



## НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»  
(НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ)

мкр. Орлова роща, д. 1, г. Гатчина, Ленинградская область, 188300  
Телефон: (81371) 4-60-25, факс: (81371) 3-60-25. E-mail: dir@pnpi.nrcki.ru  
ОКПО 02698654, ОГРН 1034701242443, ИНН 4705001850, КПП 470501001

### УТВЕРЖДАЮ

№ 10

« 04 » июня 2018 г.



Заместитель директора по научной работе  
НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ

 д.ф.-м.н. **В.В. Воронин**

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» на диссертацию **Овчаренко Егора Владимировича «Разработка методов моделирования, сбора и анализа данных физических установок и их применение для детектора RICH эксперимента СВМ»**, представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Изучение свойств плотно сжатой ядерной материи в столкновениях тяжелых ионов – одно из наиболее интенсивно развивающихся направлений современной ядерной физики. Интерес к таким экспериментам обусловлен уникальной возможностью исследования уравнения состояния сильновзаимодействующего вещества в областях фазовой диаграммы, недостижимых иными способами. Получаемые данные способствуют уточнению теоретических представлений КХД и лучшему пониманию эволюции Вселенной.

Эксперимент CBM на строящемся ускорительном комплексе FAIR в Дармштадте (Германия) нацелен на исследование барионной материи при высоких плотностях и относительно низких температурах в столкновениях ионов от углерода до урана с энергией в ЦМ до  $\sqrt{s_{NN}} = 8.6$  ГэВ/нуклон. Особенностью этого эксперимента является высокая частота взаимодействий (до  $10^7$  с<sup>-1</sup>), что выделяет CBM из ряда других экспериментов по изучению столкновений тяжелых ионов.

Диссертация Е.В. Овчаренко посвящена разработке черенковского детектора кольцевого изображения (RICH) эксперимента CBM. Этот детектор служит для идентификации электронов и позитронов, что, в свою очередь, необходимо для исследования свойств сгустка ядерной материи путем регистрации дилептонных пар от распадов родившихся в сгустке  $J/\psi$  и  $\psi'$  частиц и легких векторных мезонов.

Для эксперимента CBM характерны жесткие условия эксплуатации. Сотни частиц, рождающиеся в столкновениях ионов, взаимодействуя с материалом детекторов, приводят к появлению множества фоновых сигналов, что затрудняет поиск и реконструкцию физических наблюдаемых. Высокая частота взаимодействий не позволяет сформировать классический триггер на полезные события, в результате чего должна быть реализована схема со свободным запуском каждого канала электроники и дальнейшим построением события на основании временных отметок. Этими условиями определяется важность и актуальность описанных в диссертации работ, включающих в себя разработку и применение методики тщательного учета и оптимизации распределения вещества в детекторе, а также изучение особенностей и характеристик бестриггерной системы считывания и сбора данных CBM RICH.

Диссертационная работа имеет общий объем 137 страниц, состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 109 наименований.

**Во введении** рассмотрены фазовая диаграмма сильновзаимодействующего вещества и эволюция сгустка ядерного вещества в столкновениях тяжелых ионов. Обсуждаются возможности экспериментального исследования состояния этого сгустка с помощью различных физических наблюдаемых. Приведен обзор действующих и планируемых экспериментов в данной области исследований – STAR(RHIC), ALICE(LHC), MPD(NICA), CBM(FAIR). Показано уникальное место эксперимента CBM в этом ряду.

**В 1-й главе** кратко охарактеризован ускорительный комплекс FAIR, перечислены основные составляющие комплекса и направления планируемых

исследований. Рассматриваются задачи эксперимента СВМ на FAIR и условия его эксплуатации. Кратко описаны все системы экспериментальной установки СВМ. Приведён обзор некоторых ранее построенных детекторов черенковских колец, оказавших влияние на разработку СВМ RICH. В конце первой главы сформулированы конкретные задачи, решаемые в диссертационной работе. Эти задачи можно отнести к двум направлениям.

Первое направление посвящено проблеме обмена геометрическими моделями между системами автоматизированного проектирования (САПР) и системами моделирования прохождения частиц через вещество GEANT4/ROOT. В этих двух классах программных инструментов применяются принципиально разные подходы для представления геометрических моделей. Автоматический перевод между представлениями ограничен, а в некоторых случаях совершенно невозможен. **Во 2-й главе** диссертации предлагается новая методика построения геометрических моделей для систем GEANT4 и ROOT на основе конструкторской 3-мерной модели. Данная методика была реализована для САПР CATIA v5 и формата обменного файла GDML, воспринимаемого GEANT4 и ROOT, в виде пакета «CATIA-GDML Geometry Builder».

