

Проект
T2K-II / Hyper-Kamiokande

ЛЯП: Артиков А.М., Баранов В.Ю., Бойков А.В., Бражников А.О., Будагов Ю.А.,
Васильев И.И., Глаголев В.В., Давыдов Ю.И., Демин Д.Л., Киричков Н.В., Кисеева
В.И., Колесников А.О., Красноперов А.В., Лимарев К.К., Малышев В.Л., Попов Б.А.,
Синица А.А., Суслов И.А., Терещенко В.В., Терещенко С.В., Хомутов Н.В.,
Шайковский А.В.

ЛТФ: Козлов Г.А., Матвеев В.А.

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

Куденко Ю.Г., Минеев О.В., Хабибуллин М.М., Хотянцев А.Н.,

Институт ядерных исследований Российской академии наук

РУКОВОДИТЕЛИ ПРОЕКТА В.В. Глаголев, Ю.И. Давыдов

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА Ю.А. Будагов

ДАТА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРОЕКТА В НОО _____

ДАТА НТС ЛАБОРАТОРИИ 1.04.2021 НОМЕР ДОКУМЕНТА _____

ДАТА НАЧАЛА ПРОЕКТА ____2022____

ДАТА СЕМИНАРА В ЛАБОРАТОРИИ 17.03.2021, 30.03.2021

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ ПРОЕКТА

T2K-II / Hyper-Kamiokande

РУКОВОДИТЕЛИ ПРОЕКТА В.В. Глаголев, Ю.И. Давыдов

подпись

дата

УТВЕРЖДЕН ДИРЕКТОРОМ ОИЯИ

СОГЛАСОВАНО

ВИЦЕ-ДИРЕКТОР ОИЯИ

ГЛАВНЫЙ УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ

ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР

НАЧАЛЬНИК НОО

ДИРЕКТОР ЛАБОРАТОРИИ

ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР ЛАБОРАТОРИИ

РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА

ЗАМ. РУКОВОДИТЕЛЯ ПРОЕКТА

ОДОБРЕН

ПКК ПО НАПРАВЛЕНИЮ

T2K-II / Hyper-Kamiokande

Содержание

1. Аннотация
2. Введение
3. Состояние исследований по данной проблеме
4. Описание предлагаемого исследования
5. Оценка кадровых ресурсов
6. Краткий ССВУ-анализ
7. Ссылки
8. Оценка бюджета проекта
9. Приложения

Аннотация

Основная цель этого проекта – подключение к полноценному участию физиков ОИЯИ в японской экспериментальной программе мирового значения по нейтринной физике [1][2]: в модернизированном эксперименте T2K-II и проекте Hyper-Kamiokande, который в настоящее время находится в стадии подготовки.

Уже утвержденная экспериментальная программа T2K-II позволит продлить время работы T2K-II до 2026 года и набрать статистику до 20×10^{21} протонов на мишени, с целью наблюдения нарушения CP со значимостью 3σ или выше для случая большого CP-нарушения и измерения параметров смешивания нейтрино, θ_{23} and Δm_{32}^2 , с точностью 1.7° или лучше и 1%, соответственно[3]. Для достижения этих целей проводится модернизация ускорительного комплекса J-PARC[4] и ближнего детектора – ND280[5].

Дальнейшие цели включают участие группы в проекте Hyper-Kamiokande нового поколения, который продолжит эксперимент T2K-II и будет использовать тот же набор ближних детекторов.

Ближайшей целью проекта является создание уникального активного детектора с мелкой сегментацией (SuperFGD), состоящего из примерно 2 миллионов сцинтилляционных кубиков, пронизанных сцинтилляционными волокнами в трех перпендикулярных направлениях. Эта мишень нужна для модернизации ближнего детектора ND280. Благодаря своей мелкоячеистой геометрии, окруженной времяпролетными детекторами (TOF) и двумя время-проекционными камерами (HA-TPC), SuperFGD обладает уникальной способностью восстанавливать короткие треки и детектировать быстрые нейтроны, что требуется для реконструкции энергии (анти)нейтрино, а также для повышения эффективности восстановления треков заряженных частиц, вылетающих под большими углами (почти перпендикулярно и назад) по отношению к направлению входящего (анти) нейтрино. Это также позволит снизить порог регистрации импульсов для пионов и нуклонов, образующихся в (анти) нейтринных взаимодействиях.

Методы и технология создания новой мишени SuperFGD включают изучение свойств отдельных сцинтилляционных элементов (кубиков) с диффузным покрытием, перекрестных световых наводок между элементами, световых выходов, тестирование прототипа мишени и выполнение анализа данных. Разрабатывается система калибровки всех оптоволоконных каналов и фотодетекторов (SiPM) с помощью системы светодиодов. Особо отметим конструктивные трудности создания такой мишени - ящика, в основном из стеклопластика, во всех стенках которого должны быть отверстия для выхода оптических волокон с шагом 1 см и создания платформы и приспособлений для сборки мишени из ~ 2000000 кубиков, пронизанных волокнами в трех направлениях внутри такого ящика. Разрабатывается порядок сборки и дооснащения мишени электронными платами для считывания сигналов и калибровки.

Участники проекта имеют большой опыт создания и обслуживания сцинтилляционных детекторов (CDF-мюонные счетчики, модули вето-системы и элементов кристаллического калориметра Mu2e), проектирования и программирования электронных плат (OPERA, Mu2e, COMET), моделирования и анализа данных (CDF, Mu2e), дизайн различных объектов.

Запрашиваемое финансирование на 3 года составляет ~ 600 тыс. долларов.

Введение

Ожидается, что фаза II эксперимента T2K начнется в 2022 году и продлится до 2026 года. За ней последует эксперимент Hyper-Kamiokande (HK), в котором будет использоваться пучок нейтрино, произведенный ускорителем J-PARC и тот же ближний детектор ND280. Физическими целями T2K-II являются измерения параметров осцилляций нейтрино θ_{23} and Δm_{32}^2 с точностью $1,7^\circ$ и 1% соответственно, а также подтверждение на уровне 3σ или более асимметрии вещество-антивещество в нейтринном секторе в широком диапазоне возможных значений δ_{CP} - параметра, ответственного за нарушение CP-четности. Достижение этих целей требует уменьшения статистических и систематических ошибок и, следовательно, значительной модернизации ближнего детектора ND280, модернизации ускорителя, а также улучшений в программном обеспечении и методах анализа.

