим Иванович 1964 года рождения. В 1990 году окончил физико-технический факультет Харьковского государственного университета. В 2002 году защитил диссертацию «Калибровка 900-канального времяпролетного детектора и измерение спектров адронов во взаимодействиях ядер Pb+Pb при энергии 158 ГэВ/нуклон» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в совете при Объединенном институте ядерных исследований. С 1990 г. по настоящее время работал в должности стажера-исследователя, затем инженера, инженера-электроника 3-й категории, научного сотрудника, старшего научного сотрудника, ведущего научного сотрудника, и начальника сектора в Лаборатории физики высоких энергий в Международной межправительственной научно-исследовательской организации «Объединенный институт ядерных исследований». В настоящее время работает в должности начальника сектора в Лаборатории физики высоких энергий. С 1995 г. в составе группы ОИЯИ является участником коллаборации NA49. Диссертация выполнена в Лаборатории физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

- **Волков Алексей Анатольевич**, доктор физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение Государственный научный центр Российской Федерации “Институт физики высоких энергий”, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (почтовый адрес: 142281, Московская область, г. Протвино, пл. Науки 1, тел. (4967)-71 36 23, e-mail: fgbu@ihep.ru)

- **Ким Виктор Тимофеевич**, доктор физико-математических наук, заместитель руководителя Отделения физики высоких энергий по науке, Петербургский институт ядерной физики имени Б.П. Константинова, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (почтовый адрес 188300, Ленинградская область, г. Гатчина, мкр. Орлова роща, дом 1, НИЦ "Курчатовский институт" – ПИЯФ, тел. (81371) 46 025, e-mail: dir@pnpi.nrcki.ru).

- **Долголенко Анатолий Григорьевич**, доктор физико-математических наук, начальник лаборатории радиационных процессов, Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», (почтовый адрес: 117218, г. Москва, ул. Большая Черемушинская, дом 25, тел. (499)-123-82-18, e-mail: director@itep.ru)

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки, Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН, почтовый адрес: 119991, Россия, ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, дом 53, тел. (499) 1354264, e-mail: postmaster@lebedev.ru) в своем положительном заключении, составленным доктором физико-математических наук Полухиной Натальей Геннадьевной, заведующей Лабораторией элементарных частиц ФИАН, указала: «Оценивая диссертацию в целом следует подчеркнуть, что она представляет собой исследование высокого уровня, так как в ней впервые проведен анализ чрезвычайно широкого круга наблюдаемых, принципиально важных для исследования свойств сильновзаимодействующей материи при экстремальных условиях. Более того, автором был разработан ряд экспериментальных методик для калибровок и коррекции времяпролетной информации, а также идентификации частиц в событиях большой

множественности, которые могут быть использованы в планируемых новых экспериментах по столкновениям ядер. Диссертация В.И. Колесникова отвечает всем требованиям 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». В качестве недостатков отмечается наличие некоторого количества опечаток, не влияющих на качество материала. Соискатель ответил на замечания.

На диссертацию поступил отзыв от профессора Сейбота Питера (pxs@mppmu.mpg.de), споксперсона коллаборации NA49.

В отзыве профессора Сейбота дается оценка личного вклада соискателя в результаты, полученные в рамках коллаборации NA49 и вошедшие в диссертацию. В нем подтверждается важный вклад соискателя в создание и эксплуатацию экспериментальной установки, разработку методов реконструкции время-пролетной информации и идентификации частиц, а также получение данных по рождению пионов, каонов, протонов и легких ядер, которые являются уникальными в области энергии ускорителя SPS.

Критических замечаний в данном отзыве не содержится.

Других отзывов на диссертацию и автореферат в совет не поступало.

