

ОТЗЫВ

официального оппонента И. В. Яшина на диссертацию Финогеева Дмитрия Андреевича «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. на тему «Разработка бестриггерной потоковой системы сбора данных переднего адронного калориметра эксперимента CBM» выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН). Диссертация посвящена разработке и испытанию бестриггерной системы сбора данных для детектора PSD (Projectile Spectator Detector) эксперимента CBM (Compressed Baryonic Matter).

Физическая программа эксперимента CBM направлена на исследование свойств сильно сжатой ядерной материи, которая образуется в столкновениях тяжелых ионов при энергиях 2 – 11 АГэВ. В этом эксперименте будут исследоваться выходы дилептонов, коллективные потоки идентифицированных адронов, рождение гиперядер, распределения по множественности и поперечному импульсу заряженных частиц и их флуктуации, а также и другие наблюдаемые характеристики в зависимости от энергии и центральности столкновения. Центральность столкновения в эксперименте CBM предполагается определять как по измерению множественности заряженных частиц в трековых детекторах установки, так и по измерению выделенной энергии частиц (в основном частиц-спектаторов налетающего ядра), попавших в аксептанс переднего адронного калориметра PSD. Идентификация гиперонов, гиперядер, частиц с очарованными кварками и векторных мезонов, распадающихся на лептонные пары, требует эффективного подавления фоновых событий при очень высокой интенсивности ядро-ядерных взаимодействий. Для регистрации таких редких событий они

должны быть реконструированы во время набора данных и отделены от фоновых событий алгоритмами, использующими данные со всех детекторных систем. В эксперименте CBM используется потоковая (бестриггерная) регистрация данных, что является новой экспериментальной техникой в области сбора данных в ядерной физике высоких энергий. Актуальной задачей является разработка системы сбора данных для детектора PSD и его интеграции в эксперимент CBM для обеспечения передачи данных с детекторов без общего триггера.

Разработанная в диссертации система сбора данных обеспечивает работу калориметра при загрузках до 1 МГц на канал и регистрацию событий без общего триггера в диапазоне от 2.5 мВ до 1.5 В. В разработанной системе сбора данных не используются предусилители для сигналов фотодетекторов, расположенных в зоне с высоким радиационным фоном. Сигналы от фотодетекторов передаются напрямую на плату АЦП по длинным коаксиальным кабелям. Такая архитектура позволяет добиться максимального динамического диапазона и является новым подходом проектирования детекторных систем в ядерной физике. Следует отметить, что при проектировании системы сбора данных, была использована готовая электронная плата. Использование готовых сборочных устройств при проектировании, снижает затраты и время на разработку, повышает надежность системы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографии и приложения.

Во **введении** приводятся цели и задачи диссертационной работы, обосновывается актуальность поставленных задач и новизна подхода к их решению.

В **первой главе** дается краткое описание строящегося эксперимента CBM на ускорителе FAIR (Facility for Antiproton & Ion Research). Приводится описание детекторных систем и системы сбора данных эксперимента CBM. Также дается краткое описание экспериментальной установки mCBM (mini-CBM) позволяющей проводить тестирование прототипов детекторов на тестовом пучке.

Во **второй главе** описывается передний адронный калориметр PSD и приводятся результаты его тестирования на тестовых пучках T9/T10 в ЦЕРНе. Описывается выбор электронных плат для оцифровки сигналов фотодетекторов и приводится схема системы сбора данных калориметра.

Третья глава посвящена интеграции платы ADC для калориметра PSD в систему сбора данных эксперимента CBM. В этой главе описывается схема тактовых сигналов, алгоритм синхронизации передатчика GBT и метод обработки данных в логической структуре ПЛИС платы ADC. Также, дается описание разработанной автором части логической структуры ПЛИС платы CRI отвечающую за обработку данных детектора PSD.

Четвертая глава посвящена тестированию разработанной системы сбора данных на испытательном стенде в ИЯИ РАН и на установке mCBM. Приводится подробное описание разработанного испытательного стенда, позволяющего вести сбор данных с платы ADC по протоколу GBT, и проверить интеграция прототипа детектора PSD – mPSD на установку mCBM. В этой главе приводятся полученные автором результаты тестирования разработанной системы сбора данных на тестовых пучках, демонстрирующие ее корректную работу будучи интегрированной в установку mCBM.

