

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института

\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

“ \_\_\_\_\_ “ \_\_\_\_\_ 2024 г.

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОДЛЕНИЯ ПРОЕКТА NA62

### 1. Общие сведения о проекте

1.1. Шифр темы 02-1-1096-2010

1.2. Шифр проекта 02-1-1096-1-2010/2027

1.3. Лаборатория

*Лаборатория физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина*

1.4. Научное направление

*Физика элементарных частиц и релятивистская ядерная физика*

1.5. Наименование проекта

*Измерение редкого распада  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$  на CERN SPS (эксперимент NA62)*

1.6. Руководитель проекта *В.Д. Кекелидзе*

1.7. Заместитель руководителя проекта *Д.Т. Мадигожин*

### 2. Научное обоснование и организационная структура

#### 2.1. Аннотация

Проект является продолжением пяти этапов проекта NA62, реализованных в ЛФВЭ ОИЯИ в 2010-2024 гг. Целью всех этапов проекта является участие в реализации эксперимента NA62 в SPS CERN, в рамках которого планируется измерение очень редкого распада  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$ , которое станет решающим испытанием Стандартной модели (СМ) посредством измерения параметра матрицы Кабиббо-Кобаяши-Маскавы (ККМ)  $V_{td}$  с точностью порядка 10%. Стратегия эксперимента NA62 основана на измерении распадов каонов высоких энергий на лету. Большой поток каонных распадов, необходимый для такого измерения, позволяет планировать ряд параллельных прецизионных измерений для редких мод распада каона,

позволяющих проверить применимость СМ и киральной теории возмущений (ChPT), которая обеспечивает низкоэнергетическое приближение для описания сильных взаимодействий. Реализация проекта NA62 позволит значительно продвинуться в понимании проблемы CP-нарушения, точно измерить характеристики сверхредкого распада положительно заряженного каона на пион и два нейтрино, осуществить поиск суперсимметричных частиц и их партнеров с целью обнаружения физики за пределами Стандартной модели, а также уточнить параметры распадов заряженных каонов. Группа ОИЯИ активно участвует в анализе экспериментальных данных с целью измерения свойств ряда редких распадов, а также намерена участвовать в сборе новых данных в сеансах 2024 и 2025 года. Публикации, выпущенные по результатам этой работы при определяющем вкладе сотрудников нашего института, станут основой для нескольких кандидатских диссертаций. Во время сеансов группа ОИЯИ будет сопровождать детекторы магнитного спектрометра высокого разрешения, созданные на базе тонкостенных дрейфовых трубок (строу), работающих в вакууме. Будет продолжена разработка нового детектора спектрометра с трубками малого диаметра. Созданная при этом технология создания трекеров для высокой интенсивности пучков внесёт вклад в обеспечение лидерства ОИЯИ в области детекторов на основе строу-трубок. Будет развито программное обеспечение NA62 для моделирования, обработки и анализа накопленных экспериментальных данных, пригодное и для применения в экспериментах ОИЯИ.

## 2.2. Научное обоснование

### 2.2.1 Цель проекта

Целью проекта является участие в эксперименте NA62 на SPS в CERN, где планируется измерение очень редкого распада каона  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$ , чтобы провести решающую проверку Стандартной модели (СМ) путём измерения параметра матрицы Кабиббо-Кобаяши-Маскава (ККМ)  $V_{td}$  с точностью порядка 10%. Проект является продолжением пяти этапов проекта NA62, реализованного в ЛФВЭ ОИЯИ в 2010-2024 гг.

### 2.2.2 Актуальность и научная новизна

Используя обозначения Вольфенштейна для матрицы ККМ, взаимосвязь между её параметрами  $\rho$  и  $\eta$  может быть представлена треугольником унитарности, показанным на Рис. 1 слева. «Золотые моды»  $K^0 \rightarrow \pi^0 \nu \nu$  и  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$  дают возможность сделать очень чувствительные тесты СМ, так как их вероятности напрямую связаны с  $\eta^2$  (высота треугольника) и  $(\rho - 1.4)^2 + \eta^2$ . Прогнозы СМ для вероятностей этих двух распадов имеют точность до 2% и 8% соответственно. Наблюдение значительных отклонений от предсказаний, было бы несомненным свидетельством явления за пределами СМ.

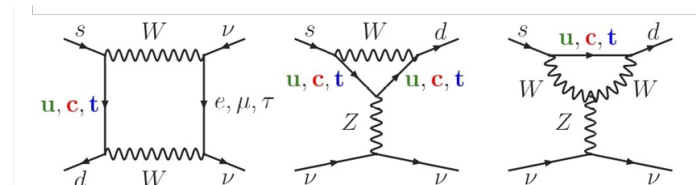
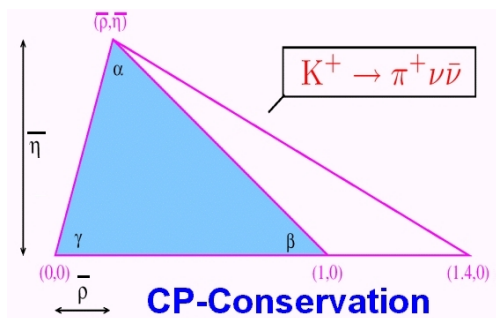


Рис. 1. Слева: вероятность распада  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$  определяет длину правой стороны треугольника унитарности. Справа: фейнмановские диаграммы этого распада в рамках Стандартной Модели.