Текущая конструкция ближнего детектора ND280 хорошо оптимизирована для обнаружения и реконструкции движущихся вперед частиц (в основном заряженных лептонов: мюонов и электронов), но также имеет ряд ограничений, таких как низкая эффективность восстановления частиц, вылетающих почти перпендикулярно и в обратном направлении к направлению падающего нейтрино, а также слишком высокий порог импульса, чтобы восстановить большую часть образовавшихся пионов и выбитых нуклонов (протонов и нейтронов). Важно оптимизировать детектор, чтобы он был чувствителен к частицам с низким импульсом, возникающим в результате ядерных эффектов, что снизило бы систематическую ошибку в анализе осцилляций нейтрино, связанную с моделями нейтринных взаимодействий.

SuperFGD - это детектор размером около $2 \times 2 \times 0,5$ м, состоящий примерно из 2 миллионов сцинтилляционных кубиков полистирола объемом 1 см^3 каждый. Через кубики в трех направлениях проходят оптические волокна для осуществления светосбора от сцинтилляции кубиков при прохождении заряженных частиц. В отличие от применяемых в настоящее время активных мишеней- FGD, SuperFGD обеспечивает квази-трехмерную реконструкцию событий. Эта конфигурация увеличивает шансы восстановления коротких треков почти равномерно во всех направлениях. Благодаря своей геометрии и в сочетании с время-проекционными камерами (HA-TPC), расположенными выше и ниже SuperFGD, SuperFGD обладает способностью регистрировать быстрые нейтроны, что необходимо для восстановления энергии антинейтрино.

На основе дважды получившего Нобелевскую премию эксперимента (Супер) Камиоканде и чрезвычайно успешной японской нейтринной программы с длинной базой, водный Черенковский детектор третьего поколения, Hyper-Kamiokande, разрабатывается международным сообществом как ведущий мировой эксперимент. В нем будут рассмотрены самые большие нерешенные вопросы в рамках рассчитанной на несколько десятилетий программы по физике, которая начнется в конце этого десятилетия.

Наука, которая будет развиваться, сможет сформировать будущую теоретическую основу и поколения экспериментов. Hyper-Kamiokande сможет с высочайшей точностью измерить лептонное CP-нарушение, которое могло бы объяснить барионную асимметрию во Вселенной. Эксперимент также обладает отличной способностью к поиску распада протона, обеспечивая значительное улучшение чувствительности обнаружения по сравнению с текущими измерениями времени жизни протона. Атмосферные нейтрино позволяют определить иерархию

масс нейтрино и вместе с ускорительными нейтрино смогут точно протестировать парадигму осцилляций трех ароматов нейтрино и провести поиски новых явлений. В эксперименте будет реализована мощная астрофизическая программа, которая также позволит точно измерить осцилляции солнечных нейтрино. Планируется ряд других основных физических исследований, таких как поиск темной материи.

Состояние исследований по данной проблеме

T2K [1] - это действующий в настоящее время эксперимент, который использует хорошо известный Super-K в качестве дальнего детектора для измерения (анти) нейтрино, произведенных на ускорителе J-PARC. Hyper-K будет использовать большую часть существующей инфраструктуры, созданной для T2K, особенно канал вывода пучка и ближние детекторы. Hyper-K также выиграет от улучшенных методов анализа данных, разработанных для T2K. В ближайшие годы запланировано несколько важных обновлений и улучшений T2K, и это окажет прямое влияние на повышение точности измерений Hyper-K.

В эксперименте T2K используется ближний детектор ND280. Будущие усовершенствования анализа данных, связанные с ND280 направлены на уточнение измерений (анти) нейтринных сечений и уменьшение неопределенностей потока нейтрино.

В июне 2015 года коллаборация Super-Kamiokande одобрила проект SK-Gd. Этот проект представляет собой модернизацию возможностей детектора, достигаемую путем растворения 0,2% сульфата гадолиния в воде Super-K с целью повышения эффективности обнаружения нейтронов от взаимодействий нейтрино. Следовательно, после быстрого обнаружения позитрона, нейтрон от обратного бета-распада (IBD) может быть идентифицирован в SK-Gd по задержанному во времени гамма-каскаду, результату захвата нейтрона на гадолинии. В результате такой идентификации истинных событий IBD может быть достигнуто значительно улучшенное разделение между сигналом и фоном. Опыт заливки гадолиния в крупномасштабный водный Черенковский детектор Super-K и результаты работы с ним трудно переоценить для решения применить аналогичную заливку в детекторе Hyper-K.

Можно определить иерархию масс нейтрино путем сравнения абсолютных значений разностей квадратов эффективных масс, определяемых реактором (исчезновение $(\bar{\nu}_e)$) и ускорителем (исчезновение ν_μ) с высокой точностью [10],[7]. Ожидается, что примерно к 2025 году иерархия масс может быть определена на уровне $\sim (3-4) \sigma$ или более путем объединения будущих данных, поступающих из текущих экспериментов, таких как NOvA[19], T2K и реакторных экспериментов, Daya Bay [8], RENO [9], Double Chooz [10], и предложенных будущих экспериментов, таких как JUNO[11], RENO-50 [12], ICAL [13], PINGU [14], и ORCA [15] где последние три проекта будут использовать атмосферные нейтрино для определения иерархии масс.

Величина нарушения зарядовой четности (CP) в осцилляции нейтрино может быть охарактеризована разницей вероятностей осцилляции нейтрино между нейтринным и антинейтринным каналами [16,17]. Текущие данные, поступающие из T2K [18], в сочетании с реакторным измерением θ_{13} , указывают на предпочтение $\delta_{cp} \sim -\pi/2$ (или, что эквивалентно, $\delta_{cp} \sim 3\pi/2$) для обеих иерархий масс. хотя статистическая значимость все еще невелика. Интересно, что данные об

атмосферных нейтрино Super-K также предпочитают аналогичные значения δ_{cp} с аналогичной статистической значимостью [20].

