

## ОТЗЫВ

**официального оппонента д.ф.-м.н. Щукина Н.В. о диссертационной работе Дереновской Ольги Юрьевны “Методы и алгоритмы распознавания и реконструкции распадов  $J/\psi \rightarrow e^+e^-$  в эксперименте СВМ”, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности “05.13.18 -- математическое моделирование, численные методы и комплексы программ”**

Изучение свойств ядерной материи в экстремальных условиях – одно из наиболее интенсивно развивающихся направлений современной ядерной физики. Интерес к этим исследованиям обусловлен тем, что в ходе таких экспериментов воссоздаются условия возникновения Большого взрыва в различные моменты времени, что необходимо для понимания эволюции Вселенной.

В настоящее время в GSI (Дармштадт, Германия) ведутся работы по созданию ускорительного комплекса антипротонов и тяжелых ионов FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research). На этом комплексе планируется проведение экспериментов на установке СВМ (Compressed Baryonic Matter), создаваемой большой международной коллаборацией, в которой активное участие принимает Лаборатория информационных технологий ОИЯИ.

Изучение редких распадов  $J/\psi \rightarrow e^+e^-$ , возникающих в ядро-ядерных соударениях при высоких энергиях, является одной из ключевых задач эксперимента СВМ. Процедура извлечения указанного распада сильно затруднена из-за малой вероятности рождения  $J/\psi$ -мезона и высокой множественности вторичных частиц.

В этой связи, развитие эффективных математических методов и быстрых вычислительных алгоритмов для надежного выделения сигнальных событий является актуальной и крайне важной задачей. Решению указанной задачи посвящена диссертация Дереновской О.Ю.

Рассматриваемая диссертационная работа включает: обзор литературы по исследуемой проблеме, физическую и математическую постановки решаемой задачи, описание математических методов и вычислительных алгоритмов, результаты численных экспериментов и обсуждение полученных результатов.

Первая глава начинается с обзора физической программы на установке СВМ, далее обсуждаются различные наблюдаемые частицы и процессы с их участием, рождающиеся в ядро-ядерных столкновениях при высоких энергиях, а также основные проблемы, связанные с их регистрацией. Детально описаны принципы работы тех детекторов установки СВМ, которые используются для регистрации диэлектронных распадов  $J/\psi$ -мезонов. В заключение данной главы формулируется постановка решаемой в диссертации задачи, отмечается ее актуальность и важность.

Во второй главе рассмотрены математические методы и вычислительные алгоритмы, с помощью которых проводилась:

- реконструкция траекторий и восстановления импульсов заряженных частиц на основе координатной информации с трековой системы STS (Silicon Tracking System);
- формирование выборок электронов и позитронов;
- восстановление топологии распада  $J/\psi \rightarrow e^+e^-$  с помощью пакета KFParticle.

Для формирования выборок электронов и позитронов проводилась идентификация указанных частиц с помощью детекторов черенковского RICH (Ring Imaging Cherenkov) и переходного TRD (Transition Radiation Detector) излучений. Для исключения из указанных выборок возможной примеси адронов дополнительно использовался детектор измерения времени пролета частиц TOF (Time-Of-Flight). Важным звеном на данном этапе является идентификация частиц с помощью детектора TRD.

Автором было проведено детальное сравнение двух подходов решения указанной задачи на основе: 1) искусственной нейронной сети (ИНН) и 2) модифицированного критерия согласия  $\omega_n^k$ . На примере реконструкции событий  $J/\psi \rightarrow e^+e^-$ , образующихся в соударениях Au+Au при энергии 25 ГэВ/нуклон, показано, что оба метода обеспечивают практически одинаковую мощность. Проведенный при этом анализ показал, что метод на основе ИНН, по сравнению с критерием  $\omega_n^k$ , имеет ряд ограничений. Учитывая простую программную реализацию вычислительного алгоритма на основе критерия  $\omega_n^k$ , его можно будет использовать для отбора распадов  $J/\psi \rightarrow e^+e^-$  в ходе реального эксперимента.