Соискатель имеет более 120 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 18 работ, из них опубликованы в рецензируемых научных изданиях 15. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

- 1) С.В. Афанасьев, Л.Я. Жильцова, В.И. Колесников, А.И. Малахов, Г.Л. Мелкумов, А.Ю. Семенов, “Сцинтилляционные детекторы для прецизионных временных измерений” Краткие сообщения ОИЯИ, N1(81)-97, 1997, с.45. УДК 41-30
- 2) С.В. Афанасьев, А.Ю. Исупов, В.И. Колесников, А.И. Малахов, Г.Л. Мелкумов, А.Ю. Семенов, “Многоканальный времяпролетный детектор в составе адронного спектрометра NA49 в ЦЕРН” Краткие сообщения ОИЯИ, N5(85)-97, 1997, с.69. УДК 539.1.074.
- 3) S. Afanasiev, .., V.I. Kolesnikov et al (NA49 Collaboration) “The NA49 large acceptance hadron detector”, Nucl.Instrum.Meth. A430, 210-214 (1999).

- 4) S.V. Afanasiev, V.I. Kolesnikov et al (NA49 Collaboration) "Deuteron production in central Pb + Pb collisions at 158-A-GeV", Phys.Lett. B486, 22-28 (2000).
- 5) S.V. Afanasiev, ..., V.I. Kolesnikov et al, "New results from NA49", Nucl.Phys. A698, 104-111 (2002).
- 6) S.V. Afanasiev, ..., V.I. Kolesnikov et al (NA49 Collaboration) "Energy dependence of pion and kaon production in central Pb + Pb collisions", Phys.Rev. C66, 054902 (2002).
- 7) S.V. Afanasiev, ..., V.I. Kolesnikov et al, "Recent results on spectra and yields from NA49", Nucl. Phys. A715, 161-170 (2003).
- 8) V.I. Kolesnikov for the NA49 Collaboration "Hadron production at SPS energies", Nucl. Phys. A 734, 45-48 (2004).
- 9) T. Anticic, ..., V.I. Kolesnikov et al (NA49 Collaboration) "Energy and centrality dependence of deuteron and proton production in Pb+P collisions at relativistic energies", Phys. Rev. C 69, 024902 (2004).
- 10) C. Alt, ..., V.I. Kolesnikov et al (NA49 Collaboration) "Energy and centrality dependence of ant-p and p production and the anti- Λ /anti-p ratio in Pb+Pb collisions between 20A GeV and 158A GeV", Phys. Rev. C 73, 044910 (2006).
- 11) V.I. Kolesnikov for the NA49 Collaboration "Anti-nuclei and nuclei production in Pb+Pb collisions at CERN SPS energies", J.Phys.Conf.Ser. 110 (2008) 032010.
- 12) C. Alt, ..., V.I. Kolesnikov et al (NA49 Collaboration) "Pion and kaon production in central Pb+Pb collisions at 20A GeV and 30A GeV: Evidence for the onset of deconfinement", Phys. Rev. C 77, 024903 (2008).
- 13) T. Anticic, ..., V.I. Kolesnikov et al (NA49 Collaboration) "System-size and centrality dependence of charged kaon and pion production in nucleus-nucleus collisions at 40A GeV and 158A GeV beam energy", Phys. Rev. C 86, 054903 (2012)
- 14) T. Anticic, ..., V.I. Kolesnikov et al (NA49 Collaboration) "Antideuteron and deuteron production in midcentral Pb+Pb collisions at 158A GeV", Phys. Rev. C 85, 044913 (2012)

15) T. Anticic, ..., V.I. Kolesnikov et al (NA49 Collaboration) "Production of deuterium, tritium, and ^3He in central Pb+Pb collisions at 20A, 30A, 40A, 80A, and 158A GeV at the CERN Super proton Synchrotron", Phys. Rev. C 94, 044906 (2016).

Вклад соискателя в эти работы значительный либо определяющий.

Основные результаты диссертации были представлены автором на следующих конференциях и семинарах:

- 1) Eighth International Conference on Nucleus-Nucleus Collisions NN 2003, Moscow, Russia, 17-21 June, 2003;
- 2) 18th International Conference on Nucleus-Nucleus Collisions, Budapest, Hungary, August 4-9, 2005;
- 3) The 2007 Europhysics Conference on High Energy Physics, Manchester, England, 19-25 July, 2007;
- 4) The XXII International Baldin Seminar on High Energy Physics problems" (Dubna, Russia, September 15-20, 2014);
- 5) XXIII International Baldin Seminar on High Energy Physics problems, Dubna, Russia, September 19-24, 2016;
- 6) На научных семинарах международных научных центров в Германии (GSI), Швейцарии (CERN) и Франции (UPMC), а также на совещаниях международной коллаборации NA49;
- 7) Основные результаты диссертации были представлены на семинаре ЛФВЭ ОИЯИ 11 апреля 2017 г.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обусловлен как особенностями и направлениями их исследований, так и специальностью, по которой выполнена работа соискателя.

