

## Отзыв официального оппонента

на диссертацию Холоденко Сергея Анатольевича  
«Система сцинтилляционных годоскопов эксперимента NA62»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.23 — «физика высоких энергий»

Настоящая диссертация посвящена созданию и эксплуатации сцинтилляционных годоскопов, используемых в эксперименте «Фабрика Каонов» (NA62). Основной целью эксперимента является изучение сверхредких распадов К-мезонов, в частности определение вероятности распада  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ . Вероятность этого распада, с одной стороны, может быть с высокой точностью предсказана в рамках Стандартной модели, а другой стороны, оказывается очень чувствительна к физике, выходящей за рамки этой модели. Такое соотношение определяет высокий интерес современной науки к экспериментам типа «Фабрики Каонов». Именно поиск следов Новой Физики обеспечивает высокую **актуальность** темы представленной работы. Система сцинтилляционных годоскопов является одной из существенных составляющих детектора, необходимой для успеха эксперимента. Необходимость получения высокой статистики каонов ( $10^{13}$ ), на фоне которой должен быть выделен исследуемый редкий распад накладывает очень серьезные требования на все элементы детектора, в частности на годоскопы. Требование работы детектора в условиях высокой интенсивности выведенного пучка (750 МГц) при подавлении фоновых событий на уровне  $\sim 10^{12}$  демонстрирует **новизну** темы диссертации. Эксперимент NA62, ведущийся в Северной Зоне комплекса выведенных пучков высокой интенсивности ЦЕРН является одним из лидеров в своей области, гарантируя **высокий научный уровень** диссертации. Коллаборация NA62 включает 30 институтов из 14 стран и более двухсот авторов, что обеспечивает высокий уровень внутренней экспертизы качества

проводимых исследований. Результаты, лежащие в основе диссертации опубликованы в научных журналах и докладывались автором на совещаниях коллаборации, российских и международных конференциях. Это свидетельствует о **достоверности** и **обоснованности** научных положений и выводов, изложенных в диссертации.

Приведем коротко содержание диссертации и ее наиболее интересные по моей субъективной оценке результаты.

Во **Введении** кратко рассказывается о физике исследуемого редкого распада К-мезона, начиная с истории открытия самого К-мезона. Особое внимание уделено связи вероятности данного распада с проверкой унитарности матрицы Кабиббо-Кобаяши-Маскава и поиском Новой Физики. В конце введения следуют необходимые для диссертации разделы: актуальность темы, цель работы, научная новизна, практическая значимость, личный вклад автора, апробация работы, положения, выносимые на защиту, публикации, структура и объем диссертации.

**Глава 1** посвящена описанию экспериментальной установки “Фабрика Каонов” (NA62), расположенной на выведенном пучке высокой интенсивности ускорительного комплекса ЦЕРН. Дается достаточно подробное описание всех частей установки и их связи с регистрацией редкого распада каона  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ . Отдельное внимание уделено описанию годоскопов MUV0, MUV3, CHOD и ANTI-0, созданию и эксплуатации которых посвящена настоящая диссертация.

Замечания: понимание установки для читателя может быть существенно облегчено улучшением рис. 1.2 и его описания. Из данной схемы очень сложно понять соотношение между элементами установки, их геометрическое расположение и на что конкретно указывают имеющиеся надписи. На схеме отсутствует основной анализирующий магнит MNP33 и ничего не говорится о направлении и величине поля. Кроме того, ни в подписи под рис. 1.2, ни в тексте рядом с ним нет расшифровки элементов установки. Говорится только о канале K12, который на рис. 1.2 отсутствует.

В **Главе 2** автор излагает исследования характеристик сцинтилляционных счетчиков для годоскопов CHOD и ANTI-0. В первую очередь, подробно описывается изучение временных и амплитудных характеристик возможных конструкций счетчиков. Исследования проводились как на космических лучах, так и на пучках ускорителей в ИФВЭ и DESY. Особый интерес представляет выполненное автором и коллегами сравнение прямого считывания света и считывания с помощью спектросмещающих волокон. В исследовании также сравнивается использование SiPM и обычных ФЭУ. В результате исследования для годоскопа CHOD выбор сделан в пользу использования спектросмещающих волокон, а для ANTI-0 в пользу прямого считывания, что обусловлено существенно разным использованием годоскопов в эксперименте. От CHOD требуется хорошее временное разрешение на уровне выработки триггера, а от ANTI-0 на уровне анализа, когда можно учесть зависимость регистрируемого времени от координаты частицы.