Как отмечалось выше, процедура извлечения исследуемого события сильно затруднена из-за малой вероятности рождения  $J/\psi$ -мезона и высокой множественности вторичных частиц. Поэтому после применения всей цепочки методов, описанных во второй главе, среди сформированных электрон-позитронных пар присутствует довольно большая примесь случайного фона. В третьей главе рассмотрены дополнительные критерии для отбора сигнальных событий, основанные на разных признаковых переменных, таких как поперечный импульс, прицельный параметр и другие. Используемые в работе признаковые переменные имеют заметно различающееся поведение для сигнальных и фоновых событий, что и позволяет использовать их для дополнительного подавления фона. Здесь же предложена оригинальная процедура для определения критических границ для указанных переменных. В заключение этой главы обсуждаются результаты расчетов, связанные с выбором оптимальной толщины мишени, что позволило без потери сигнальных событий более чем в 4 раза уменьшить комбинаторный фон.

В четвертой главе обсуждаются результаты тестирования развитой методики на модельных данных, отвечающих pC-, pAu- и AuAu-соударениям в широком диапазоне энергий. Показано, что развитая в диссертационной работе методика

может позволить зарегистрировать достаточно большую статистику распадов  $J/\psi \rightarrow e^+e^-$  за разумный промежуток времени работы установки СВМ на пучке.

В пятой главе проведен анализ временных затрат всех вычислительных алгоритмов, используемых для идентификации и реконструкции распадов  $J/\psi \rightarrow e^+e^-$ . Это позволило оценить возможности по ускорению процесса обработки данных наблюдения за счет использования средств высокопроизводительных вычислений. В частности, на примере критерия согласия  $\omega_n^k$ , используемого для идентификации заряженных частиц с помощью детектора TRD, соискателем показано, что с помощью средств векторизации программного кода и распараллеливания вычислений между ядрами CPU, можно существенно ускорить процесс вычислений. В результате выполненного анализа также были выявлены "слабые" места в цепочке используемых методов, над которыми предстоит работа в будущем.

В заключение приводятся основные результаты выполненных исследований, обсуждается их научная новизна и практическая ценность, отмечается личный вклад соискателя в проведенные исследования.

Таким образом, в диссертационной работе развиты эффективные методы и быстрые вычислительные алгоритмы, которые позволят проводить надежную идентификацию и реконструкцию редких распадов  $J/\psi \rightarrow e^+e^-$  с помощью экспериментальной установки СВМ в условиях доминирующего адронного фона.

По тексту и содержанию диссертации имеются следующие замечания:

1. Подписи по осям на рисунках сделаны на английском языке.
2. В подписях к рисункам, взятым из других источников (рис. 1-4 и т.п.), следует указывать ссылки на эти источники.
3. Помимо регистрации  $J/\psi$ -мезона в диэлектронном канале его также можно идентифицировать по распаду на пару мюонов с противоположными знаками, однако в работе нет никаких сведений о данном канале распада.
4. В разделе 5.2, на страницах 84 и 85 говорится, что для дополнительного увеличения производительности использовалась графическая карта Nvidia GTX 448. Вероятно, в тексте присутствует описка, поскольку такой модели видеокарты не существует. Из приведенного далее по тексту характеристик карты, можно предположить, что имелась в виду одна из следующих видеокарт: Nvidia GTX 470, GTX 560 Ti 448, GTX 660Ti, GTX 670.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации, которая представляет собой законченное исследование в рамках выдвинутых целей и имеет как научное, так и практическое значение.

Разработанные в диссертации подходы и методы являются эффективными инструментами анализа данных с возможностью их применения не только в эксперименте СВМ.

Основные результаты работы опубликованы, в том числе 5 статей в рецензируемых журналах, и представлены специалистам, работающим в областях

экспериментальной ядерной физики, математических методов обработки данных и численных методов на научных семинарах и конференциях российского и международного уровня.

Автореферат и публикации полностью отражают содержание диссертационной работы. По актуальности, объему и научному уровню рассматриваемая работа полностью соответствует требованиям п.9 “Положения о присуждении ученых степеней”, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор - Дереновская Ольга Юрьевна заслуживает присуждения ей искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности “05.13.18 - математическое моделирование, численные методы и комплексы программ”.

Официальный оппонент,  
доктор физико-математических наук,  
профессор Национального исследовательского  
ядерного университета “МИФИ”

Н.В. Щукин