Доктор А.А.Волков является признанным специалистом в физике высоких энергий и имеет значительный опыт в исследовании адрон-адронных и адрон-ядерных столкновений. Под его руководством была создана экспериментальная установка ФОДС-2, разработано большое количество алгоритмов реконструкции событий, а также проведено систематическое исследование процессов одиночного и парного рождения адронов в жестких взаимодействиях в pp, pA и AA-реакциях на ускорителе ИФВЭ. С его участием получены важнейшие результаты в анализе данных с детектора CMS на ускорителе LHC, такие как рождение пионов, каонов, протонов в pPb столкновениях при высоких энергиях; измерение характеристик образования J/ψ частиц в PbPb реакциях на LHC; а также 2-х частичных корреляций и по-событийных флуктуаций в столкновениях тяжелых ионов.

Доктор В.Т.Ким является признанным специалистом в области теоретических исследований в физике сильных взаимодействий – квантовой хромодинамике (КХД), а также экспериментальных исследований по физике высоких энергий, в частности, физики на Большом адронном коллайдере. Он ведет исследования по изучению рождения бозонов Хиггса, редких распадов В-мезонов, поиску новых бозонов на основе данных, полученных международными коллаборациями ATLAS, CMS, и LHCb.

Доктор Долголенко А.Г. является широко известным специалистом в области экспериментальной ядерной физики и физики частиц. Он внес значительный вклад в исследование характеристик рождения частиц с большими поперчными импульсами и барионных резонансов в $S+W$ и $K+Xe$ столкновениях, а также изучения корреляций заряженных каонов в зависимости от поперчного импульса. Долголенко А.Г. вносит большой вклад в разработку программы физических исследований на эксперименте PANDA в ГСИ.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки, Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН) является известным исследовательским центром по физике элементарных частиц и ядерной физике. Сотрудники этого института являются признанными специалистами в разработке детекторов частиц и методик для ядерно-физических исследований, а также активными участниками теоретических и экспериментальных исследований по столкновениях частиц высоких энергий и космических лучей, ведущихся крупнейшими международными научными коллективами, такими как коллаборации ATLAS и CMS в ЦЕРНе, OPERA (LNGS, Italy), PAMELA (детектор-спутник на орбите Земли).

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований и при его непосредственном участии:

- 1) Запущен в эксплуатацию 900-канальный времяпролетный детектор TOF на основе сцинтилляционных счетчиков для эксперимента NA49 в ЦЕРН, на котором была выполнена программа энергетического сканирования с набором экспериментальных данных при 5-ти энергиях столкновения от 20 до 158 ГэВ на нуклон.
- 2) Разработаны методы калибровки времяпролетной информации с TOF детектора, получены калибровочные константы для всех наборов данных и созданы программные средства реконструкции TOF для всех типов реакций (pp , pA , AA).

Предложенная методика позволила получить значение временного разрешения TOF менее 80 пикосекунд.

3) Разработан и реализован оригинальный метод идентификации частиц с использованием комбинированной информации о времени пролета с TOF и ионизационных потерь с время-проекционных камер NA49 для эффективного разделения адронов и легких ядер, а также метода анализа инвариантных спектров и выходов частиц для π , K , p , d , t , ${}^3\text{He}$.

4) 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. Проведено измерение инвариантных спектров частиц при центральной быстроте в интервале по поперечной массе до 1 ГэВ.