Задача эксперимента NA62, подробное описание которого дано в [1,2,3,4], заключается в том, чтобы зарегистрировать порядка 100 событий распада  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$  и сохранить малую систематическую погрешность. Это будет значительным улучшением по сравнению с доступными ранее результатами E787 и E949 [5], основанными всего на 7 событиях золотой моды. Для этой цели требуется по крайней мере  $2 \times 10^{13}$  распадов  $K^+$  в предположении 10% акцептанса сигнала и относительной вероятности распада  $10^{-10}$ . Низкая систематическая неопределенность требует коэффициента подавления для типичных распадов каонов порядка  $10^{12}$  и возможности измерять эффективность регистрации и факторы подавления фона непосредственно из данных.

Большой поток каонов позволяет искать другие редкие распады каонов и изучать их характеристики, включая проверку существования суперпартнёров фермионов Голдстоуна [6-8]. Серия прецизионных измерений может быть проведена для редких мод распада каонов, чтобы проверить справедливость киральной теории возмущений (ChPT). Поиск редких распадов, запрещенных или подавленных в рамках СМ, открывает возможность открыть новую физику или установить новые пределы применимости СМ и некоторых ее расширений. Он включает поиск легких кандидатов в темную материю, которые могут образовываться при распадах редких каонов, в том числе — тяжелого нейтрального лептона [9].

До эксперимента NA62 наиболее точные экспериментальные результаты были получены в экспериментах E787 и E949 на BNL при изучении распадов остановившихся каонов [5]:

$BR(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = (1.73^{+1.15}_{-1.05}) \times 10^{-10}$ . За исключением эксперимента NA62, других измерений этой моды в настоящее время не проводится и не планируется. Существующий разрыв между теоретической точностью и большой экспериментальной ошибкой побуждает к серьезным экспериментальным усилиям. Значительные новые ограничения могут быть получены при измерении вероятности этого распада с точностью порядка 10%.

В ходе предыдущих периодов реализации проекта экспериментальная установка NA62 была построена и испытана в 2014 году на пучках CERN SPS. Специалисты ОИЯИ и ЦЕРН обеспечили строительство и установку детекторов трековых спектрометров, спроектированных и построенных на двух этапах проекта NA62, завершенных ранее в ОИЯИ (в 2010–2012 и 2013–2015 годах). После того, как строу-камеры спектрометра были смонтированы в составе экспериментального детектора NA62 в 2014 г. (Рис. 2), было измерено их фактическое положение, проведены вакуумные испытания строу-детекторов, смонтирована система газоснабжения. Установлено четыре модуля питания (MPOD) и разработан интерфейс управления ими, интегрированный в систему медленного управления NA62. Для

проектирования и изготовления спектрометра был выполнен ряд важных методических работ [10-13].



Рис. 2. Стру-камера, собранная из 2 модулей (слева) и ее монтаж в экспериментальную установку NA62 (справа).

Во время физического сеанса NA62 в 2016 г. был проведен стабильный сбор данных при интенсивности  $13 \times 10^{11}$  протонов за сброс на мишени, используемой для генерации потока каонов (40% от номинальной интенсивности). Интенсивность ограничивалась временной структурой пучка, что приводило к увеличению максимальных значений интенсивности пучка, которые были намного выше, чем ожидалось. В результате внутренняя электроника некоторых детекторов не могла обрабатывать данные на пиках интенсивности. После обновлением прошивок электроники для сеансов NA62 в 2017-2018 годах сбор данных производился с 60% номинальной интенсивности. Другой важной причиной снижения статистической значимости достигнутого в настоящее время результата NA62 является неожиданный размер фона со стороны входящего пучка, который в дальнейшем был подавлен с помощью дополнительной защиты и лучшего измерения характеристик каонов.

До сбора данных за 2018 год была улучшена радиационная защита. Стойки с электроникой для охлаждающих станций KTAG, CHANTI и GTK были оборудованы дополнительными бетонными блоками. В стойки электроники KTAG добавлена нейтронная защита (карбид бора). Чтобы уменьшить фон со стороны пучка, влияющий на анализ  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$ , была изменена схема прохождения пучка перед распадным объемом. Основными модификациями являются: оптимизированная компоновка ахромата, 4-я станция GTK и новая система счётчиков вето вокруг пучковой трубы. Было проведено тщательное изучение источников неэффективности всей системы TDAQ с использованием всей доступной зарегистрированной информации. С апреля 2019 года дополнительные усилия были сосредоточены на улучшении процедур калибровки нескольких детекторов, включая новую энергетическую калибровку LKг с использованием фотонов от распадов  $\pi^0$ , разработанную группами ОИЯИ и Перуджи.

В 2021 году был опубликован новый результат NA62 по исследованию распада  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$ , основанный на данных, собранных в 2016-2018 гг. [14,15,16]. Чувствительность к одному событию составила  $(0,839 \pm 0.054) \times 10^{-11}$ , что соответствует 10,0 событиям Стандартной Модели. Наблюдается 20 кандидатов в сигналы, тогда как ожидаемый фон составляет 7 событий, что соответствует статистической значимости наблюдения сигнала 3,4  $\sigma$ . Это привело к наиболее точному на данный момент измерению вероятности распада  $BR(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu) = (10.6^{+4.0}_{-3.4} \pm 0.9_{\text{syst}}) \times 10^{-11}$ , что согласуется с ожиданием Стандартной

Модели  $(8.4 \pm 0.1) \times 10^{-11}$ . На Рис. 3 показаны кандидаты для данных 2018 года, которые составляют примерно 80% от полного набора данных 2016-2018 гг., прямоугольниками показана область сигнала, которая была закрыта до завершения анализа.

