

**ОТЗЫВ**  
**официального оппонента**  
**на диссертацию Дрожжовой Татьяны Александровны**  
**«Исследование флюктуаций числа нуклонов-участников и отбор событий по**  
**центральности в экспериментах по столкновениям ультрарелятивистских**  
**ядер», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-**  
**математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и**  
**элементарных частиц.**

В настоящее время ведутся активные теоретические и экспериментальные исследования кварк-глюонной плазмы, которая образуется в результате столкновения тяжелых ионов. В экспериментах по исследованию столкновений тяжелых ионов было обнаружено новое состояние материи – кварк-глюонная плазма (КГП). КГП — это состояние материи, образованной свободными кварками, антакварками и глюонами при высокой температуре. Предполагается, что Вселенная в ходе эволюции находилась в таком же состоянии спустя короткое время (порядка  $10^{-11}$  с) после Большого взрыва. Чтобы понять физику КГП, следует изучать такое состояние материи в лаборатории. Можно сказать, что одна из целей экспериментов по высокоэнергетическим столкновениям тяжёлых ионов заключается в создании этого состояния материи в лаборатории.

Процесс эволюции столкновений тяжелых ядер при высоких энергиях является довольно сложным и многостадийным, причем КГП не наблюдается непосредственно, и о ее свойствах можно судить только из распределений рожденных в процессе ее эволюции частиц, в частности, из распределения струй (джетов). Для статистического пособытийного анализа этих распределений важную роль имеет понимание начальных условий, приводящих к формированию КГП. Ключевой характеристикой событий является понятие центральности. Она характеризует размер области перекрытия сталкивающихся ядер, что связано со значением прицельного параметра, а также числом нуклонов-участников. В экспериментальных исследованиях для отбора событий в качестве наблюдаемой величины, косвенно связанной с центральностью столкновения, часто используется множественность рождающихся частиц.

Диссертационная работа Дрожжовой Татьяны Александровны посвящена исследованию взаимосвязи между центральностью и множественностью, в частности,

делается попытка ответить на вопрос, насколько хорошо можно судить о геометрии события используя сведения о количестве рожденных заряженных частиц в условиях экспериментов по столкновению легких и тяжелых ионов при энергиях LHC и SPS.

Актуальность данных проблем прежде всего связана с пособытийным анализом флюктуаций и корреляций наблюдаемых величин, ведущихся в экспериментах ALICE и NA61/SHINE. Для выявления динамических эффектов, связанных со свойствами кварк-глюонной среды требуется оценить вклад так называемых фоновых флюктуаций, связанных с пособытийной вариацией исходных параметров, а также по возможности, минимизировать такие фоновые флюктуации. Разработанная автором методология и полученные результаты несомненно найдут применение в дальнейшей работе экспериментов ALICE и NA61/SHINE в ЦЕРН, а также на строящихся установках MPD и SPD на коллайдере NICA в Дубне.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы и формулируются основные задачи

В первой главе вводится определение основных понятий, которые используются при описании столкновений релятивистских ядер

Во второй главе описывается техническая сторона эксперимента ALICE.

Третья глава посвящена определению центральности на эксперименте ALICE.

В четвертой главе описана процедура измерения множественности заряженных частиц в среднебыстротном диапазоне ( $|y| < 0.5$ ) на эксперименте ALICE с использованием коротких сегментов треков – треклетов (S4.1). В S4.2 для энергии  $s^{1/2} = 5.02$  ТэВ приведены основные результаты, полученные колаборацией ALICE с использованием подсчета множественности и калибровки центральности, выполненных автором.

В пятой главе изложен метод выбора интервалов центральности, который дает возможность минимизации фоновых (объемных) флюктуаций наблюдаемых величин.

Основными результатами диссертации являются

1. Разработка метода минимизации фоновых флюктуаций наблюдаемых величин в ультрарелятивистских столкновениях ядер, основанный на выборе ширины класса центральности, при котором среднеквадратичное отклонение с дальнейшим сужением класса остается неизменным. Показано, что данный метод может успешно применяться для различных сталкивающихся систем.
2. апробирования разработанного метода уменьшения фоновых флюктуаций на модели Глаубера с двухкомпонентным описанием множественности заряженных частиц, а также на генераторе событий HIJING для случаев ядро-ядерных и протон-ядерных столкновений при энергиях LHC (2.76 ТэВ и 5.02 ТэВ) и SPS (16.8 ГэВ и 17.3 ГэВ), для легких ( $\text{Be}^7 - \text{Be}^9$ ) и тяжелых ядер (Pb). Данный метод применен к монте-карловским данным, полученным с учетом симуляции отклика детектирующих систем установки ALICE, для столкновений ионов свинца при энергии 2.76 ТэВ.
3. В условиях реального эксперимента установлены пороги сужения классов центральности, минимизирующие фоновые флюктуации, связанные с вариацией числа нуклонов-участников.
4. В рамках эксперимента ALICE проведена калибровка процедуры определения центральности с введением новых эстиматоров для столкновений ядер свинца при энергии 5.02 ТэВ на нуклон. На основании откалиброванных данных измерена плотность множественности заряженных частиц в центральной области быстрот как функция центральности.

