

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук
Каржавина Владимира Юрьевича
на диссертационную работу

Эпштейна Леонида Борисовича
«Первичный триггер электромагнитного калориметра эксперимента COMET»,
представленную в диссертационный совет 24.1.162.01 на базе
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института ядерной физики им. Г.И. Будкера
Сибирского отделения Российской академии наук
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 1.3.2 Приборы и методы экспериментальной физики

Актуальность темы диссертационной работы

Эксперимент COMET (Coherent Muon to Electron Transition) — это физический эксперимент на комплексном ускорителе J-PARC в Токае, Япония, целью которого является поиск редкого процесса — когерентной конверсии мюона в электрон (с энергией ~ 105 МэВ) в поле атомного ядра ($\mu^- + N \rightarrow e^- + N$) без излучения нейтрино. Для транспортировки частиц и анализа их импульсов в эксперименте COMET применена уникальная система изогнутых сверхпроводящих соленоидов. Конверсия мюона в электрон является одним из процессов нарушения аромата заряженных лептонов (cLFV— Charged Lepton Flavor Violation). В рамках Стандартной Модели этот процесс запрещен и его вероятность предсказывается на крайне малом уровне порядка 10^{-54} . В то же время многие теоретические модели Новой Физики предсказывают процесс конверсии μ -е с вероятностью порядка 10^{-17} . Чувствительность эксперимента COMET планируется получить на уровне 10^{-17} или выше, что на несколько порядков превышает чувствительность предыдущих экспериментов. В современной физике элементарных частиц экспериментальное подтверждение существования процесса конверсии мюона в электрон без излучения нейтрино станет неопровержимым доказательством существования Новой Физики, выходящей за рамки Стандартной Модели.

Триггерная система, в частности первичный триггер электромагнитного калориметра, играет важнейшую роль в достижении беспрецедентной чувствительности эксперимента COMET, выполняя вклад в подавление фона и обеспечивая отбор полезных событий по измеренному энерговыделению с разрешением не хуже 5%.

В связи с вышеизложенным, тема диссертационной работы, посвященная разработке, изготовлению и подготовке к работе в эксперименте первичного триггера электромагнитного калориметра эксперимента COMET, представляется актуальной как с научной, так и прикладной точек зрения. Результаты диссертационного исследования имеют большое значение для создания аналогичных триггерных систем экспериментов в области физике элементарных частиц.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертационной работе Эпштейна Л. Б., подкреплена выступлениями и обсуждениями полученных результатов на трех международных конференциях по электронике для физики элементарных частиц. Доклады опубликованы в трудах конференций. Диссертант многократно выступал с докладами и обсуждениями на совещаниях коллаборации COMET. Результаты диссертации опубликованы в семи печатных и электронных изданиях, индексируемых международными базами данных Web of Science и Scopus. Пять из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК, и две работы опубликованы в электронных изданиях сборников докладов научных конференций. В процессе выполнения диссертационной работы автором получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Исследования диссертационной работы поддержаны Российским фондом фундаментальных исследований.

Оценка научной новизны исследования

В научной работе Эпштейна Л. Б. получен ряд новых результатов:

1. Создана электроника системы первичного триггера электромагнитного калориметра, которая обеспечивает подавление больших фоновых загрузок и отбор полезных событий в реальном времени.
2. Разработаны специализированные алгоритмы обработки сигналов для оценки энергии в ячейках электромагнитного калориметра и выделения электронов с характерным для конверсии импульсом ~ 105 МэВ/с. Результаты тестирования на стенде и на выведенном пучке электронов показали, что алгоритм работает корректно.
3. Создана аппаратура для тестирования электроники системы первичного триггера и разработано соответствующее программное обеспечение.
4. Все модули и блоки электроники отлажены и проверены для работы в условиях эксперимента.
5. Разработаны методики контроля и оперативного управления электроникой в эксперименте.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов

Теоретической значимостью работы является повышение вероятности обнаружения физики за рамками Стандартной Модели или установление более жесткого ограничения на процесс когерентной конверсии мюона в электрон в поле ядра без излучения нейтрино. Созданная система первичного триггера для регистрации событий в рамках эксперимента COMET позволит получить уникальные результаты по поиску нарушения закона сохранения лептонного числа в заряженном секторе с недоступной на данный момент точностью. Стандартная Модель предсказывает исчезающе малую вероятность исследуемого процесса порядка 10^{-54} . Данные эксперимента, полученные с помощью разработанной системы первичного триггера, должны позволить поставить предел в 3×10^{-17} в предполагаемом безнейтринном процессе конверсии электрона в мюон.

