

## Отзыв

официального оппонента Волкова Алексея Анатольевича на диссертацию Колесникова Вадима Ивановича «Изучение рождения  $\pi^{+/-}$ ,  $K^{+/-}$ , протонов, антипротонов, легких ядер ( $d$ ,  $t$ ,  ${}^3\text{He}$ ), и антидейтронов в столкновениях  $\text{Pb}+\text{Pb}$  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

В настоящее время, практически во всех крупных лабораториях мира, где есть адронные ускорители, проводятся эксперименты по изучению взаимодействия ядер при высоких энергиях. **Актуальность** и большой интерес к данной теме обусловлен исследованиями свойств рождаемой в столкновениях релятивистских ядер материи с высокой плотностью энергии и ее описанием в рамках фундаментальной теории сильных взаимодействий — квантовой хромодинамики (КХД). Основной нерешенной проблемой здесь является данные о характеристиках фазового перехода из адронного газа в состояние кварк-глюонной плазмы. С целью изучения данного вопроса и был подготовлен и проведен эксперимент NA49 на ускорителе SPS в ЦЕРН результаты которого легли в основу диссертационной работы Колесникова Вадима Ивановича. Необходимо отметить важную особенность выполненных измерений на пучке ядер свинца. Впервые измерения были проведены при большом наборе энергий от 20 до 158 ГэВ на нуклон. Этот факт и наличие на установке уникальных детекторов, регистрирующих в большом телесном угле заряженные частицы, стали решающими в получении интересных результатов в данном эксперименте. Один из таких уникальных детекторов был создан для этого эксперимента в ОИЯИ при активном участие диссертанта. Это был многоканальный времяпролетный спектрометр с предельным на данный момент временным разрешением (лучше 100 пикосекунд).

Диссертация В. И. Колесникова общим объемом в 191 страницу состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 204 наименований.

Во введении приводятся краткое описание основных положений теории сильных взаимодействий (КХД) и современного состояния исследований свойств ядерной материи при больших плотностях энергии. В данном разделе обосновывается актуальность темы изучения состояния материи в столкновениях релятивистских ядер, указаны основные цели и методология

исследования, отмечена научная ценность работы, описано содержание диссертации, и перечисляются основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена описанию эксперимента NA49 в котором получены результаты, которые легли в основу диссертационной работы. Представлены основные подсистемы установки и их характеристики. Подробно описан 900-канальный времяпролетный детектор TOF на основе сцинтилляционных счетчиков. При его создании была проделана большая методическая работа с целью получения рекордного временного разрешения. В эту работу включались выбор параметров сцинтилляционных счетчиков, отбор и настройка фотодетекторов (ФЭУ-87 с оригинальными делителями) и т.д. В заключении раздела представлены результаты работы разработанных автором средств программного контроля параметров TOF при наборе экспериментальных данных.

Во второй главе представлены результаты методических разработок автора по процедурам коррекции времяпролетной информации с TOF детектора, а также при анализе экспериментальных данных. В частности, подробно описана процедура калибровок для разных исследуемых в работе типов реакций, представлены используемые в анализе критерии качества для отбора событий и треков, описана последовательность действий при процедуре идентификации с использованием информации о времени пролета и ионизационных потерях, приведены используемые коррекции и оценки систематических ошибок. Результаты проведенной скрупулёзной работы впечатляют - для времяпролетной системы из 890 сцинтилляционных счетчиков получено среднее разрешение для времени пролета около 80 пикосекунд. Это позволило проводить идентификацию заряженных адронов в диапазоне импульсов до 15 ГэВ/с или поперечных импульсов до 3 ГэВ/с. Вопросы моделирования экспериментальной установки также был достаточно хорошо проработаны, что позволило определять долю заряженных адронов, образующихся за счет распадов гиперонов.