Вклад ОИЯИ как в уже завершённую, так и в текущую деятельность NA62 весьма существенен. В частности, с самого начала проекта группа ОИЯИ совместно с ЦЕРН отвечала за создание и работу ключевого детектора – спектрометра NA62 (трекер STRAW). Вклад ОИЯИ в создание спектрометра был определяющим во многих аспектах: НИОКР, моделирование на стадии проектирования, выбор геометрии строу, конструирование рамок, изготовление строу (более 7000 в ОИЯИ), сборка модулей. Во время экспериментальных запусков NA62 в 2016-2024 гг. член группы ОИЯИ (С. Шкаровский) был официальным экспертом, ответственным за работу спектрометра и за систему управления детектором (DCS).

В октябре 2019 года эксперимент NA62 представил Дополнение 1 к проекту P326 в SPSC, предлагая продолжить физическую программу после Второй длительной остановки LHC (LS2), и получил одобрение.

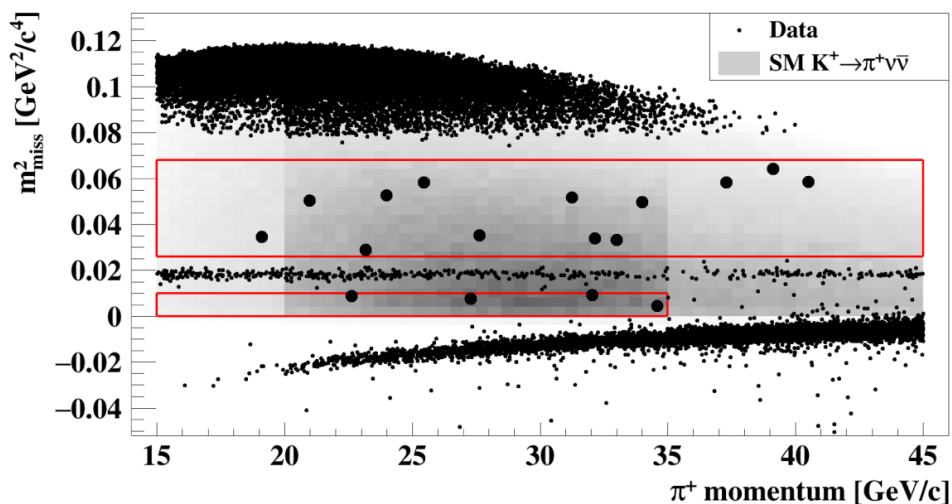


Рис. 3. Квадрат недостающей массы в зависимости от импульса пиона для кандидатов распада  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ , отобранных в данных NA62, зарегистрированных в 2018 году.

### 2.2.3 Методы и подходы

Стратегия продолжающегося эксперимента NA62 основана на измерении распадов высокоэнергетических  $K^+$  в полете. В этом случае сечение образования каонов оптимизируется в зависимости от энергии протонов, а регистрация фотонов эффективна из-за их высоких энергий в лабораторной системе.

Экспериментальная установка NA62 (Рисунок 4) включает следующие детекторные системы:

**CEDAR** идентифицирует компоненту  $K^+$  в пучке по отношению к другим частицами пучка с помощью усовершенствованного дифференциального счетчика Черенкова.

Гигатрекер (**ГТК**) состоит из трех кремниевых микропиксельных станций, измеряющих время, направление и импульс частиц пучка.

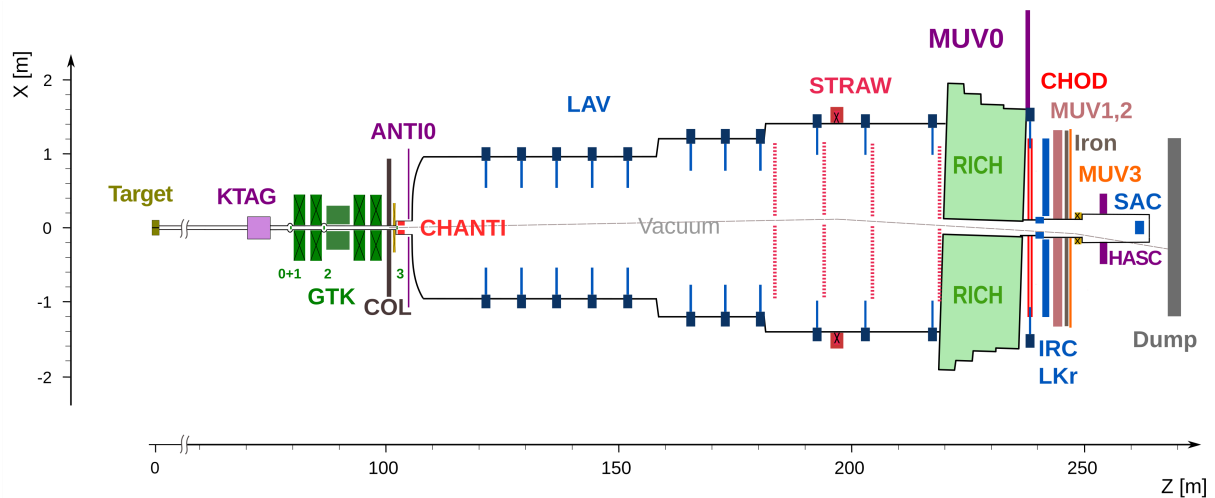


Рис. 4. Схематическое изображение экспериментальной установки NA62.

