

"Утверждаю"

Директор Института ядерной физики им.
Г.И.Будкера СО РАН,

Академик

П.В.Логачев



[Handwritten signature]
04

2021 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук; сокращенное - ИЯФ СО РАН 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.

Диссертационная работа Холоденко Сергея Анатольевича относится к актуальной области физики элементарных частиц – поиску отклонений от предсказаний Стандартной Модели (СМ) и поиску Новой Физики в редких распадах адронов. Несмотря на то, что в настоящее время СМ успешно описывает широкий круг явлений и пока не найдено достаточно достоверных отклонений от ее предсказаний, имеется целый ряд указаний на ее неполноту. В первую очередь таким указанием является большое число параметров СМ. Сюда же можно отнести также нейтринные осцилляции и ненулевую массу нейтрино, наличие барионной асимметрии Вселенной, а также существование темной материи. Таким образом, поиск явлений, не описываемых СМ, является чрезвычайно важным.

Рассматриваемая диссертационная работа посвящена разработке и созданию подсистем экспериментальной установки NA62 (ЦЕРН), на которой проводится эксперимент по прецизионному измерению вероятности сверхредкого распада $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$. Расчет в рамках СМ дает для этой величины значение $(8.4 \pm 1.0) \times 10^{-11}$. Для достижения целей данного эксперимента необходим набор данных, соответствующий 10^{13} распадов каонов при уровне подавления фона $\sim 10^{12}$. Эти условия накладывают жесткие требования на все системы детектора. В данной работе описаны разработка, создание и опыт эксплуатации системы сцинтилляционных годоскопов эксперимента NA62. Представлен также анализ работы годоскопа CHOD в первом сеансе 2016 - 2018 гг, полученные в этом сеансе результаты и перспективы дальнейших исследований. Диссертация на 165 страницах содержит введение, четыре главы, заключение и список литературы из 107 ссылок.

Во введении приведена мотивация данного исследования, рассмотрены основные положения СМ, касающиеся редких распадов каонов, изложены история и недавние резуль-

таты в этой области. Обоснованы актуальность, научная новизна, теоретическая и практическая ценность работы, указан личный вклад соискателя, а также дана общая характеристика и описана структура диссертационной работы.

В первой главе подробно описан эксперимент «Фабрика каонов» (NA62), рассмотрены все системы экспериментальной установки, включая систему сцинтилляционных годоскопов, являющуюся предметом данной работы. Эта система представляет собой четыре независимых сцинтилляционных годоскопа, MUV0, MUV3, CHOD и ANTI-0, созданных с использованием различных технологий. Годоскопы MUV0, MUV3 и ANTI-0 предназначены для подавления фоновых событий, а детектор вторичных частиц CHOD генерирует входную информацию для триггера.

Вторая глава посвящена проведенному в работе детальному изучению различных методов регистрации сцинтилляционного света с элементов годоскопов – пластин пластмассового сцинтиллятора различной формы и размеров. Изучались эффективность светосбора, однородность световыходов, а также временное разрешение счетчиков при использовании в качестве фотоприемников кремниевых фотоумножителей и обычных ФЭУ. Измерения проводились при использовании световодов различного типа, а также с прямой регистрацией света. Исследования проводились с использованием космических лучей, и на выведенных пучках ускорительных комплексов У-70 (Протвино), PS и SPS (ЦЕРН) и DESY (Гамбург). В результате этих исследований были выбраны оптимальные варианты съема светового сигнала для каждого из годоскопов.

В третьей главе описан тестовый сеанс 2015 года с прототипом годоскопа CHOD с 10% полного числа счетчиков. При этом прототип был установлен на штатное место в составе NA62. Измерения проводились с малой интенсивностью адронного пучка с отбором событий распада $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu_\mu$. По результатам этих измерений был выявлен ряд конструктивных недостатков, которые были устранены на стадии сборки полноразмерного детектора.

В четвертой главе представлены характеристики годоскопа CHOD, измеренные в эксперименте NA62 в сеансах 2016—2018 гг. Временное разрешение счетчиков составило около 1 нс, что соответствует требованиям эксперимента. В этой главе также представлены результаты по измерению относительной вероятности изучаемого распада. В наборе данных 2018 года было зарегистрировано 13 событий изучаемого процесса при уровне ожидаемого фона 5.28.

В заключении диссертации сформулированы основные результаты, полученные в данной работе.

Актуальность данной диссертационной работы связана с важностью определения области применимости СМ и поиску явлений, не описываемых этой моделью. Перспективным направлением для этого является проверка СМ и поиск Новой Физики в редких распадах каонов. Создание систем экспериментальной установки для точного измерения распада $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$, вероятность которого в рамках СМ составляет $(8.4 \pm 1.0) \times 10^{-11}$, является целью данной диссертационной работы.

Научная новизна определяется тем, что до настоящего времени не было измерений изучаемого процесса с заявленной точностью (~10%). Такая точность накладывает особо жесткие требования на экспериментальную установку, в первую очередь это требование высокой эффективности регистрации событий изучаемого распада при подавлении фона на уровне 10^{12} . В рамках данной работы разработаны, созданы и эксплуатируются четыре сцинтилляционных годоскопа, которые позволяют проводить исследования с выведенным пучком высокой интенсивности.