Научная новизна результатов, полученных в диссертации состоит в следующем:

Автором разработан новый метод количественной оценки фоновых флюктуаций, связанных с пособытийной вариации геометрии столкновения, позволяющей определять условия, при которых достигаются минимальные флюктуации числа нуклонов-участников.

В широком диапазоне энергий (от SPS до LHC) для различных сортов сталкивающихся ядер определены пороговые ширины классов центральности, после которых более детальное рассмотрение событий при сужении класса центральности не ведет за собой улучшение разрешения измерений (дальнейшего уменьшения фоновых флюктуаций измеряемых величин).

Автором реализована возможность измерения множественности и центральности на новом, дифракционном детекторе AD эксперимента ALICE, который был введен в эксплуатацию во второй половине периода сбора данных RUN-II.

Измерения множественности заряженных частиц в диапазоне средних псевдо-быстроот ( $|\eta| < 0.5$ ) являются первыми исследованиями в столкновениях тяжелых ядер при энергии  $\sqrt{s} = 5.02$  ТэВ на нуклон-нуклонную пару в системе центра масс.

Теоретическая значимость результатов диссертации заключается в том, что полученные результаты позволяют установить новые ограничения на модели, используемые для описания столкновений тяжелых ядер при высоких энергиях. В частности, новые результаты при энергии 5.02 в самых центральных столкновениях позволили уточнить показатель степени в зависимости множественности от энергии ( $\sqrt{s}$ ), что является крайне важным для голографического подхода. Практическая значимость состоит в том, что результаты диссертации могут быть использованы в работе экспериментов по ядро-ядерным столкновениям как на действующих, так и строящихся ускорителях.

Достоверность результатов диссертации подтверждается их публикациями в различных рецензируемых журналах, широкой аprobацией на различных конференциях, а также сравнениями с имеющимися теоретическими результатами, а также экспериментальными данными при разных энергиях. Программный код, результаты калибровки центральности, и метод оценки и минимизации фоновых флюктуаций одобрены и включены в библиотеки коллаборации ALICE и используются для дальнейшего анализа данных.

В качестве замечаний можно отметить следующее:

- 1) не все надписи и обозначения на рисунках достаточно понятны и переведены на русский язык( например, рис.: 5 .19)
- 2) В конце текста хорошо было бы иметь список с переводом аббревиатур названий детекторов.

Эти замечания существенно не сказываются на чтении диссертации, она хорошо написана и легко читается.

Основные результаты диссертационной работы отражены в 7 печатных научных публикациях, 6 из которых опубликованы в изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus, и 1 в материалах международной конференции. Результаты апробированы на различных конференциях международного уровня. Автореферат правильно отражает содержание диссертации

Диссертационная работа Т. А. Дрожковой на тему «Исследование флюктуаций числа нуклонов-участников и отбор событий по центральности в экспериментах по столкновениям ультраквантитативистских ядер» полностью удовлетворяет критериям, установленным ВАК для кандидатских диссертаций по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц, а ее автор Дрожкова Т. А. несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,  
профессор, ведущий научный сотрудник  
отдела теоретической физики  
ФГБУН Математического института им. В.А.Стеклова  
Российской академии наук

Арефьева Ирина Ярославна  
11.06.2018

Контактные данные:

Тел.:+7 (499) 941 01 87, e-mail: [arefeva@mi.ras.ru](mailto:arefeva@mi.ras.ru)

Специальность, по которой официальным оппонентом  
защищена диссертация: 01.04.02 – Теоретическая физика

Адрес места работы: 119991, Москва, ул. Губкина, д. 8,  
ФГБУН Математический институт им. В.А.Стеклова

Российской академии наук, отдел теоретической физики

Тел.:+7 (499) 941 01 87, e-mail: [arefeva@mi.ras.ru](mailto:arefeva@mi.ras.ru)

Подпись ведущего научного сотрудника отдела теоретической физики  
ФГБУН Математического института им. Стеклова Российской академии  
наук И.Я. Арефьевой удостоверяю:

Ученый секретарь



к.ф.-м.н. Яськов Павел Андреевич

12.06.2018