Если CP нарушается максимально ($|sin\delta_{cp}| \sim 1$), нарушение CP ($sin\delta_{cp} \neq 0$) может быть установлено на уровне $\sim (2-3)\sigma$ путем объединения будущих данных, поступающих от T2K и NOvA, а также данных, поступающих из реакторного измерения θ_{13} .

Одной из основных целей T2K также является поиск стерильных компонент в исчезновении ν_μ путем наблюдения событий нейтрального тока (поскольку события нейтрального тока производятся всеми видами активных нейтрино, дефицит будет указывать на осцилляцию в стерильные нейтрино).

В Hyper-K параметры осцилляций нейтрино будут измеряться с использованием двух источников нейтрино, которые будут предоставлять комплементарную информацию. Будут использоваться как атмосферные нейтрино, где нейтринные осцилляции были впервые подтверждены Super-K, так и пучок нейтрино с длинной базой, где появление электронного нейтрино было впервые обнаружено T2K.

При суммарной мощности пучка протонов $1,3 \text{ МВт} \times 10^8 \text{ с}$ (соответствует $2,7 \times 10^{22}$ протонов на мишени от пучка протонов 30 ГэВ) со смещенным на 2,5 градуса пучком нейтрино, ожидается, что лептонная CP-фаза δ_{cp} может быть определена с точностью выше 23 градусов для всех возможных значений δ_{cp} , а нарушение CP может быть установлено со статистической значимостью более 3σ (5σ) для 76% (57%) области значений параметра δ_{cp} .

Hyper-K будет многоцелевым детектором нейтрино с богатой физической программой, которая направлена на решение некоторых из наиболее важных вопросов, с которыми сегодня сталкиваются физики элементарных частиц. Исследования осцилляций от ускорительных, атмосферных и солнечных нейтрино позволят уточнить углы смешивания нейтрино и параметры разности квадратов масс и могут привести к первому наблюдению асимметрии в осцилляциях нейтрино и антинейтрино, возникающих из CP-нарушающей фазы, проливая свет на одно из самых многообещающих объяснений асимметрии материи и антивещества во Вселенной. Поиск распадов протонов интересен для одного из ключевых принципов теории Великого Объединения. В случае близлежащей сверхновой Hyper-K будет наблюдать беспрецедентное количество нейтринных событий, предоставляя столь необходимые экспериментальные результаты исследователям, стремящимся понять механизм взрыва. Наконец, обнаружение астрофизических нейтрино из таких источников, как аннигиляция темной материи, выбросы гамма-всплесков и ветры пульсаров, могло бы еще больше улучшить наше понимание некоторых из наиболее впечатляющих и наименее понятных явлений во Вселенной.

Эксперимент Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE), ранее LBNE[21], представляет собой нейтринный эксперимент с 40 килотоннами жидкого аргона, который, по прогнозам, начнет собирать данные примерно в то же время, что и Hyper-K. Поскольку DUNE будет использовать другой материал мишени, чем Hyper-K (жидкий аргон, а не воду), могут быть выполнены многие дополнительные измерения, включая изучение распада нуклонов и обнаружение нейтрино сверхновых. Информация о сигнатуре нейтрино от сверхновых очень востребована, и Hyper-K и DUNE добавят данные к общей картине. Первичным каналом реакции для этих нейтрино в Hyper-K является канал обратного бета-распада, в котором будут участвовать только электронные антинейтрино. В DUNE каналом реакции будет реакция заряженного тока на ^{40}Ar , которая измеряет

электронные нейтрино. Взятые вместе, эти измерения смогут определить относительное содержание нейтрино по отношению к антинейтрино. Кроме того, DUNE сможет лучше определять некоторые особенности спектра нейтрино, в которых доминирует сигнал электронного нейтрино, например всплеск нейтронизации, который происходит в ранние времена, в то время как Нурег-К будет лучше измерять особенности, где есть сигнал антинейтрино, такие как фазы аккреции и охлаждения, которые происходят в более поздние времена. В связи с тем, что базовая линия между ускорителем и Нурег-К будет короче, чем предлагаемая базовая линия для эксперимента DUNE, эти два эксперимента будут иметь некоторую взаимодополняемость в информации, которую они могут извлечь из своих ускорительных программ. Более длинная базовая линия в эксперименте DUNE означает, что их измерения будут больше зависеть от влияния вещества, что придаст им большую чувствительность к иерархии масс. Более короткая базовая линия эксперимента Нурег-К означает меньшую чувствительность к влиянию материи, что должно привести к повышенной чувствительности к измерению фазы CP-нарушения.

Описание предлагаемого исследования

T2K («Tokai to Kamioka») - эксперимент по физике элементарных частиц, изучающий осцилляции ускорительных нейтрино (Рис.1). Эксперимент проводится в Японии. T2K был первым экспериментом, в котором наблюдалось появление электронных нейтрино в пучке мюонных нейтрино [22], он также обеспечил лучшее в мире измерение параметра осцилляций θ_{23} [23] и намек на значительную асимметрию вещества-антивещества в осцилляциях нейтрино [2]. Измерение асимметрии осцилляций нейтрино-антинейтрино может приблизить нас к объяснению существования нашей Вселенной, в которой преобладает материя.

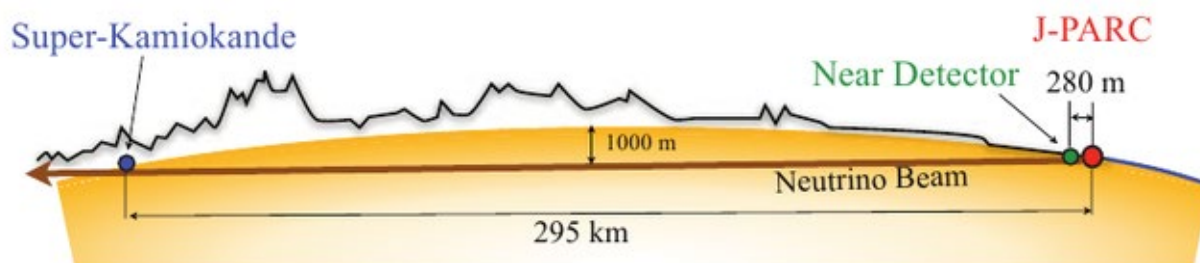


Рис. 1: Интенсивный пучок мюонных нейтрино производится на установке J-PARC (Японский исследовательский комплекс протонных ускорителей) в Токай на восточном побережье Японии. Пучок нейтрино направлен на дальний детектор Super-Kamiokande, расположенный в 295 км от города Хида, префектура Гифу. Свойства и состав нейтринного потока сначала измеряются системой ближних детекторов (ND280), расположенной в 280 м от места генерации пучка в J-PARC, а затем снова в детекторе Супер-Камиоканде.