5) Исследована энергетическая зависимость интегрированных по поперечному импульсу выходов частиц на единицу быстроты dN/dy , отношения каонов к пионам, параметра наклона спектров T и средней поперечной массы $\langle m_t \rangle - m$. Характерная форма K^+/π^- отношения ("Horn") может быть интерпретировано как сигнал о фазовом переходе в ядерной материи (*onset of deconfinement*), а слабая зависимость от энергии столкновения для параметра наклона может указывать на возможное образование смешанной фазы адронного газа и кварк-глюонной плазмы при энергиях SPS.

6) Подробно изучены зависимости выходов заряженных пионов и каонов от центральности столкновения в Pb+Pb реакциях при энергии столкновения 158 ГэВ на нуклон при центральной быстроте.

7) Получены систематические данные по выходам протонов и антипротонов в центральных Pb+Pb соударениях при 5 энергиях столкновения (20, 30, 40, 80, и 158 ГэВ на нуклон), а также в MinBias Pb+Pb взаимодействиях при 40А и 158А ГэВ.

8) Подробно исследована энергетическая зависимость, а также зависимость от центральности столкновения для плотностей (анти)нуклонов на единицу быстроты dN/dy , для параметров наклонов спектров T , для средней поперечной массы $\langle m_t \rangle - m$, а также для отношения антипротонов к протонам и анти- p к анти- Λ .

9) Впервые получены экспериментальные данные по рождению легких ядер (d , t , ${}^3\text{He}$) в центральных Pb+Pb реакциях в диапазоне энергий столкновения от 20 до 158 ГэВ на нуклон, включая зависимость выходов дейтронов и гелия-3 от быстроты, распределения по поперечному импульсу в интервалах по быстроте, а также множественности d и ${}^3\text{He}$ при 5-ти энергиях столкновения. Расчеты по статистической модели для множественностей ядер и показали, что полные выходы легких ядер хорошо описываются данной моделью.

10) Впервые получены быструтные распределения для параметров наклона m_t -спектров для ядер ${}^3\text{He}$, а также оценки для температуры кинетического фризаута и

средней скорости радиального расширения в источнике частиц для центральных Pb+Pb реакций при нескольких энергиях столкновения.

11) Впервые получены экспериментальные данные по выходам нуклонных кластеров (протонов и легких ядер) от массового числа A в различных интервалах фазового пространства.

12) Получены новые данные по отношению выходов тритонов к гелию-3 в зависимости от поперечного импульса частиц при нескольких энергиях столкновения, а также энергетическая зависимость отношения $t/{}^3\text{He}$ в центральных Pb+Pb столкновениях.

13) Получены новые экспериментальные данные по выходам антидейтронов в столкновениях Pb+Pb при энергии столкновения 158 ГэВ на нуклон в зависимости от быстроты и прицельного параметра столкновения. Впервые исследована зависимость от поперечного импульса для отношения антидейтронов к дейтронам для 0-23% центральных Pb+Pb. Отсутствие явной p_t -зависимости для отношения анти- d/d может означать незначительное влияние процесса аннигиляции в файерболле на характеристики рожденных антидейтронов, что является ожидаемым в случае образования легких анти-ядер в конце процесса эволюции источника частиц.

14) Проведен сравнительный анализ выходов антидейтронов и антипротонов в зависимости от центральности столкновения и поперечного импульса в рамках модели коалесценции, и впервые оценки значения параметра коалесценции для нескольких значений центральности при максимальной энергии ускорителя SPS.

Актуальность и новизна

Теоретические расчеты в рамках реализованной на решетке КХД предсказывают фазовый переход из адронных в кварк-глюонные степени свободы с частично восстановленной киральной симметрией при увеличении плотности энергии до порогового значения порядка 0.5-0.7 ГэВ/фм³, которое может быть достигнуто в столкновениях тяжелых ионов при энергии около 20 ГэВ на нуклон. Экспериментальное наблюдение нового состояния ядерной материи - кварк-глюонной плазмы (КГП) является одной из приоритетных задач современной ядерной физики. Несмотря на значительный фон за счет событий сильного взаимодействия адронов в конечном состоянии, по восстановленным в реакциях столкновения ядер быстротным распределениям и инвариантным спектрам частиц можно получить подробную информацию о характеристиках источника, а также о характере его эволюции от момента столкновения (включая возможные фазовые трансформации). К примеру, повышенный выход странных частиц,