Замечания: следует отметить, что приведенная в работе оценка количества фотоэлектронов (стр. 86) является приближенной как для ФЭУ, так и для SiPM. Для ФЭУ формула 2.7 дает заниженное число фотоэлектронов, так как не учитывает вклад в флуктуации сигнала эффекта размножения на динодах, особенно первых. Для типичного ФЭУ это обуславливает недооценку реального числа фотоэлектронов на 15-30%. Для SiPM расстояние между двумя соседними пиками на рис. 2.13 (справа) соответствует, строго говоря, не одному фотоэлектрону, а срабатыванию одной ячейки (пикселя). Существующий в SiPM эффект взаимосвязи ячеек (crosstalk) приводит срабатыванию в среднем больше чем одной ячейки на фотон.

В **Главе 3** рассказывается об испытании об испытании прототипа годоскопа во время пилотного сеанса эксперимента NA62. В прототипе было установлено 17 счетчиков из 152 в полном объеме детектора. Испытание продемонстрировало удовлетворительную работу прототипа, позволило выявить ряд технологических проблем и наметить пути их решения.

Заслуживает внимания вывод о необходимости при реализации полного годоскопа пойти на некоторое ухудшение характеристик в пользу повышения надежности конструкции. В частности было принято решение о выводе обеих групп спектросмещающих волокон с одной стороны пластин сцинтиллятора и об использовании волокон KURARAY Y11 тип S, которые обладают меньшей прозрачностью по сравнению с классическими волокнами Y11, но большей гибкостью, а значит устойчивостью к повреждениям при сборке и транспортировке.

Замечания: при описании экспозиции на пучке упоминается в качестве задающего триггер годоскоп NA48 CHOD, по видимому, предшественник годоскопа с тем же названием, создаваемого для NA62, но читатель может об этом только догадываться, так же как и о его положении и устройстве. Было бы интересно увидеть сравнение CHOD NA62 с его предшественником из NA48.

**Глава 4** описывает работу годоскопа CHOD в сеансах 2016-18 гг. Полученные данные демонстрируют работу детектора с высокой эффективностью как на плато ( $99.5 \pm 0.1\%$ ), так и в среднем по плоскости годоскопа ( $98.9 \pm 0.1\%$ ) и хорошим временным разрешением  $\sigma = 0.77 \pm 0.01$  нс. Все это вместе с успешной работой остальных систем детектора дало возможность зарегистрировать 20 событий, идентифицированных как распад  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ , при ожидаемом уровне фона 7 событий.

Замечания: графики, приведенные на рис. 4.2, по-видимому относятся к 2016 году, до экспозиции детектора на пучке и получения радиационных повреждений. Было бы очень интересно увидеть аналогичные графики, набранные в 2018 году, когда напряжение на детекторе пришлось уменьшить.

В **Заключении** кратко изложены основные результаты диссертационной работы.

Представленная диссертация содержит прекрасный экспериментальный материал, полученный при существенном участии автора. Работа написана хорошо и характеризует автора как зрелого физика, успешно работающего в

составе большой международной коллаборации. Качество материала, его актуальность и научная новизна не вызывают сомнений. Автореферат диссертации соответствует ее содержанию. Все вынесенные на защиту результаты опубликованы в 6 изданиях, входящих в список ВАК, представлялись автором на российских и международных конференциях. Изложенные в отзыве замечания не влияют на основные результаты и не уменьшают их достоверность и качество. Диссертационная работа С.А. Холоденко является законченным научным исследованием, содержащим новые результаты по физике элементарных частиц. Считаю, что настоящая диссертация полностью соответствует всем критериям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23, а автор заслуживает присуждения указанной степени.

кандидат физико-математических наук, начальник лаборатории ФГБУ  
«Институт теоретической и экспериментальной физики имени А.И. Алиханова»  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» - ИТЭФ  
117218 Россия, Москва, ул. Большая Черемушkinsкая, 25  
Тел. 8(499)789-66-29, e-mail: igor.alekseev@itep.ru

Игорь Геннадьевич Алексеев

«16» апреля 2021 г.

Подпись Алексеева И.Г. удостоверяю.

Ученый секретарь НИИ «Курчатовский институт» - ИТЭФ



В. В. Васильев