Разработанный инструментарий предоставляет широкие возможности по интеграции инженерного проекта с Монте-Карло расчетами. Данные возможности были применены для оптимизации конструкции и компоновки детектора черенковских колец RICH эксперимента СВМ, описанной **в 3-й главе**. Проработаны форма зеркал фокусирующей системы, форма фоточувствительной камеры, конструкция механических опор детектора, магнитного экрана и RICH-секции пучковой трубы. В результате оптимизации, только за счёт изменения геометрии детектора, эффективность была увеличена на несколько процентов. Отметим реализацию в модели неидеального позиционирования сегментов зеркал, что имеет большое практическое значение для определения ожидаемых характеристик детектора и может быть применено по аналогии во множестве других проектов.

Второе направление диссертации посвящено исследованию прототипа системы считывания и сбора данных СВМ RICH (сссд). **В 4-й главе** описаны архитектура и особенности ссд. Для регистрации черенковских фотонов применяется многоанодный (МА) ФЭУ, на поверхность фотокатода которого, с целью повышения эффективности регистрации фотонов, наносится сместитель спектра. МА ФЭУ имеет оригинальную диодную систему типа «metal channel», сигнал от МА ФЭУ поступает на плату усилителя-дискриминатора, после чего регистрация осуществляется ВЦП, выполненным на базе FPGA. Для

максимально точной регистрации временной отметки используется счётчик на основе цифровой линии задержки с отводами. В потоке данных присутствуют только временные отметки, а информация об амплитуде может быть получена косвенно, через время-над-порогом, вычисленное из зарегистрированных временных отметок. Для быстрого ввода данных в компьютер предусмотрен узел, называемый FLIB. Далее рассмотрены алгоритмы и модули ПО, необходимые для настройки и эксплуатации ссд и разработанные в рамках принятого в коллаборации программного комплекса CbmRoot при значительном участии автора.

**Глава 5** посвящена исследованиям, направленным на более глубокое понимание работы ссд и выявление факторов влияющих на эффективность регистрации черенковских колец.

Получены следующие основные результаты: продемонстрирована работоспособность концепции ввода данных через FLIB, исследовано влияние метода калибровки счетчика точного времени на достижимое временное разрешение, исследовано временное разрешение ссд и различные вклады в него а также зависимость временного разрешения от количества каналов, участвующих в определении этой величины. Исследован профиль высвечивания сместителя спектра при возбуждении черенковскими фотонами, выявлены недостатки тракта для измерения времени-над-порогом и оценено влияние этих недостатков на работу ссд с учетом перспективы деградации прибора. Проведено оригинальное сравнение амплитудных спектров одиночных фотоэлектронов при регистрации двумя способами – с записью амплитуд и временных отметок, что позволило прийти к необходимому для успешного создания CBM RICH пониманию зависимости эффективности регистрации фотонов от порога.

**В заключении** сформулированы основные результаты работы.

Диссертация Е.В. Овчаренко является завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержатся решения актуальных задач, имеющих большое значение для коллаборации CBM. Работа соответствует указанной специальности и прошла широкую апробацию, её основные результаты неоднократно представлялись на международных конференциях в России и за рубежом. По теме диссертации опубликовано 12 работ в рецензируемых журналах. Диссертация четко структурирована и написана ясным языком. Автореферат соответствует тексту диссертации.

Для полноты картины стоит отметить некоторые недостатки. Раздел 2.6.8 «Избранные подробности реализации «CATIA-GDML Geometry Builder»

содержит важную информацию, но не является необходимым для понимания сути выполненных работ, и его было бы целесообразно поместить в приложение. Кроме того, имеется некоторое количество жаргонизмов, например «вдоль круговой оси  $\varphi$ ». Указанные недостатки не влияют на качество полученных результатов и высокую оценку работы в целом.

Диссертация Е.В. Овчаренко «Разработка методов моделирования, сбора и анализа данных физических установок и их применение для детектора RICH эксперимента CBM» соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание учёной степени кандидата наук, установленным в «Положении о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, а её автор, Овчаренко Егор Владимирович, безусловно, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертация доложена автором, заслушана, обсуждена и одобрена на открытом семинаре Лаборатории релятивистской ядерной физики Отделения физики высокой энергии НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ 14 мая 2018 года.

Отзыв подготовил:

Заведующий лабораторией  
Релятивистской ядерной физики  
Отделения физики высокой энергии  
НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ,  
д.ф.-м.н.



**В.М.Самсонов**  
samsonov\_vm@pnpi.nrcki.ru

**Контакты ведущей организации:**

ФГБУ «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».  
188300, Ленинградская область, г. Гатчина, мкр. Орлова роща, д. 1.  
Тел. +7(81371) 460-25, E-mail: dir@pnpi.nrcki.ru.