нормированный на количество энтропии в событии является одним из индикаторов фазового перехода в состояние КГП – деконфайнмента. Выходы античастиц в $A+A$ столкновениях определяются не только свойствами фазовых превращений в ядерной материи, но и эволюцией распределения барионной плотности в источнике частиц, которую можно менять в широких пределах при вариации прицельного параметра (центральности) столкновения. А значительный интерес к исследованию выхода легких ядер и антиядер связан с возможностью изучения механизма образования самих нуклонных кластеров внутри горячей адронной материи, а также внутренней динамики файерболла, образуемого при столкновении релятивистских объектов.

Теоретическая и практическая значимость

Основные результаты диссертации, выносимые на защиту, являются важными для дальнейшего развития физики релятивистских ядерных столкновений. В результате анализа реакций столкновения ядер свинца в диапазоне энергий 20-158 ГэВ были 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 быстроте. Благодаря значительному охвату по фазовому пространству была получена подробная экспериментальная информация по быстротным плотностям частиц ($dN/dy(y)$), а также по полной множественности для легких ядер d и ^3He . Широкий набор частиц и их кинематических характеристик позволил провести детальное изучение механизма рождения адронов и легких ядер в $\text{Pb}+\text{Pb}$ столкновениях, а также характеристик коллективных эффектов в плотной ядерной материи. Почти все экспериментальные данные по энергетической зависимости выходов частиц получены впервые и представляют интерес для развития теоретических методов и моделей по описанию ядерных столкновений.

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 (эксперимент CBM в FAIR/GSI в Германии). Кроме этого, многие результаты по методике эксперимента, по обработке и анализу данных, предложенные и реализованные автором, являются пионерскими и являются на данный момент эффективными способами анализа столкновений с большой множественностью частиц, которые могут быть использованы для проведения как теоретических, так и

экспериментальных исследований во всех Российских и мировых зарубежных центрах ядерной физики и физики частиц.

Достоверность результатов

Достоверность полученных в диссертации результатов определялась непосредственным сравнением с независимыми экспериментальными измерениями по выходам частиц и отношениям в других экспериментах при близких значениях энергии столкновения и центральности. К примеру, результаты по энергетической зависимости отношения выходов каонов к пионам хорошо согласуются с данными эксперимента STAR, полученными на ускорителе RHIC в Брукхейвене. Кроме этого, значительная часть распределений по поперечной массе для заряженных мезонов, протонов и антипротонов при центральной быстроте были независимо получены другим способом измерения в другой подсистеме детектора NA49, а именно, по ионизационным потерям в TPC. Хорошее согласие результатов по двум методикам анализа позволило с уверенностью утверждать о достоверности результатов. Все включенные в диссертационную работу результаты опубликованы в рецензируемых журналах, прошли апробацию в виде докладов на научных конференциях и регулярно цитируются в научной литературе.

Личный вклад соискателя.

Диссертация основана на работах, выполненных автором в рамках международной коллаборации в 1995-2017 гг. 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.

На заседании 23 ноября 2017 года диссертационный совет сделал вывод о том, что диссертация В.И. Колесникова представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований впервые получены результаты, имеющие важное значение для развития ядерной физики и теории сильных взаимодействий. Главные результаты диссертации могут быть квалифицированы как значительный вклад в развитие физики столкновений тяжелых ионов. Диссертация соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней для докторских диссертаций. Совет принял решение присудить Колесникову Вадиму Ивановичу учёную степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 24 человек, из них 7 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 31 человек, входящих в состав совета, дополнительно введенных на разовую защиту нет, проголосовал: за присуждение учёной степени 23, против нет, недействительных бюллетеней 1.

Заключение подготовили:

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Водопьянов
Александр Сергеевич

доктор физико-математических наук,
профессор

Панебратцев
Юрий Анатольевич

кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Арефьев
Валентин Александрович

Председатель диссертационного совета,
доктор физико-математических наук
профессор



Малахов
Александр Иванович

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Арефьев
Валентин Александрович

« 30 » ноября 2017 года