В **заключении** приведены основные результаты работы, которые заключаются в следующем:

1. Испытана плата ADC, разработанная в университете Uppsala (г. Уппсала, Швеция) для электромагнитного калориметра эксперимента PANDA, с целью изучения возможности ее использования для оцифровки и считывания сигналов с адронного калориметра установки CBM. Было показано разделение шумового пьедестала от минимального сигнала 1 MIP на уровне 2σ , и возможность оцифровки сигналов на частоте дискретизации 80 МГц. На основе полученных результатов, было принято решение изменить модификацию входного контура платы ADC и использовать только один канал усиления для оцифровки сигналов фотодетекторов PSD и

не использовать входной фильтр. По результатам теста данной платы по регистрации аналоговых сигналов с фотодетекторов калориметра PSD, было принято решение использовать эту плату ADC для системы сбора данных калориметра PSD.

2. Передатчик GBT был интегрирован в плату ADC для синхронизации тактовых сигналов, временной синхронизации и передачи данных с детектора PSD в систему сбора данных эксперимента CBM. Для этого была разработана система переключения тактовых сигналов с внутреннего генератора платы ADC на принимаемый тактовый сигнал по GBT. Система переключения тактовых сигналов позволяет обеспечить синхронность тактов АЦП платы ADC к системе сбора данных эксперимента CBM, и измерение времени событий в детекторе PSD относительно других детекторных систем эксперимента. Была проведена оптимизация скорости перестройки PLL для устойчивой работы передатчика GBT во время переключения тактовых сигналов. Синхронизация тактовых сигналов и передача данных по протоколу GBT между платами ADC и системой сбора данных CBM была испытана во время пучковых сеансов и показала стабильную непрерывную работу в течение более 300 часов.
3. Разработана логическая структура ПЛИС для платы ADC для оцифровки сигналов фотодетекторов и обработки данных с детектора PSD. Логическая структура ПЛИС позволяет регистрировать оцифрованные сигналы от фотодетекторов по превышению сигналом порога, измерять время сигнала синхронно ко всем детекторам эксперимента CBM, измерять заряд зарегистрированного сигнала, отправлять форму сигнала и его заряд в систему сбора данных эксперимента CBM. Набор данных выполняется без общего триггера с максимальной загрузкой детектора 1~МГц на канал. Также, разработанная логическая структура ПЛИС обеспечивает управление периферийной электроникой системы сбора данных детектора PSD по протоколу I2C.
4. Разработана часть логической структуры ПЛИС “Detector Specific Part”

(DSP) платы “CRI” (Common Readout Interface), которая является основным элементом системы сбора данных эксперимента CBM. Модуль DSP обеспечивает временную синхронизацию плат ADC детектора PSD в эксперименте CBM по протоколу GBT. Временная синхронизация обеспечивается синхронной передачей временных меток, относительно которых выполняется измерение времени события во всех детекторных системах эксперимента CBM. Модуль DSP обеспечивает сортировку данных детектора PSD и осуществляет управление системой сбора данных детектора PSD по протоколу GBT.

5. Для тестирования электроники системы сбора данных калориметра PSD и разработки логической структуры ПЛИС платы ADC, в ИЯИ РАН автором был создан стенд на базе платы «FTM board». Данный стенд позволяет собирать данные платой ADC по протоколу GBT на персональный компьютер и управлять электроникой системы сбора данных. Прототип детектора PSD -- mPSD был установлен на mCBM и интегрирован в общую систему сбора данных установки mCBM для проведения тестов на пучках при скоростях набора данных близким к ожидаемым на CBM. Показана временная корреляция между детекторными системами mPSD и другими детекторными системами mCBM. Измеренные амплитудные спектры при регистрации фрагментов ядер и полученный энергетический профиль согласуются с данными, полученными в результате симуляции. Полученные экспериментальные результаты показывают корректную работу системы сбора данных калориметра PSD в условиях максимально приближенных к эксплуатационным.

Общие замечания по диссертации:

1. Какие фотодетекторы рассматривались для использования в детекторе PSD и по каким причинам был выбран HAMAMATSU S14160-3010P? В диссертационной работе отсутствует обоснование выбора HAMAMATSU MPPC S14160-3010P. Кроме того в разделе 2.1.1

Фотодетекторы калориметра PSD почему то приведены краткие характеристики другого MPPC S12572-010P. Обоснование выбора на основе требований физической установки хорошо бы дополнил представленную работу.