**Строу-трекер (STRAW)** состоит из четырёх строу-камер. Он измеряет координаты и импульс вторичных заряженных частиц, исходящих из области распада. Чтобы свести к минимуму многократное рассеяние, камеры изготовлены из сверхлегкого материала и установлены внутри вакуумного резервуара. Четыре строу-камеры расположены до и после дипольного магнита с большой апертурой (MNP33, черный на схеме), обеспечивая вертикальное магнитное поле 0,36 Тл.

**Черенковский детектор (RICH)** состоит из радиатора длиной 17 м, заполненного неоном при давлении 1 атм., что позволяет различать пионы и мюоны в интервале импульсов между 15 и 35 ГэВ/с.

Система детекторов фотонного вето обеспечивает герметичное покрытие области распада от нулевых до больших ( $\sim 50$  мрад) углов. Это обеспечивается электромагнитным калориметром высокого разрешения на жидком криптоне (**LKr**), промежуточным кольцевым (**IRC**) и малоугловым (**SAC**) калориметрами, а также серией из 12 кольцевых детекторов фотонного вето (**LAV**).

Детекторы мюонного вето (**MUV**) состоят из адронного калориметра, состоящего из двух частей, за которым следует дополнительный слой железа и поперечно сегментированный годоскоп. Эта система обеспечивает избыточность детектирования мюонов.

Эти детекторы дополняются счетчиками «сторожевого кольца» (**CHANTI**), окружающими последнюю станцию GTK, и годоскопом заряженных частиц (**CHOD**), перекрывающим акцептанс и расположенным между **RICH** и **LKr**. Дополнительные счётчики вето **ANTI0** и **HASC** позволяют снизить фон от взаимодействий в пучке и от ряда редких распадов. Все детекторы управляются и связываются между собой высокопроизводительной системой запуска и сбора данных (**TDAQ**).

Экспериментальные методы исследования основаны на технике NA62 изучения распада заряженного каона на лету, которая основана на измерении продуктов распада каонов, а также на идентификации и регистрации импульса налетающего каона. Фундаментальные

кинематические соотношения используются для оценки характеристик событий, а статистическая интерпретация результатов измерений опирается на установленные математические инструменты и протестированное программное обеспечение. Описанная выше экспериментальная установка NA62 была построена на предыдущих этапах проекта, и в будущем от группы ОИЯИ ожидается только ее поддержание, калибровка, а также участие в методических исследованиях с целью разработки трекера для более высоких интенсивностей пучка.

Анализ данных для главной задачи эксперимента основан на прецизионном измерении треков заряженных частиц и высокой эффективности всех остальных детекторов, используемых для идентификации этих частиц и вето на присутствие любых других продуктов распада, кроме недетектируемого нейтрино. Поэтому хорошие характеристики и стабильная работа созданного с определяющим участием ОИЯИ магнитного спектрометра составляют один из ключевых вкладов в достижение любого физического результата коллаборации NA62.

Распределение квадрата недостающей массы для  $K^+$  и положительно заряженного трека анализируется в предположении, что трек создается заряженным пионом. Распределение недостающей массы для распада  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$  показано на левой диаграмме Рисунка 5. Области сигнала NA62 выбраны с учетом разрешения (область I и область II). На левой диаграмме показан фон, который можно отделить с помощью кинематики, а на правой – кинематически неотделимый фон, подавляемый с помощью дополнительных обрезаний.

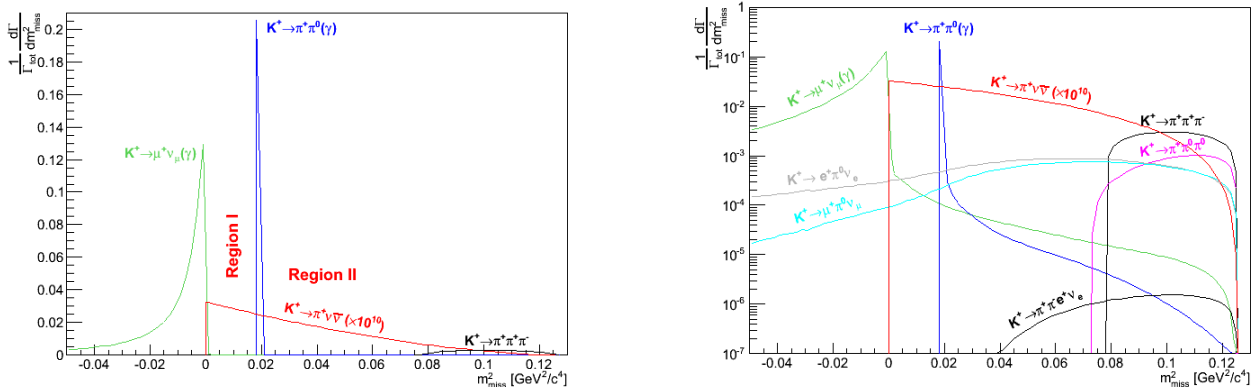


Рис. 5. Распределение недостающих масс  $m_{miss}^2 = (P_K - P_{track})^2$  для сигнальных (красная линия) и фоновых событий. Фоновые моды, которые могут быть отделены от сигнала кинематикой, показаны на левом графике, а неотделимый фон - на правом графике.