Научная и практическая значимость работы состоит в том, что разработанная и созданная в рассматриваемой работе система сцинтилляционных годоскопов позволяет исследовать редкие и сверхредкие распады каонов в составе экспериментальной установки NA62. Результаты данной работы и разработанные методы могут быть использованы для создания подобных детекторов в экспериментах на LHC, U-70, NICA и в других лабораториях.

Личный вклад автора диссертации в описанное исследование является определяющим. Вынесенные на защиту результаты получены автором лично, либо при его определяющем участии.

Достоверность полученных в данной работе результатов не вызывает сомнений. Она подтверждена многочисленными измерениями параметров отдельных сцинтилляционных пластин и прототипов годоскопов с использованием космических частиц и тестовых пучков. Работа годоскопов в эксперименте NA62 в 2016—2018 гг. продемонстрировала полное соответствие их характеристик требованиям эксперимента.

В целом работа выполнена на высоком уровне, изложена ясно и хорошим языком. Выскажем лишь несколько замечаний.

Первое замечание касается структуры диссертации. На стр.22, в разделе «Цель работы», написано, что «целью диссертационной работы является создание и обеспечение стабильной работы системы сцинтилляционных годоскопов для эксперимента NA62», состоящей из четырех детекторов. Далее эти детекторы перечисляются. Эти четыре годоскопа упомянуты также в разделах «Научная новизна» и «Практическая значимость». Однако под заголовком «Положения, выносимые на защиту» упомянуты только два детектора – CHOD и ANTI-0, работы с которыми подробно описаны в главах 2-4. Следовало бы дать какие-то пояснения или не упоминать MUV3 и MUV0 среди целей данной работы, так как описанных в данной работе исследований с двумя годоскопами вполне достаточно для кандидатской диссертации.

На стр.56 описаны сцинтилляционные пластины, изготовленные из 3-х блоков сцинтиллятора СЦ-1. Было бы полезно написать что-то о размере блоков, а также о процедуре резки и полировке граней. Об этом остается только догадываться, глядя на замечательную фотографию Рис.1.30.

В разделе 2.1, среди факторов, влияющих на временное разрешение, не упомянута статистика фотоэлектронов (разброс времен появления ф.э.), влияние которого вполне вероятно, учитывая небольшое их число в импульсе и время высвечивания сцинтиллятора.

На Рис.2.5, 2.6 по оси абсцисс указаны амплитуды только в каналах АЦП. Для понимания характеристик дискриминатора было бы полезно указать амплитуды в мВ.

Расположение экспериментальных точек на Рис.3.6 (слева) производит впечатление наличия порогового эффекта. Так ли это, или есть другие объяснения? Поскольку основная доля WLS волокна находится вне сцинтиллятора, можно предположить, что зависимость средней амплитуды от длины волокна должна определяться затуханием в нем. В этом случае, было бы полезно привести расчетные (или хотя бы оценочные) зависимости этих величин.

Имеется также ряд мелких неточностей и опечаток. Например, на стр. 59 сказано, что «один фотодиод с чувствительной областью 3×3 мм² вычитывает не более четырех WLS-волокон». Однако на Рис.1.32 на этой же странице, изображающим «Схематический вид отдельного сцинтилляционного счетчика, просматриваемого двумя независимыми фотоприемниками», на каждый фотоприемник приходится 8 волокон.

В формуле 2.1 знак минус перед f не нужен.

Утверждение на стр.92, «Можно видеть, что увеличение размеров пластины приводит к ухудшению временного разрешения на примере регистрации света с грани сцинтиллятора размером $100 \times 100 \text{ мм}^2$ и $90 \times 90 \text{ мм}^2$ » не выглядит очевидным, если посмотреть в Табл.2.3. Если для R7400-U разрешение слегка ухудшается, хотя и в пределах статистической погрешности, для SensL SiPM заметно улучшение при переходе от пластины $90 \times 90 \text{ мм}^2$ к $100 \times 100 \text{ мм}^2$.

В левой колонке Табл.2.4 на стр.98 следует заменить нс на пс. То же относится и к Табл.2.5.

Перечисленные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации, представляющей собой законченное исследование. Достоверность выводов и результатов диссертации, а также их новизна и актуальность не вызывают сомнений. Основные результаты работы опубликованы в ведущих научных журналах, входящих в перечень ВАК, и представлены на российских и международных научных конференциях. Автореферат диссертации правильно и полно отражает содержание диссертации.

Диссертация Холоденко Сергея Анатольевича удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 2409, (п.9-14), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 - физика высоких энергий.

Отзыв составил
доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник лаб.3-3 ИЯФ СО РАН
Почтовый адрес:
630090, Новосибирск, пр. акад. Лаврентьева д.11
тел. +7-383-3294376, e-mail: shwartz@inp.nsk.su

Б.А.Шварц

Отзыв на диссертацию обсуждался и был одобрен на заседании Секции физики элементарных частиц Ученого Совета ФГБУН ИЯФ СО РАН.

Ученый секретарь ИЯФ СО РАН
кандидат физ.-мат. наук

А.С. Аракчеев