В эксперименте с нейтрино T2K-II будет накоплено 20×10^{21} протонов на мишень, что в 6 раз превышает текущую статистику. Это нацелено на наблюдение CP-нарушения на уровне 3σ или более высокой значимости, если CP-нарушение является максимальным. Дальнейшее увеличение статистики в 10 раз произойдет

с детектором Hyper-Kamiokande, с увеличением массы дальнего детектора с 22,5 кт до более чем 200 кт [24].

Текущая конфигурация ND280 приводит к систематическим ошибкам в определении фазы CP- нарушения порядка 6% и задача состоит в снижении этого числа до ~ 4% для T2K-II [5] и до ~ 3% или ниже для Hyper-Kamiokande.

Мы планируем улучшить характеристики ND280, добавив новый высокогранулярный сцинтилляционный детектор 3D Super-FGD, состоящий из небольших пластиковых сцинтилляционных кубиков, считываемых волокнами WLS в трех ортогональных направлениях. Выше и ниже этого детектора расположены две время-проекционные камеры (High-Angle TPC) при атмосферном давлении. Эти три детектора образуют примерно куб со сторонами 2 м (рис. 2). Он расположен в передней по пучку части магнита ND280 и окружен шестью тонкими времяпролетными сцинтилляционными слоями. Эта конфигурация обеспечивает 4π регистрацию мюонов, образующихся при взаимодействии нейтрино с ядрами. Super-FGD эффективно регистрирует заряженные частицы..

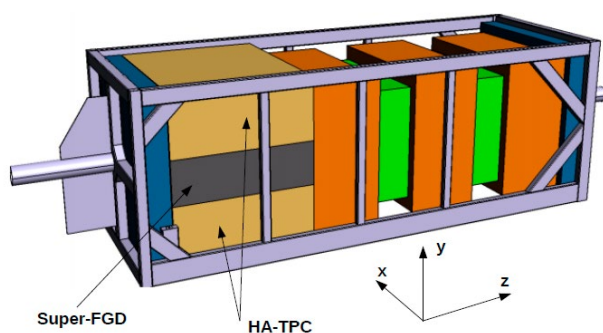


Рис. 2: CAD 3D модель модернизированного детектора ND280. В левой части будут установлены два High-Angle TPC (коричневые) со сцинтилляторным детектором Super-FGD (серый) в середине. В правой части – трековая система, состоящая из трех TPC (оранжевый) и двух FGD (зеленый), они остаются неизменными.

Детекторы TOF на этом графике не показаны. Пучок параллелен оси z, магнитное поле параллельно оси x.

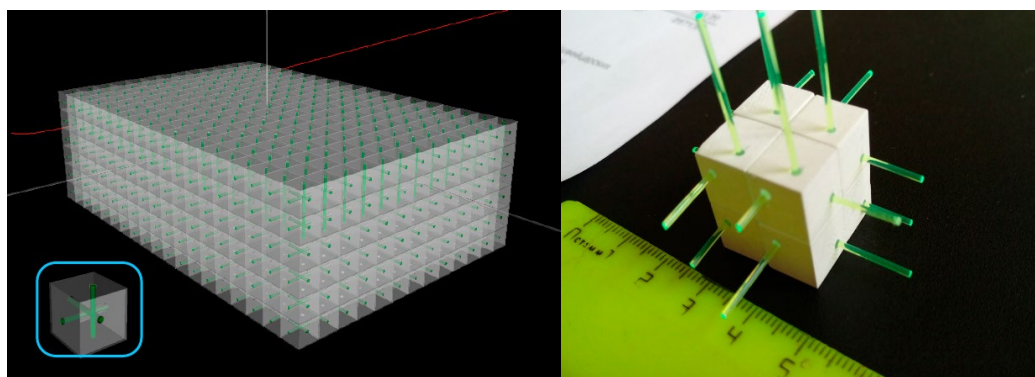


Рис. 3: Слева: схематический вид детектора Super-FGD. Справа: изображение небольшого прототипа Super-FGD

SuperFGD (рис. 3) - это новая идея мелкоячеистого полностью активного пластикового сцинтилляционного детектора, состоящего из множества оптически независимых кубиков размером 1 см. Сцинтиллятор представляет собой композит из полистирола, легированного 1,5% паратерфенила, и покрытого химическим отражателем толщиной ~ 50 мкм. Каждый кубик имеет три отверстия диаметром 1,5

мм, просверленных по осям X, Y и Z, через которые проходят волокна WLS. Полный детектор составляет около $2 \times 2 \times 0,6 \text{ м}^3$, состоит примерно из 2 миллионов кубиков и считывается через $\sim 60\,000$ каналов. Он имеет вдвое лучшее разрешение, чем существующий FGD, и обеспечивает трехмерную реконструкцию.

Для достижения точности порядка 4-5% в предсказании потоков нейтрино и антинейтрино для будущих экспериментов с нейтрино на ускорителях (таких как T2K-II, DUNE, T2HK и др.) необходимо измерить выходы адронов во взаимодействиях протон-ядро и пион-ядро с использованием адронных пучков (ЦЕРН). Данная работа [25] успешно выполняется на первом этапе нейтринного эксперимента с длинной базой T2K при активном участии группы физиков из ЛЯП ОИЯИ.

Мы планируем провести новый набор данных с точной копией длинной углеродной мишени T2K. Эти измерения имеют решающее значение для дальнейшего уменьшения неопределенностей нейтринного потока в T2K-II / НК.