Существуют также моды распада  $K^+$  (с вероятностью  $> 10^{-5}$ ), например,  $K_{e4}$  ( $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- e^+ \nu$ ), которые могут иметь топологию, аналогичную исследуемому распаду в случаях, когда и отрицательно заряженный пион, и заряженный лептон не детектируются. Поэтому в обязательном порядке детектор должен быть герметичным по отношению к отрицательно заряженным частицам. Эта герметичность также обеспечивается геометрией трекерных камер.

Исследовательская деятельность, предлагаемая в рамках продления проекта NA62 в ОИЯИ, будет сфокусирована на достижении конечной цели текущего эксперимента NA62 –

измерения относительной вероятности распада  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$  с точностью порядка 10%. Вклад ОИЯИ в этот результат уже включает в себя участие в создании и поддержании работы спектрометра. На этапе анализа группа ОИЯИ принимает участие в калибровке детектора и разработке общего программного обеспечения.

Анализ распада  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$  продолжает совершенствоваться и уже достиг весьма продвинутого состояния. Он был оптимизирован для работы при высокой интенсивности пучка посредством ряда усовершенствований. Так, использование дополнительной четвертой станции GTK повысило эффективность реконструкции заряженных каонов примерно на 3%. Дополнительные счётчики для вето перед распадным объёмом сокращают фон от распадов и взаимодействий в пучковой линии. Новый алгоритм реконструкции событий в LKt снизил вероятность случайного фотонного вето. Критерии отбора событий были пересмотрены и оптимизированы. Распадный объём для реконструкции вершин был заново оптимизирован с увеличением акцептанса сигнала и снижением фона.

Акцептанс сигнала возрос по сравнению с анализом данных 2016-2018 года в результате улучшения акцептанса селекции как минимум на 20% при сохранившемся уровне вероятности случайного вето (около 65%), несмотря на увеличение интенсивности пучка. Эффективность регистрации сигнала показана на Рисунке 6, где сравниваются опубликованный анализ данных за 2018 год [15] и текущий анализ данных 2022 года. Средняя интенсивность увеличилась с 400 МГц в 2018 году до 580 МГц в 2022 году, но улучшения селекции позволили повысить эффективность регистрации сигнала.

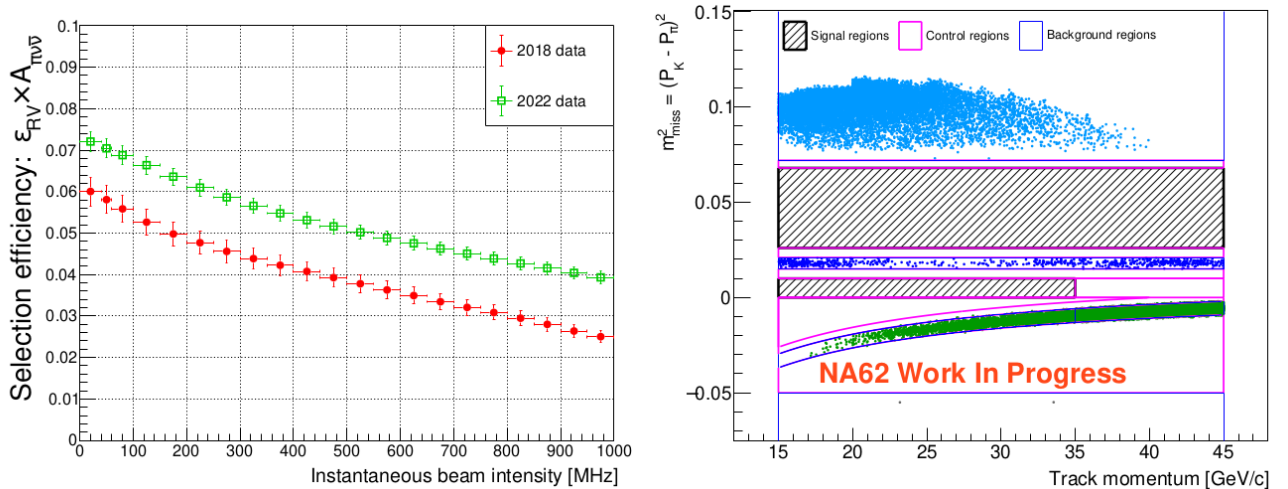


Рис. 6. Слева: сравнение эффективности отбора, то есть произведения акцептанса и эффективности случайного вето, как функции интенсивности пучка для данных 2018 года и 2022 года со старой и новой стратегиями анализа, соответственно. Справа: события из данных 2022 года, прошедшие отбор сигнала. Области сигнала и контрольные области остаются закрытыми, поэтому отображаются только фоновые области, при этом светло-голубые, темно-синие и зеленые точки обозначают события в областях, в которых доминируют распады  $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$ ,  $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$  и  $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu$ , соответственно.