2. Одним из результатов тестирования электроники являются амплитудные спектры от фрагментов ядер (рис. 2.16, стр. 52). Сказано, что «данные измерения продемонстрировали возможность оцифровки сигналов с кремниевых фотодетекторов платой ADC», однако качественный анализ спектров, такой как измерение энергии фрагментов ядер или сравнение спектров с симуляцией не приводится. Также, про данные спектры сказано, что «использование двух усилителей, приводит к «разрыву» энергетического спектра». Скорее всего, данный «провал» в амплитудных спектрах является несогласованностью коэффициентов усиления двух каналов и может быть скомпенсирован соответствующей настройкой.
3. По результатам экспериментальных тестов принято решение в плате ADC использовать только один канал усиления и не использовать входной фильтр. Обоснованность данного решения в диссертации не приводится.
4. В третьей главе дается подробное описание тактовых сигналов логической структуры ПЛИС для приема и обработки данных, однако отсутствует схема синхронизации ПЛИС с АЦП при использовании компонентов SERDES. Описание этой сложной части логической структуры ПЛИС хорошо бы дополнило материал третьей главы.

Представленные замечания не снижают общей высокой оценки диссертационной работы, которая представляет собой законченный научный труд. Достоверность полученных результатов диссертационной работы, а также ее новизна и актуальность не вызывает сомнений. Основные результаты работы опубликованы в ведущих научных журналах, входящих в перечень ВАК, и представлены на международных научных конференциях. Автореферат

диссертации правильно и полно отражает содержание диссертации. Диссертация Финогоева Дмитрия Андреевича удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013, (п.9-14), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент,
ведущий научный сотрудник,
Лаборатории космической рентгеновской и гамма-астрономии НИИЯФ МГУ,
кандидат физико-математических наук

Яшин И. В. _____

Дата: 28.07.2022 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобельцына, 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2.
ivn@eas.sinp.msu.ru 8 (495) 939-50-88

Подпись Яшина И. В. Удостоверяю,
Ученый секретарь НИИЯФ МГУ кандидат физико-математических наук

_____ Сигаева Екатерина Александровна

Яшин Иван Васильевич,
Кандидат 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. И. Панасюк, В. М. Липунов, И. Пак ...И.В.Яшин. Комплекс приборов для исследования гамма-всплесков на спутнике Ломоносов // *Физика элементарных частиц и атомного ядра*. — 2018. — Т. 49, № 1. — С. 190–196.
2. V. V. Benghin, O. Y. Nechaev, ...I.V.Yashin. An experiment in radiation measurement using the DEPRON instrument // *Space Science Reviews*. — 2018. — Vol. 214, №. 1. — P. 1–20. DOI: 10.1007/s11214-017-0445-6
3. В. В. Богомолов, Г. А. Досовицкий, ...И.В.Яшин. Временные и спектральные характеристики детекторов на основе неорганического сцинтиллятора СЕ:GAGG при использовании вакуумных и кремниевых фотоприемников // *Приборы и техника эксперимента*. — 2020. — Т. 63, № 5. — С. 1–9. DOI: 10.31857/S0032816220050092
4. V. V. Bogomolov, Y. N. Dementiev,... I.V. Yashin... et al. Advanced gamma detector for cubesats // *Advances in the Astronautical sciences*. — 2020. — Vol. 173. № AAS 20-254— P. 537-543.
5. A. V. Bogomolov, V. V. Bogomolov, A. F. Iyudin ...Yashin Ivan V....et al.Space weather effects from observations by Moscow university cubesat constellation // *Universe*. — 2022. — Vol. 8. — P. 282. DOI: 10.3390/universe8050282
6. M. Battisti, D. Barghini, A. Belov ...I.Yashin.....et al. Overview of the Mini-EUSO μ s trigger logic performance // *Proceedings of Science*. — 2021. — Vol. 395. — P. 306. DOI: 10.22323/1.395.0306
7. M. Korzhik, K. T. Brinkmann,I.Yashin....et al. Detection of neutrons in a wide energy range with crystalline Gd₃ Al₂ Ga₃ O₁₂, Lu₂ SiO₅ and La Br₃ doped with Ce (GAGG) scintillators // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. — 2019. — Vol. 931. — P. 88–91. DOI: 10.1016/j.nima.2019.04.034