Группа физиков ЛЯП (Н. Атанов, А. Красноперов, В. Любушкин, Б. Попов, С. Терещенко, В. Терещенко) планирует принять участие в

- сборе и анализе экспериментальных данных с использованием адронных пучков ЦЕРН;
- разработке программного обеспечения для обработки и анализа данных;
- подготовке научных публикаций.

Ближайшие планы:

- 2021/2022: сбор новых данных с дубликата мишени T2K
- 2022/2023: калибровка и анализ этих данных; извлечение точных выходов адронов с поверхности дубликата мишени T2K
- 2023/2024: использование этих новых измерений рождения адронов для улучшенного предсказания (анти)нейтринных потоков в T2K / НК; более точные измерения параметров нейтринных осцилляций в T2K-II.

Мы планируем подключиться к анализу осцилляций коллаборации T2K, цель которого - определить параметры осцилляций нейтрино, такие как $\sin^2\theta_{23}$, $\sin^2\theta_{13}$, Δm^2_{32} и δ_{CP} (хотя чувствительность T2K к $\sin^2\theta_{13}$ намного меньше, чем у реакторных экспериментов). В настоящее время существуют ограничения для углов θ_{12} и θ_{13} , а также для двух разностей масс Δm^2_{21} и Δm^2_{32} . Угол θ_{23} все еще имеет большую неопределенность, и пока неизвестно, имеет ли он значение $\pi/4$ (соответствующее максимальному смешиванию) или выше (ниже) этой величины. Еще один чрезвычайно важный параметр осцилляций - комплексная фаза δ_{CP} . Любое значение δ_{CP} , отличное от 0 или π , приведет к CP-нарушению в лептонном секторе, при этом $\pm \pi / 2$ представляет максимальное CP-нарушение. Остается еще одна задача - определение иерархии масс нейтрино (MH), которая может быть нормальной (NH) или инвертированной (IH). В дополнение к этим измерениям также исследуется согласованность матрицы смешивания Понтекорво – Маки – Накагава – Саката (PMNS).

Параметры осцилляций извлекаются из фитирования прогнозируемой частоты событий к измерениям Super-Kamiokande (SK), в то время как данные от ND280 используются для точных предсказаний спектра дальнего детектора. Есть три набора систематических неопределенностей, которые параметризуются для фитирования:

- 1) Неопределенности потока нейтрино. Поток нейтрино моделируется с помощью пакета моделирования FLUKA, а затем настраивается с учетом внешних данных из эксперимента по выходу адронов в ЦЕРНе для уменьшения погрешностей смоделированных взаимодействий адронов в графитовой мишени.

- 2) Систематические погрешности детектора, параметризованные для каждого детектора (ND280 или SK).
- 3) Неопределенности в сечении взаимодействия нейтрино с веществом детекторов. Модель взаимодействия нейтрино настроена на мировые данные с учетом нашего понимания теории взаимодействия нейтрино с ядром.

Данные и смоделированные наборы в ND280 классифицируются в соответствии с множественностью пионов в конечном состоянии, модой пучка и мишенью, в которой произошло взаимодействие. Данные SK классифицируются аналогично данным ND280. Образцы определяются по кратности и типу Черенковского кольца. T2K проверяет методы анализа и модель систематических ошибок с помощью моделирования. Альтернативные методы или настройки используются для создания дополнительных наборов событий, которые проходят процедуру осцилляционного анализа. Результаты сравниваются с номинальным моделированием. Такие исследования позволяют выявить расхождения и мотивировать улучшение метода. В случае значительного отклонения ошибка включается в систематическую погрешность метода.

Мы планируем участвовать в осцилляционном анализе T2K, который включает в себя анализ новых данных, полученных с помощью модернизированного детектора ND280, разработку методов отбора событий и выполнение исследований различных типов систематических неопределенностей, чтобы лучше понять и уменьшить их. На первом этапе (2022 год) мы планируем присоединиться к текущему анализу T2K и сосредоточиться на адаптации и развитии их методов в отношении модернизированного детектора ND280. Эта деятельность подразумевает проведение Монте-Карло исследований и разработку программных инструментов для анализа. Здесь ожидается тесное сотрудничество с группой из ИЯИ РАН. Как только появятся новые данные от модернизированного T2K-II (2023 и 2024 годы), мы будем участвовать в их анализе и получении физических результатов. Эта деятельность подразумевает участие в процессе подготовки публикаций по T2K и в научных конференциях. Чтобы быть включенным в список авторов регулярных публикаций по физике коллаборации T2K, мы должны участвовать в сменах по набору данных эксперимента T2K-II.

Сотрудники ОИЯИ, занятые в обработке данных - Игорь Суслов (FTE = 100%), Константин Лимарев (аспирант, FTE = 100%) и Виктория Кисеева (молодой научный сотрудник, FTE = 100%). Востребованы покупки сервера данных и компьютеров.

Ближний детектор ND-280 эксперимента T2K включает SuperFGD размером примерно $2 \times 2 \times 0,6 \text{ м}^3$, состоящий из примерно 2 миллионов полистирольных кубических сцинтилляторов размером $1 \times 1 \times 1 \text{ см}^3$. Каждый кубик изготовлен методом литья под давлением. Кубики имеют три сквозных отверстия, через которые проходят спектросмещающие волокна для сбора сигналов. Оптическая изоляция кубиков обеспечивается поверхностным слоем, образованным химическим травлением. Однако, такая поверхность не обеспечивает полной светоизоляции кубиков, поэтому важно контролировать прохождение света через поверхностный слой и его влияние на реконструкцию треков в детекторе.

Прохождение света через стенки кубиков и его проникновение в соседние кубики было проверено нашими коллегами на пучках ускорителей. Мы разработали способ исследования утечки света из кубика с помощью светодиода, который обеспечивает быстрый и надежный способ контролировать утечку света через поверхности кубиков. Для этого вспышка светодиода по оптоволокну передавалась в кубик через одно из трех отверстий. Длина волны светодиода составляет 375 нм,

что перекрывает область спектра поглощения сцинтиллятора. Поглощенный свет переизлучается сцинтиллятором на более длинных волнах с пиком около 425 нм. Свет, излучаемый в кубике, захватывается оптическим волокном, сдвигающим длину волны и регистрируется с помощью SiPM. В то же время сигнал считывается с соседнего кубика для измерения части света, которая попала в него через светоизолированные стенки двух кубиков, как показано на рис.4.