Кроме анализа основной моды  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ , коллаборация NA62 исследует ряд редких мод распада каонов. Группа ОИЯИ участвует в анализе четырех-лептонных распадов  $K^+ \rightarrow e^+ \nu \mu^+ \mu^-$ ,  $K^+ \rightarrow e^+ \nu e^+ e^-$ ,  $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu e^+ e^-$  и  $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu \mu^+ \mu^-$  (последний ранее не



наблюдался) с относительной вероятностью порядка  $10^{-8}$ . Их прецизионное измерение расширит наши знания о параметрах Киральной пертурбативной теории и проверит её правильность. Поиск запрещенных мод  $K^+ \rightarrow e^- \nu_\mu^+ \mu^+$ ,  $K^+ \rightarrow \mu^- \nu_e^+ e^+$  обеспечит проверку пределов СМ. Большой объём данных и прецизионное измерение продуктов распада каона позволяют провести измерение форм-факторов полулептонных распадов  $K_{e3}$  и  $K_{\mu 3}$  на уровне лучших ранее выполненных измерений.

Большая статистика распадов каонов в NA62 дает нам возможность проверить предсказание о существовании суперпартнёров фермионов Голдстоуна - псевдоскалярного сголдстино  $P$ . Эксперимент HUPeRC зарегистрировал 3 распада  $\Sigma \rightarrow \pi \mu^+ \mu^-$ , где масса  $P \rightarrow \mu^+ \mu^-$ , если он существует, составляет 214,3 МэВ. Для NA62 измерение импульса налетающего  $K^+$  дает возможность восстановить недостающую массу в распадах  $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 P$  с необнаруженным псевдоскалярным  $P$ .

На основе данных NA62 также предусматривается поиск образования тяжелого нейтрального лептона (HNL) в распадах заряженных каонов. Например, минимальная стандартная модель нейтрино постулирует три HNL, объясняющих темную материю и барионную асимметрию Вселенной. Идея поиска HNL в NA62 основана на изучении распределений недостающих масс для  $K^+ \rightarrow e^+$  и  $K^+ \rightarrow \mu^+$  с измеренными импульсами каонов и лептонов.

#### 2.2.4 Ожидаемые результаты

Измерение редкого распада заряженного каона на пион и два нейтрино с точностью порядка 10%, что позволит уточнить параметры матрицы Кабиббо-Кобаяши-Маскава и будет решающей проверкой Стандартной Модели.

Дополнительно будут измерены вероятности и другие параметры ряда редких распадов заряженных каонов, что позволит уточнить параметры Киральной Теории Возмущений, описывающей сильные взаимодействия при низких энергиях. Группа ОИЯИ планирует завершить или приблизиться к завершению анализа четырёх-лептонных мод распадов заряженных каонов и распада  $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \mu^+ \nu$ . Ожидается завершение измерения форм-факторов полулептонных распадов по данным NA62 и достижение продвинутого состояния поиска лёгкого сголдстино. Также ожидается разработка технологии изготовления строу-трекера с диаметром трубок 5 мм для высоких интенсивностей пучка.

#### 2.2.5 Риски

Реалистичные риски, которые мы могли бы рассмотреть сейчас, включают следующие сценарии:

- Отмена продолжения сеансов сбора данных NA62 в связи с обострением мировой политической обстановки. Резервная стратегия на этот случай: другие дополнительные исследования редких распадов каонов на основе уже набранной статистики.
- Исключение ОИЯИ из состава участников коллаборации по решению ЦЕРН. Резервная стратегия на этот случай: участие в эксперименте отдельных сотрудников ОИЯИ в том статусе, который будет допустим в сложившихся обстоятельствах, с сокращением

фактических текущих затрат ОИЯИ, но при сохранении авторства сотрудников ОИЯИ в публикациях NA62.

- Нехватка персонала для быстрого завершения всех дополнительных исследований. Резервная стратегия: дополнительное привлечение участников или завершение анализа позднее, параллельно с другими стадиями проекта или с другими проектами.

## Литература

1. NA62 COLLABORATION; F.Ambrosino et al. Proposal to Measure  $K \rightarrow \pi\nu\nu$  rare decay at the CERN SPS. CERN-SPSC-2005-013, 2005.
2. NA62 COLLABORATION; F.Hahn et al. NA62 Technical Design Document. NA62-10-07, CERN, 2010, 414 pp.
3. Eduardo Cortina Gil *et al.* The beam and detector of the NA62 experiment at CERN. JINST 12 (2017) no.05, P05025.
4. NA62 COLLABORATION; F.Ambrosino et al. NA62 Status Report. CERN-SPSC-2007-035.
5. A.V.Artamonov et al. (E949 Collaboration). New Measurement of the  $K^+ \rightarrow \pi^+\nu\nu$  branching ratio. Phys. Rev. Lett. 101 191802, 2008.
6. D.S.Gorbunov, V.A. Rubakov. Phys.Rev.D73:035002, 2006.
7. J.Antos et al. Search for CP Violation in the Decays of  $X^- X^+$  and Hyperons. Fermilab Proposal P-871. FNAL 1994.
8. O.G.Tchikilev et al. (ISTRA) Phys.Lett. B602:149-156, 2004.
9. T.Asaka and M.Shaposhnikov, Phys. Lett. B620 (2005) 17.
10. N.Azorskiy *et al.* A drift chamber with a new type of straws for operation in vacuum. Nucl.Instrum.Meth. A824 (2016) 569-570.
11. N.Azorskiy et al. The NA62 spectrometer acquisition system. JINST 11 (2016) no.02, C02064.
12. L.Glonti et al. Longitudinal tension and mechanical stability of a pressurized straw tube. Instruments 2 (2018) 4, 27.
13. L.Glonti *et al.* Determination of the anode wire position by visible light in a new type straw for NA62 experiment tracker. Nucl.Instrum.Meth. A824 (2016) 532-534.
14. E.Cortina Gil *et al.* (NA62). Measurement of the very rare  $K^+ \rightarrow \pi^+\nu\nu$  decay. JHEP 06 (2021) 093.
15. E.Cortina Gil *et al.* (NA62). First search for  $K^+ \rightarrow \pi^+\nu\nu$  using the decay-in-flight technique. Phys.Lett.B 791 (2019) 156-166.
16. E.Cortina Gil *et al.* (NA62). An investigation of the very rare  $K^+ \rightarrow \pi^+\nu\nu$  decay. JHEP 11 (2020) 042.