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные в рамках диссертационной работы результаты могут быть использованы для разработки триггерных систем на основе алгоритмов кластеризации для электромагнитных

калориметров экспериментов в области физики элементарных частиц и атомного ядра. Кроме этого, может быть применен успешный опыт создания стендов и программного обеспечения для проверки параметров электронной системы первичного триггера.

Общая оценка диссертационной работы

Диссертацию Эпштейна Л. Б. отличают комплексность и целостность исследования включающее анализ требований к разрабатываемой системе первичного триггера, моделирование физических параметров и свойств, удовлетворяющих условиям эксперимента, разработку и изготовление электронных модулей системы на базе современных программируемых логических интегральных схем больших размеров. Автором разработан алгоритм анализа данных и поиска кластеров по информации, считываемой с кристаллов электромагнитного калориметра. Алгоритм учитывает статистические флуктуации развития электромагнитного ливня и позволяет обеспечить получение уникальной чувствительности эксперимента в условиях большого радиационного фона. С помощью моделирования радиационных нагрузок определено оптимальное место расположения электроники первичного триггера. Проведены испытания радиационной стойкости электронных компонентов, применяемых в модулях системы первичного триггера. Создано электронное оборудование и программное обеспечение для настройки и проверки параметров электроники системы первичного триггера. Проведено комплексное испытание созданной системы в космических лучах и на выведенном пучке электронов, результаты которых соответствуют требованиям эксперимента. Разработана методика контроля и управления электроникой первичного триггера в эксперименте.

Все вышеотмеченное производит хорошее впечатление и показывает комплексный подход автора к решению научных задач по созданию первичного триггера электромагнитного калориметра эксперимента COMET. Достоверность результатов работы подтверждается апробацией на научных международных конференциях, публикациями в реферируемых журналах.

Перечисленные ниже недостатки не умаляют научную значимость и новизну настоящей диссертации:

- Результаты радиационного теста (параграф 3.4) показывают, что исследуемые стабилизаторы отрицательного напряжения не обладают повышенной радиационной стойкостью. Получены пределы устойчивой работы микросхем (см, таблицу В1) до величины поглощенной дозы гамма-квантов 200 Гр и 430 Гр. Величина коэффициента безопасности составляет соответственно 1 и 2 или 2 и 4 для расположения электроники в области-В (рис.3,15). В работе не указано какие микросхемы стабилизаторов выбраны.
- На стр. 5. 2.2×10^{-13} 90% доверительной - пропущена буква с перед 90%.
- На стр. 10. выведенном - пропущена буква н - выведенном.
- На стр. 28. измерения основных фоновых событий, - лишняя запятая.
- На стр. 30. протипов платы EROS - пропущены буквы - прототипов.
- На стр. 71. событий, зарегистрированных - пропущены запятые (событий, зарегистрированных внешней системой, и событий, зарегистрированных ..).
- На стр. 88. Исходящие - правильно: исходящие.

В целом диссертация Эпштейна Леонида Борисовича является законченным научным исследованием, в котором решены поставленные задачи. Основные положения, выносимые на защиту диссертации, хорошо продуманы, а результаты и выводы четко сформулированы. Уровень задач, решенных автором в диссертационном исследовании, соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Содержание диссертации соответствует заявленной научной специальности. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

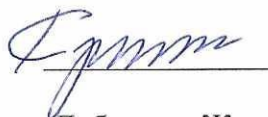
Исходя из вышесказанного, считаю, что диссертация выполнена на высоком научном уровне. Актуальность и новизна полученных результатов представляет несомненную практическую ценность для создания экспериментальных установок для научных исследований в области физики элементарных частиц и атомного ядра.

Представленная диссертация является самостоятельным и завершенным научным исследованием. Несмотря на имеющиеся замечания, диссертационная работа Эпштейна Леонида Борисовича «Первичный триггер электромагнитного калориметра эксперимента СОМЕТ» удовлетворяет всем требованиям, установленным пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики.

Я, Каржавин Владимир Юрьевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Эпштейна Леонида Борисовича, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

Начальник научно-экспериментального отдела физики на CMS, Лаборатории физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина, Международной межправительственной научно-исследовательской организации Объединенный институт ядерных исследований, доктор технических наук (специальность 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики).



Каржавин Владимир Юрьевич

Адрес: 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6.

Телефон: +7 (496) 216-50-59, E-mail: vkarjavin@jinr.ru

«14» сентября 2026 г.

Подпись Каржавина В. Ю. заверяю.

Ученый секретарь ЛФВЭ ОИЯИ.



Чеплаков Александр Павлович

«14» сентября 2026 г.