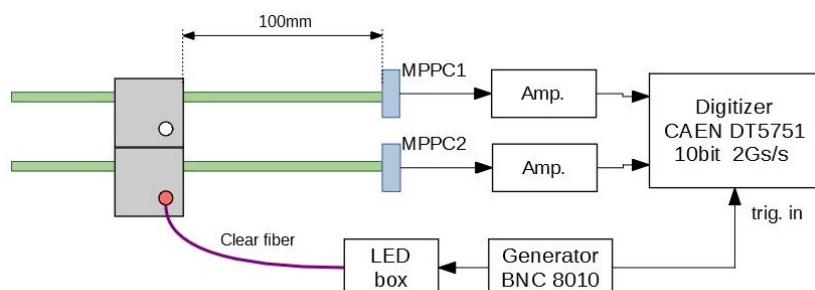


Рис.4 Схема съема сигналов

Мы сравнили утечки света при разной геометрии. На рис. 5 показаны два варианта. Здесь в одном случае свет проходил в кубик «0» и измерялась утечка света в кубик «1» (левый рисунок), в другом - засвечивался кубик «1» и измерялась утечка света в кубик «0» (правый рисунок). На рис. 6 показаны спектры сигналов от кубиков, полученные при засветке кубика «0». Левый спектр показывает сигнал от подсвеченного кубика «0», а правый - сигнал от кубика «1» за счет света, проходящего от кубика «0». В этом случае отношение среднего сигнала в кубике «1» к среднему сигналу в кубике «0» составляет 0,033. Это значение измеренной утечки света согласуется с данными, полученными нашими коллегами при измерениях на пучках ускорителей.

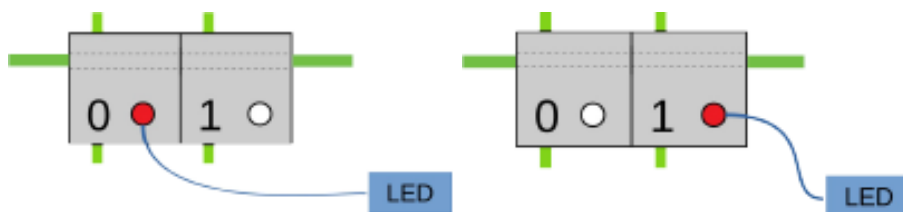


Рис.5 Схема теста кубиков

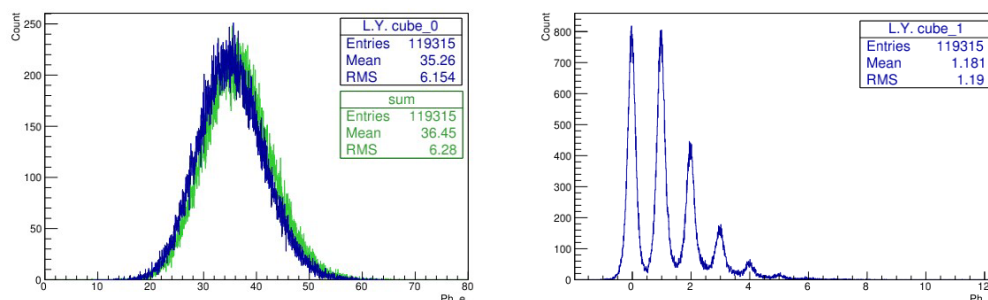


Рис.6 Спектры сигналов от кубиков, полученные при засветке кубика «0». Левый спектр показывает сигнал от подсвеченного кубика «0», а правый - сигнал от кубика «1».

Особо следует отметить разницу между двумя геометриями, показанными на рисунке 5. В случае засветки кубика «1» утечка света в кубик «0» заметно меньше, и отношение сигнала в «0» кубике к сигналу в кубике «1» равно 0,0187. Это связано с разным расстоянием от места засветки до границ кубиков и до оптических волокон, собирающих свет. Этот эффект демонстрирует зависимость утечек света в соседние кубики от расположения источника света и может быть использован для улучшения пространственной чувствительности при реконструкции треков заряженных частиц.

Обычно детекторы работают в стабильных условиях, и больших колебаний температуры не ожидается. Тем не менее, в условиях транспортировки и хранения сцинтилляторов возможны разовые или циклические изменения температуры. Для изучения влияния повышенных температур на световыход и утечку света через стенки кубиков мы провели исследования поведения кубиков при повышении температуры. В результате исследований мы не обнаружили изменения световыхода и утечки света через стенки кубиков после циклического нагрева образцов до 60С.

Мы разрабатываем электронику для системы калибровки светодиодов SuperFGD с использованием световодных пластин с выемками (LGP). Система калибровки может равномерно распределять светодиодный свет сразу по нескольким каналам и используется для калибровки усиления SiPM и контроля стабильности. Модуль состоит из печатной платы с матрицей светодиодов, LGP, диффузора, контейнера и блока электроники. Концепция системы калибровки представлена на рис. 7.

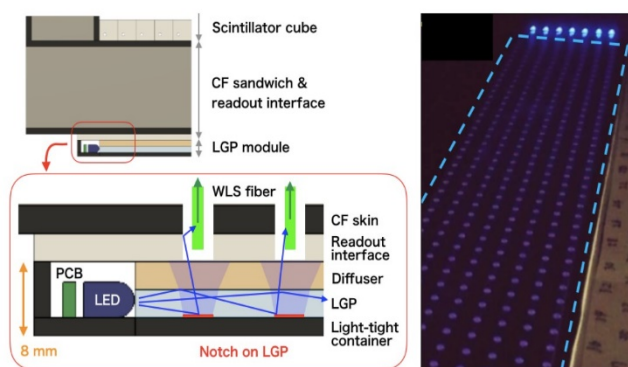


Рис. 7
Схема LGP (слева) и фото прототипа LGP (справа).

