

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. директора по научной работе Федерального
Государственного Бюджетного Учреждения Науки

Институт Ядерных Исследований РАН,

кандидат физико-математических наук,

А.Г. Панин



«17» сентября 2026г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального Государственного Бюджетного Учреждения науки Института Ядерных Исследований РАН о научно-практической значимости диссертации Эпштейна Леонида Борисовича на тему: «Первичный триггер электромагнитного калориметра эксперимента COMET» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 1.3.2. «Приборы и методы экспериментальной физики».

Актуальность избранной темы.

Выработка первичного триггерного решения выбранного соискателем в качестве диссертационного исследования является важнейшей составляющей в постановке задачи на создание современного эксперимента.

Целью эксперимента COMET является поиск когерентной конверсии мюона в электрон в поле ядра без излучения нейтрино. В этом эксперименте нет физических совпадений, и необходимое сигнальное решение будет отбираться по измеренному в координатной системе импульсу, для чего предназначен электромагнитный калориметр эксперимента.

Актуальность избранной темы внятно описана и подтверждается дальнейшим исследованием.

Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Соискателем создана уникальная система первичного триггера, анализирующая форму входных импульсов электромагнитного калориметра эксперимента COMET, работающая в режиме реального времени.

На базе ПЛИС соискателем создан уникальный алгоритм анализа сигналов с групп кристаллов в реальном времени. Эффективность достигнутого аппаратного решения

выработки триггера подтверждается сравнимостью полученного энергетического разрешения 4,5% с полученными результатами в «офлайн» обработке записанных данных.

Таким образом, выводы, сформулированные в диссертации, соответствуют описанным характеристикам триггерной системы.

Значимость для науки и производства (практики) полученных автором диссертации результатов.

Созданная система запуска 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, меньше 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.

Опыт создания и проверки электронной системы на стенде с использованием сигнала с генератора и сигналов от частиц космического излучения, а также на выведенном пучке электронов в течение нескольких сезонов. Полученные в рамках диссертационной работы результаты исследования имеют большое значение для создания аналогичных систем запуска регистрации и «онлайн» обработки сигналов на современных экспериментах по физике элементарных частиц.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений.

Разработанная триггерная система на основе радиационно апробированных элементов принята к эксплуатации в эксперименте COMET. Работоспособность и стабильность заявленных параметров системы первичного триггера проверены на стенде и выведенном пучке электронов.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом.

Диссертация представляет собой целостное и последовательное научное исследование, посвященное постановке задачи, обоснованию частичных ее положений, внятное изложение положений вынесенных на защиту. Четко прослеживается связь между основной физической задачей эксперимента COMET и триггерной системой электромагнитного калориметра представленной соискателем на защиту.

Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения и 4 приложений. Полный объем диссертации составляет 99 страниц, включая 65 рисунков и 7 таблиц. Список литературы содержит 47 наименований.

Замечания по работе.

В целом диссертационное исследование представлено полно, все результаты описаны подробно и корректно. Есть, конечно, и мелкие упущения, например, на рисунке 3.33 не указана размерность амплитудных отсчетов на левом графике.

Не избежал автор и некоторой небрежности в использовании терминов и наименований, так, например подпись под рисунком 3.38 гласит «Модернизированная блок-схема электромагнитного калориметра», хотя на рисунке представлена блок-схема лабораторного стенда проверки электроники электромагнитного калориметра от генератора импульсов.

Несмотря на указанные недостатки в основном материалы диссертации и автореферата представлены с подобающим качеством и без ошибок.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации.

Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения и 4 приложений. Структура диссертации и автореферата соответствуют друг другу. Во введении автореферата описана актуальность темы, определены цель и задачи исследования, приведены новизна и значимость работы, а также перечислены положения, выносимые на защиту. Первая глава посвящена общему описанию эксперимента СОМЕТ. Вторая глава посвящена описанию основных элементов электромагнитного калориметра, общему описанию триггерной системы детектора и системы сбора данных. В третьей главе дано детальное описание системы первичного триггера электромагнитного калориметра, приведены результаты испытаний разработанной электроники и алгоритма обработки входных сигналов на стенде и на выведенном пучке электронов.

Подтверждения опубликованных основных результатов диссертации в научной печати.

Список литературы содержит 47 наименований. Каждому из вынесенных на защиту положений соответствуют публикации в период с 2018 по 2025 гг, соответствующие требованиям ВАК.

Так же в перечень документов входит *Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программное обеспечение для триггерной системы электронного калориметра эксперимента СОМЕТ».*

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным

Положением о присуждении, лишении, восстановлении ученых степеней.

Диссертация соответствует критериям, установленным Положением о присуждении, лишении, восстановлении ученых степеней.

Актуальность избранной темы внятно описана и подтверждается как самой постановкой задачи на поисковый эксперимент СОМЕТ, так и решением задачи на

разработку детектора, одной из основных частей которого, является представленная в диссертации система выработки триггера. Выводы, сформулированные в диссертации, соответствуют описанным характеристикам триггерной системы. Созданная система запуска 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. Разработанная триггерная система на основе радиационно апробированных элементов принята к эксплуатации в эксперименте COMET. Работоспособность и стабильность заявленных параметров системы первичного триггера проверены на стенде и выведенном пучке электронов.

Заключение. Сделанные замечания не влияют на общую высокую оценку работы. Диссертационная работа Эпштейна Л.Б. является законченным научным исследованием и соответствует специальности «1.3.2 - Приборы и методы экспериментальной физики». Автореферат верно отражает содержание диссертации.

Таким образом, диссертация Эпштейна Л.Б. «Первичный триггер электромагнитного калориметра эксперимента COMET» удовлетворяет 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, Эпштейн Леонид Борисович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики.

Отзыв составлен Усенко Евгением Анатольевичем, кандидатом физико-математических наук, научным сотрудником Отдела Экспериментальной Физики, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения науки Института Ядерных Исследований РАН.

Научный сотрудник

Отдела экспериментальной физики ИЯИ РАН

кандидат физико-математических наук,

специальность 1.3.2. «Приборы и методы экспериментальной физики»

Адрес: 117312, Москва, проспект 60-летия Октября 7а, Тел.: +7(495)850-42-48

Эл.почта: Usenko@inr.ru

17 сентября 2026г.



Евгений Анатольевич Усенко

Отзыв обсужден и одобрен на заседании научно-технического совета Отдела
Экспериментальной Физики, Федерального государственного бюджетного учреждения
науки Института Ядерных Исследований РАН

17 сентября 2026 года, протокол № 17

Председатель научно-технического
совета Отдела Экспериментальной
Физики Института Ядерных
Исследований РАН, академик РАН
Адрес: 117312, Москва, проспект 60-
летия Октября 7а, Тел.: +7(495)850-42-48
Эл.почта: tkachev@inr.ru

17 сентября 2026г.



Игорь Иванович Ткачев

Подпись заверяю:

Заведующая отделом кадров ИЯИ РАН



Елена Александровна Горшкова