В третьей главе автор приводит результаты экспериментального исследования рождения заряженных  $\pi$ -мезонов, K-мезонов, протонов и антипротонов в столкновениях ядер свинца при энергиях от 20 до 158 ГэВ на нуклон. Подробные данные по выходам частиц представлены в виде распределений по поперечному импульсу и быстрой в зависимости от энергии и прицельного параметра столкновения. Особенно детально проанализированы отношения выходов к-мезонов к  $\pi$ -мезонам в исследуемой области кинематических параметров. Нетривиальное поведение отношения  $K^+/\pi^+$  имеет максимум при энергии 30А ГэВ (называемый в литературе "NA49 Horn") который в ряде моделей указывает на начало

деконфайнмента. Неслучайно эти данные на протяжении последних 15 лет широко обсуждаются в литературе и подвергались неоднократной экспериментальной проверке. В этом же разделе автор приводит подробные результаты по зависимости инвариантных сечений от быстроты для протонов и антипротонов в центральных Pb+Pb столкновениях. Экспериментальные данные сравниваются с теоретическими расчетами и модельными предсказаниями.

В четвертой главе обсуждаются основные результаты по рождению дейтронов, тритонов, гелия-3, и антидейтронов в Pb+Pb реакциях. Установка в эксперименте NA49 обладает большим телесным углом для регистрации частиц, что позволяет изучать выходы легких ядер в значительной доле фазового пространства, недоступном большинству экспериментов. В результате скрупулёзного анализа впервые был получен большой массив экспериментальной информации об энергетической зависимости выходов ядерных фрагментов, образующихся в столкновениях ядер свинца. В эксперименте были получены данные о форме распределений по скорости и по поперечному импульсу для большинства легких ядер. В диссертации проведено сравнение данных с предсказаниями термальных статистических моделей. В рамках модели коалесценции проведен сравнительный анализ выходов протонов, антипротонов, дейтронов, антидейтронов и были получены параметры коалесценции для ядер и антиядер в зависимости от поперечного импульса и прицельного параметра.

В Заключение приведены основные результаты, описанные в диссертации.

**Достоверность** полученных автором результатов достаточно хорошо обоснована. Несмотря на то, что большинство экспериментальных данных получены впервые, оценки систематических ошибок проведены на высоком уровне, а результаты по выходам каонов и пионов были проверены позднее в других экспериментах на ускорителе RHIC и в теоретических расчетах.

К недостаткам работы следует отнести использование аббревиатур не указанных в списке сокращений, а также непонятного для неспециалиста жаргона, затрудняющего чтение диссертации. Несмотря на достаточно аккуратное оформление в работе встречаются опечатки и неверные ссылки на номера рисунков. К сожалению, не для всех приведенных в работе рисунков выбран правильный масштаб, а некоторые картинки, приходится сильно увеличивать для того, чтобы рассмотреть детали. Склонность автора к построению длинных предложений иногда затрудняет понимание текста.

Приведенные замечания не влияют на положительную оценку диссертационной работы, которая выполнена на высоком научном уровне, содержит элементы новизны в виде большого количества впервые полученных экспериментальных данных, а также имеет важное научное и практическое значение в реализации новых программ по изучению взаимодействий ядер в области высоких энергий.

Положения, выносимые на защиту, достаточно хорошо и полно сформулированы, а **апробация** основных результатов диссертации не вызывает сомнения – они неоднократно докладывались на российских и международных научных конференциях, а также в полной мере опубликованы в реферируемых научных журналах.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Диссертация В.И. Колесникова «Изучение рождения  $\pi^{+/-}$ ,  $K^{+/-}$ , протонов, антипротонов, легких ядер ( $d$ ,  $t$ ,  ${}^3\text{He}$ ), и антидейтронов в столкновениях  $\text{Pb}+\text{Pb}$  при энергиях от 20 до 158 ГэВ на нуклон» 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.

Официальный оппонент  
доктор физико-математических наук,  
ведущий научный сотрудник  
Федерального государственного бюджетного учреждения  
Института физики высоких энергий имени А.А. Логунова  
Национального исследовательского центра  
«Курчатовский институт»

Волков А.А.

Адрес: 142281, город Протвино, Московской обл., ул. Дружбы, д. 16, кв. 40  
Тел.: (496)7743612  
e-mail: Alexey.Volkov@ihep.ru

Подпись А.А. Волкова заверяю:  
Ученый секретарь НИЦ  
«Курчатовский институт» - ИФВЭ



Прокопенко Н.Н.