

## ОТЗЫВ

**официального оппонента Волкова Алексея Анатольевича на диссертацию Финогеева Дмитрия Андреевича на тему «Разработка бестриггерной потоковой системы сбора данных переднего адронного калориметра эксперимента CBM» по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики, представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук.**

Диссертационная работа Финогеева Д. А. посвящена разработке и тестированию системы сбора данных для переднего адронного калориметра PSD (Projectile Spectator Detector) в эксперименте CBM (Compressed Baryonic Matter) на ускорительном комплексе FAIR (г. Дармштадт, Германия).

Основным направлением исследований в эксперименте CBM будет изучение области фазового перехода барионного вещества в кварк-глюонную плазму при высокой плотности ядерной материи, образующейся при взаимодействии тяжелых ядер в области малых прицельных параметров. Сечения для таких процессов достаточно малы, поэтому придется работать с высокой интенсивностью пучка ядер (до  $10^9$  ионов в секунду) при предельных нагрузках частицами детекторов. Такая постановка эксперимента накладывает высокие требования к эффективному отбору полезных событий в процессе их регистрации. Передний адронный калориметр Projectile Spectator Detector (PSD) установки CBM будет использоваться для отбора центральных столкновений тяжелых ядер. Поэтому актуальной задачей стало создание система сбора данных для данного калориметра, которая должна обеспечит высокую эффективность регистрации редких процессов.

Достоинством и новизной работы является регистрация сигналов фотодетекторов без общего триггера, определяет заряд и время каждого события и обеспечивает разделение сигналов при их наложении друг на друга. Измерение времени события выполняется синхронно со всеми детекторами эксперимента. Помимо этого, система сбора данных обеспечивает интеграцию детектора PSD в эксперимент CBM, осуществляет передачу данных при загрузке детектора до 1 МГц на канал и обеспечивает управление детектором PSD.

В диссертационной работе приводится полное описание требований, выдвигаемых к системе сбора данных переднего адронного калориметра эксперимента CBM. Дается подробное описание как электроники системы сбора данных, так и описание разработанных логических схем ПЛИС для плат ADC и CRI. Также, в работе приводятся результаты тестирования

разработанной системы сбора данных на собранном стенде в ИЯИ РАН и вспомогательной установке mCBM. В данной работе применен новый подход для проектирования систем сбора данных с детекторов в ядерной физике: прямая передача аналоговых сигналов на значительное расстояние без использования активной электроники в зоне расположения детектора с высоким радиационным фоном.

Во **введении** диссертационной работы обосновывается актуальность и новизна выполненной работы, формулируются цели и задачи разработки системы сбора данных переднего адронного калориметра эксперимента CBM. В **первой главе** приводится краткое описание эксперимента CBM на ускорительном комплексе FAIR и его системы сбора данных, ее архитектуры и функциональные особенности. Также приводится описание установки mCBM, которая позволяет испытывать прототипы детекторных систем и систему сбора и анализа эксперимента CBM в условиях максимально приближенных к эксплуатационным на эксперименте CBM. Во **второй главе** описывается передний адронный калориметр и его конструкция, приводятся результаты изучения отклика калориметра на тестовых пучках T9 и T10 на ускорителе PS в ЦЕРНе. В **третьей главе** представлена разработка логической структуры ПЛИС платы ADC и части логической структуры ПЛИС “Detector Specific Part” платы CRI. Продемонстрированы функциональные схемы, принцип работы и функциональные возможности разработанных логических структур ПЛИС. В **четвертой главе** приводится описание созданного в ИЯИ РАН стенда, который позволяет разрабатывать логическую структуру ПЛИС для плат ADC и CRI. Приводятся результаты интегрирования разработанной системы сбора данных в установку mCBM и демонтируются результаты тестов прототипа детектора PSD на тестовых пучках установки mCBM в условиях приближенных к эксплуатационным на эксперименте CBM. В **заключении** приведены основные результаты работы.

По диссертационной работе следует отметить следующие замечания:

1. На рисунке 2.14 показан спектр от космических мюонов «из которого видно разделение полезного сигнала от шума на уровне  $2\sigma$ ». Однако, не приводятся ни значения, ни функция аппроксимации распределений амплитудного спектра и пьедестала из которых можно определить разделение в  $2\sigma$ .
2. В главе 3, на стр. 65 сказано, что для каждого канала выполняется «вычисление базовой линии сигнала и ее уровень шума.». В работе дается формула для вычисления уровня базовой линии сигнала, но отсутствует алгоритм вычисления уровня шума базовой линии. Неясно, каким образом выполнялась оценка шумов и как эти данные

использовались или планируется использовать при эксплуатации детектора.

3. В работе не сказано какова зависимость определения времени сигнала от его амплитуды и необходима ли амплитудно-временная коррекция, и как она будет реализована.

Несмотря на приведенные замечания, диссертация является законченной и целостной работой дающей вклад в современную область разработки детекторных систем в ускорительной физике. В диссертационной работе хорошо представлена методология проектирования системы сбора данных, которая может быть применена при проектировании современных детекторов и в приборостроении.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы. Диссертационная работа отвечает всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор, Финогеев Дмитрий Андреевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 - приборы и методы экспериментальной физики.

Дата: 20.07.2022 г.

Официальный оппонент,  
ведущий научный сотрудник,  
исполняющий обязанности начальника  
Лаборатории инклюзивных процессов  
Отделения экспериментальной физики  
НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ,  
доктор физико-математических наук

Волков А. А. \_\_\_\_\_

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», 142281, Московская область, город Протвино, площадь Науки, дом 1.  
fgbu@ihep.ru, 8 (496)-771-36-23

Подпись Волкова Алексея Анатольевича заверяю:  
Ученый секретарь НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ

Прокопенко Н. Н. \_\_\_\_\_

Волков Алексей Анатольевич

Доктор физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Список основных публикаций по теме рецензируемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. М.Ю. Боголюбский, А.А. Волков и др., Реконструкция треков в детекторе на дрейфовых камерах и трубках модифицированной установки ФОДС на ускорительном комплексе У-70 // ПРИБОРЫ И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА, № 5 (2019), стр. 26-36.
2. М.Ю. Боголюбский, А.А. Волков и др., Определение импульса заряженных частиц по таблице решений с полиномиальной аппроксимацией на установке ФОДС // ПРИБОРЫ И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА, № 5 (2019), с. 37-43.
3. А.Г. Афонин, М.Ю. Боголюбский, А.А. Волков и др., Измерение сечений инклюзивного образования заряженных адронов в переднем направлении в углерод-углеродных столкновениях при энергии пучка 19.6 ГэВ/нуклон // Ядерная физика, Т. 83 № 2 (2020), с. 140-148.
4. A.G. Afonin, M.Yu. Bogolyubsky, A.A. Volkov et. al., Forward production of nuclear fragments in CC collisions at beam energy 20.5 GeV/nucleon // Nuclear Physics A, V 997 (2020), 121718.
5. А.Г. Афонин, М.Ю. Боголюбский, А.А. Волков и др., А-зависимость образования в переднем направлении заряженных адронов и ядерных фрагментов в СРb и СС-взаимодействиях при энергии пучка 19.6 ГэВ/нуклон // Ядерная физика, 2021, Т 84 № 4 (2021), с. 339-347.
6. M.Yu. Bogolyubsky, A.A. Volkov et. al., Analytical solutions in amplitude and time measurements from discrete sampling of pseudo-Gaussian signals // Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 1003 (2021) 165289