### 2.3. Предполагаемый срок выполнения 2025-2027 гг.

### 2.4. Участвующие лаборатории ОИЯИ

*Лаборатория физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина*

### 2.4.1. Потребности в ресурсах МИВК

Вычислительные ресурсы	Распределение по годам				
	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год
Хранение данных (ТБ) - EOS - Ленты					
Tier 1 (ядро-час)					
Tier 2 (ядро-час)					
СК «Говорун» (ядро-час) - CPU - GPU					
Облака (CPU ядер)					

### 2.5. Участвующие страны, научные и научно-образовательные организации

Организация	Страна	Город	Участники	Тип соглашения
Centre de Physique de Particules de Marseille	France	Marseille	M. Perrin-Terrin	MoU CERN
Charles University	Czech Republic	Prague	K. Kampf + 7	MoU CERN
Comenius University	Slovakia	Bratislava	T. Blazek + 6	MoU CERN
Ecole Polytechnique Federale Lausanne	Switzerland	Lausanne	R.I. Marchevski + 4	MoU CERN
European Organiz. for Nuclear Res. (CERN)	Switzerland	Geneva	A. Ceccucci + 31	MoU CERN
George Mason University	USA	Fairfax	P.D. Rubin + 3	MoU CERN
Horia Hulubei National Institute of Physics and Nuclear Engineering	Romania	Bucharest	A.M. Bragadireanu+4	MoU CERN
INFN Sezione di Pisa, Universita' e Scuola Normale Superiore	Italy	Pisa	M.S. Sozzi +15	MoU CERN
Institute for High Energy Physics of NRC Kurchatov Institute	Russia	Protvino	V. Obraztsov + 15	MoU CERN
Institute for Nuclear Research	Russia	Moscow	Y. Kudenko + 7	MoU CERN
Institute of Nuclear Physics	Kazakhstan	Almaty	Y. Kambar + 5	MoU CERN
Instituto de Fisica	Mexico	San Luis Potosi	J. Engelfried + 5	MoU CERN
Johannes Gutenberg Universitaet	Germany	Mainz	R. Wanke + 10	MoU CERN
Laboratori Nazionali di Frascati	Italy	Frascati	A. Antonelli + 15	MoU CERN
Max-Planck-Institut fur Physik	Germany	Munich	B. Dobrich + 5	MoU CERN

Lancaster University	United Kingdom	Lancaster	R. Jones + 5	MoU CERN
University of Bristol	United Kingdom	Bristol	Helen F. Heath	MoU CERN
Sezione di Roma I (INFN)	Italy	Rome	M. Raggi + 13	MoU CERN
Sezione di Roma Tor Vergata INFN	Italy	Rome	R. Ammendola + 5	MoU CERN
SLAC National Accelerator Laboratory	USA	Menlo Park	D. Coward	MoU CERN
TRIUMF	Canada	Vancouver	D.A. Bryman + 4	MoU CERN
Universita degli studi di Ferrara	Italy	Ferrara	A. Gianoli + 21	MoU CERN
Universita e INFN, Firenze	Italy	Firenze	F. Bucci + 10	MoU CERN
Universita e INFN, Perugia	Italy	Perugia	M. Pepe + 11	MoU CERN
Universita e INFN Torino	Italy	Torino	C. Biino + 12	MoU CERN
Universita Federico II e INFN Sezione di Napoli	Italy	Naples	F. Ambrosino + 11	MoU CERN
Universite Catholique de Louvain (UCL)	Belgium	Louvain	E.C. Gil + 4	MoU CERN
University of Birmingham	United Kingdom	Birmingham	C. Lazzeroni +13	MoU CERN
University of British Columbia	Canada	Vancouver	D. A. Bryman	MoU CERN
University of Glasgow	United Kingdom	Glasgow	D. Britton + 3	MoU CERN

## 2.6. Организации-соисполнители

CERN, Швейцария, Женева.

## 3. Кадровое обеспечение

### 3.1. Кадровые потребности в течение первого года реализации

№№ п/п	Категория работника	Основной персонал, сумма FTE	Ассоциированный персонал, сумма FTE
1.	научные работники	10.4	0
2.	инженеры	0.7	0
3.	специалисты	0.5	0
4.	служащие	0	0
5.	рабочие	0	0
	<b>Итого:</b>	<b>11.6</b>	<b>0</b>