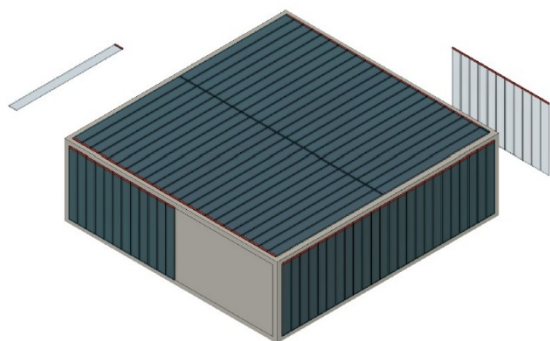


Рис. 8 Общий вид короба мишени и модулей LGP, прикрепленных к его поверхности.

На рис.8 показан общий вид ящика мишени и модулей LGP, прикрепленных к его поверхности. Система калибровки будет интегрирована в стенки мишени (рис. 8), и один модуль с 7 светодиодами должен покрывать 96x8 каналов SuperFGD. Всего необходимо 93 модуля LGP для полного покрытия детектора.

Для управления модулями LGP была разработана специальная электронная плата (рис. 9).

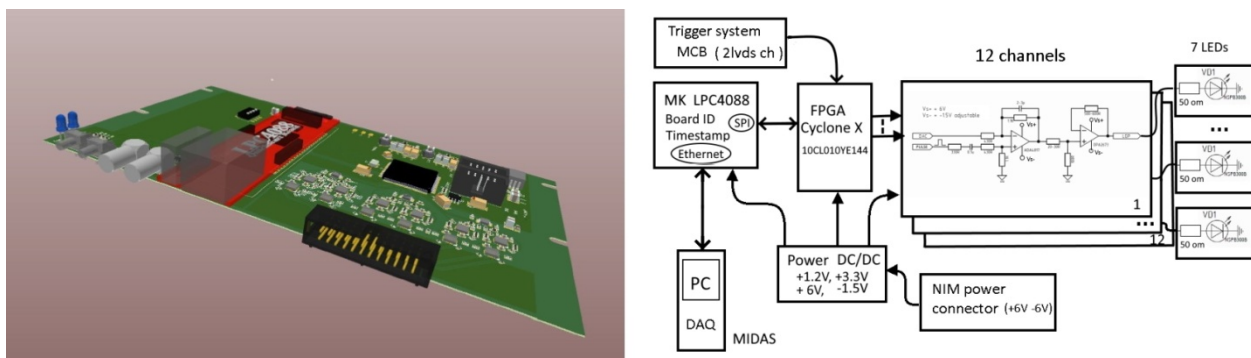


Рис.9 Специальная электронная плата для модулей LGP.

Плата состоит из микроконтроллера LPC4088, FPGA (Cyclone10 LE) и 12 каналов аналоговых драйверов. Разработанная схема позволяет принимать команды по протоколу UDP для управления длительностью и амплитудой импульсов калибровочного светодиода. На данный момент перед серийным производством проводится окончательная отладка схемы. После этого мы изготовим необходимое количество блоков. В начале 2022 года нам необходимо установить и настроить систему калибровки на SuperFGD.

Далее, сфера ответственности группы ОИЯИ - проектирование платформы и оборудования для сборки уникальной мишени SuperFGD. Весьма вероятно, что в конечном итоге перед ОИЯИ будет поставлена задача создать эту платформу и обеспечить процедуру сборки мишени в J-PARC перед ее установкой на ее место в эксперименте. Сборка мишени на этой специальной платформе должна состояться в течение 2022 года.

Платформа SuperFGD (рис.10) предназначена для:

- сборки детектора SuperFGD на лесках на первом этапе, представляющим собой сборку детекторной матрицы, состоящей из сцинтилляционных кубиков размером 1 см³, расположенных слоями, размером 192x184 кубика и высотой 56 кубиков в соответствии с технологией сборки. (2021-2022);
- сборки детектора на втором этапе - установка оптических волокон, плат МРРС, системы калибровки и гибких кабелей для подключения системы регистрации (2022 г.);
- калибровка оптических каналов детектора и установка компонентов детектора (2022 г.);
- обслуживание детектора (2023-2024 +)

Конструкция платформы и ее составные части на каждом этапе сборки обеспечивают беспрепятственный доступ к детектору со всех сторон и надежную фиксацию детектора в штатном пространственном положении. По своему применению платформа относится к объектам наземного обеспечения специального назначения и предназначена для использования в помещениях

промышленного типа, лабораториях, капитальных жилых и других подобных помещениях.