### 3.2. Доступные кадровые ресурсы

#### 3.2.1. Основной персонал ОИЯИ

№№ п/п	Категория работников	ФИО	Подразделение	Должность	Сумма FTE
1.	научные работники	Д. Байгарашев	ЛФВЭ	МНС	1.0
		А. Баева	ЛФВЭ	МНС	1.0
		С. Геворгян	ЛФВЭ	ВНС	1.0
		Е. Гудзовский	ЛФВЭ	НС	0.1
		Д. Емельянов	ЛФВЭ	МНС	1.0
		Т. Еник	ЛФВЭ	Начальник группы	0.3
		В. Кекелидзе	Дирекция	Вице-директор ОИЯИ	0.1
		Д. Керейбай	ЛФВЭ	МНС	1.0
		А. Короткова	ЛФВЭ	НС	0.7
		Д. Мадигожин	ЛФВЭ	Начальник сектора	1.0
		Н. Молоканова	ЛФВЭ	СНС	0.9
		И. Поленкевич	ЛФВЭ	СНС	1.0
		К. Саламатин	ЛФВЭ	НС	0.3
		С. Шкаровский	ЛФВЭ	СНС	1.0
2.	инженеры	В. Фалалеев	ЛФВЭ	Старший инженер	0.2
		В. Баутин	ЛФВЭ	инженер	0.3
		Ы. Камбар	ЛФВЭ	инженер	0.3
3.	специалисты	В. Горбунова	ЛФВЭ	специалист	0.5
4.	рабочие	-			
	<b>Итого:</b>				<b>11.6</b>

### 3.2.2. Ассоциированный персонал ОИЯИ

№№ п/п	Категория работников	Организация-партнер	Сумма FTE
1.	научные работники		0
2.	инженеры		0
3.	специалисты		0
4.	рабочие		0
	<b>Итого:</b>		<b>0</b>

## 4. Финансовое обеспечение

### 4.1. Полная сметная стоимость проекта

Прогноз полной сметной стоимости - 505 тыс. долларов США.  
Детализация приводится в отдельной форме.

### 4.2. Внебюджетные источники финансирования

Предполагаемое финансирование со стороны соисполнителей/заказчиков — 0.

Руководитель проекта \_\_\_\_\_ / В.Д. Кекелидзе/

Дата представления проекта в ДНОД \_\_\_\_\_

Дата решения НТС Лаборатории \_\_\_\_\_, номер документа \_\_\_\_\_

Год начала работ по проекту 2010

(для продолжения проекта) — год начала продолжения проекта: 2025.

**Предлагаемый план-график и необходимые ресурсы для осуществления  
Проекта**

Наименования затрат, ресурсов, источников финансирования		Стоимость (тыс. долл.) потребности в ресурсах	Стоимость, распределение по годам				
			1 год	2 год	3 год	4 год	5 год
	Международное сотрудничество (МНТС)	340	115 +35	60 +35	60 +35		
	Материалы	135	45	45	45		
	Оборудование и услуги сторонних организаций (пуско-наладочные работы)						
	Пуско-наладочные работы						
	Услуги научно- исследовательских организаций	30	10	10	10		
	Приобретение программного обеспечения						
	Проектирование/строительство						
	Сервисные расходы (планируются в случае прямой принадлежности к проекту)						
<b>Необходимые ресурсы</b>	<b>Нормо-час</b>	Ресурсы					
		- сумма FTE,					
		- ускорителя/установки,					
		- реактора,.....					
<b>Источники финансирования</b>	<b>Бюджетные средства</b>	Бюджет ОИЯИ ( <i>статьи бюджета</i> )					
	<b>Внебюджет (доп. смета)</b>	Вклады соисполнителей  Средства по договорам с заказчиками  Другие источники финансирования					

Руководитель проекта

\_\_\_\_\_/В. Д. Кекелидзе/

Экономист Лаборатории

\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ ПРОЕКТА

*Измерение редкого распада  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$  на CERN SPS (эксперимент NA62)*

УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ ПРОЕКТА **NA62**

ШИФР ПРОЕКТА **02-1-1096-1-2010/2027**

ШИФР ТЕМЫ **02-1-1096-2010**

ФИО РУКОВОДИТЕЛЯ ПРОЕКТА **Кекелидзе Владимир Дмитриевич**

СОГЛАСОВАНО

ВИЦЕ-ДИРЕКТОР ИНСТИТУТА

\_\_\_\_\_

ПОДПИСЬ

\_\_\_\_\_

ФИО

\_\_\_\_\_

ДАТА

ГЛАВНЫЙ УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
ИНСТИТУТА

\_\_\_\_\_

ПОДПИСЬ

\_\_\_\_\_

ФИО

\_\_\_\_\_

ДАТА

ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР

\_\_\_\_\_

ПОДПИСЬ

\_\_\_\_\_

ФИО

\_\_\_\_\_

ДАТА

ДИРЕКТОР ЛАБОРАТОРИИ

\_\_\_\_\_

ПОДПИСЬ

\_\_\_\_\_

ФИО

\_\_\_\_\_

ДАТА

ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР ЛАБОРАТОРИИ

\_\_\_\_\_

ПОДПИСЬ

\_\_\_\_\_

ФИО

\_\_\_\_\_

ДАТА

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ ЛАБОРАТОРИИ

\_\_\_\_\_

ПОДПИСЬ

\_\_\_\_\_

ФИО

\_\_\_\_\_

ДАТА

РУКОВОДИТЕЛЬ ТЕМЫ

\_\_\_\_\_

ПОДПИСЬ

\_\_\_\_\_

ФИО

\_\_\_\_\_

ДАТА

РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА

\_\_\_\_\_

ПОДПИСЬ

\_\_\_\_\_

ФИО

\_\_\_\_\_

ДАТА

ОДОБРЕН ПКК ПО НАПРАВЛЕНИЮ

\_\_\_\_\_

ПОДПИСЬ

\_\_\_\_\_

ФИО

\_\_\_\_\_

ДАТА