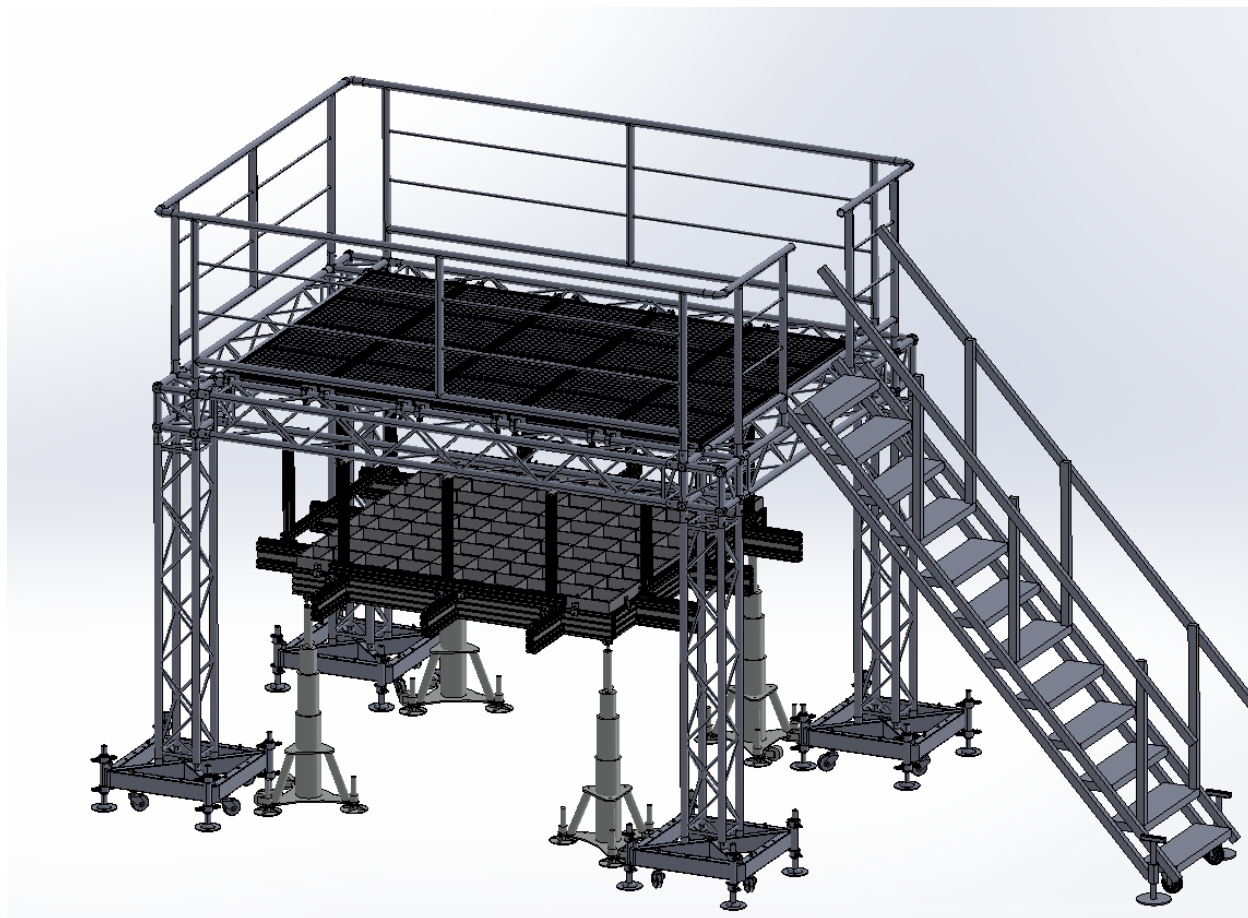


Рис.10 Общий вид платформы.

Мишень будет собрана на нижней решетке (Рис.10), начиная с нижней пластины и двух боковых стенок, образующих угол. Все стенки мишени (включая верхнюю и нижнюю панели) будут иметь отверстия с периодом 1 см для волокон. Платформа обеспечит процедуру сборки сначала на лесах и вертикальных спицах, которые будут заменены на оптические волокна после сборки полной матрицы сцинтилляционных кубиков и установки двух других боковых стенок и верхней панели.

Наши конструкторы выполнили расчет прочности и жесткости основания для сборки мишени и платформы для доступа к мишени сверху по строительным нормам в сейсмических регионах Дальнего Востока (9 баллов, 0,65 g) и показали, что конструкция соответствует требованиям сейсмостойкости. Расчеты будут продолжены в соответствии со спектром частот землетрясений, предоставленным японскими коллегами.

В 2022-23 годах участники ОИЯИ планируют присоединиться к исследовательской работе по созданию veto-детектора (Outer detector) Hyper-Kamokande, который предназначен для исключения фоновых событий, вызванных космическими мюонами. Этот детектор будет оснащен 6700 сверхчувствительными фотоумножителями (ФЭУ) диаметром примерно 20 см. Группа ОИЯИ планирует разработать систему крепления ФЭУ для внешнего детектора установки Hyper-

Kamokande, создать шифтеры для фотоумножителей и соответствующее электронное оборудование.

Подчеркнем, что наша группа была приглашена к участию в эксперименте T2K лидерами коллаборации T2K и J-PARC (см. письма в приложении) для обеспечения проведения уникальной сборки и технического обслуживания трехмерной сцинтилляционной активной мишени нового типа. и участия в анализе данных по измерению фазы ср-смешивания. Мы тесно сотрудничаем с ИЯИ РАН по созданию SuperFGD, подписан соответствующий протокол о сотрудничестве между ОИЯИ и ИЯИ РАН.

Участники проекта имеют большой опыт работы со сцинтилляционными детекторами, включая создание части мюонной системы эксперимента CDF, тестовых модулей э.м. калориметра и вето-системы эксперимента Mu2e; измерение массы топ-кварка на CDF, моделирование для Mu2e, анализ данных эксперимента NA61 / SHINE, создание интерфейсных плат для калориметра Mu2e и электроники для других экспериментов.

С точки зрения позиций в эксперименте T2K отметим, что Борис Попов является руководителем группы по анализу данных для эксперимента T2K, полученных на графитовой мишени в ЦЕРНе, Юрий Давыдов - руководитель группы сборки мишени SuperFGD, Владимир Глаголев - представитель IB.

Над этим проектом у нас работают 7 молодых ученых и инженеров. Более того, в следующие три года мы собираемся привлечь 2-3 молодых студентов/аспирантов к анализу данных T2K-II и дальнейшему развитию проекта НК.

Оценка кадровых ресурсов

Name	FTE	Positon	Work (apart common duties like shifts)
A.M. Artikov	0.5	Head of sector	SuperFGD cube tests
V.Yu. Baranov	1.0	Junior researcher	SuperFGD cube tests
A.V. Boikov	1.0	engineer	SuperFGD calibration system
A.O. Brazhnikov	0.3	design engineer	platform and tooling for SFGD assembly
J.A. Budagov	0.3	Chief researcher	SuperFGD
Yu.I. Davydov	0.8	Head of department	SuperFGD assemble group leader
D.L. Demin	0.3	Head of sector	Tests at DLNP Linak-200
V.V. Glagolev	0.6	DLNP Deputy director	SuperFGD
N.V. Khomutov	0.3	scientist	Firmware development
N.V. Kirichkov	0.3	head of the design department	platform and tooling for SFGD assembly
V.I. Kiseeva	1.0	Young researcher	Monte Carlo, data analyses
A.O. Kolesnikov	0.8	scientist	SuperFGD tests
A.V. Krasnoperov	0.3	scientist	Software support
K.K. Limarev	1.0	PhD student	Monte Carlo, data analyses
V.L. Malyshev	0.5	scientist	SuperFGD tests
B.A. Popov	1.0	Senior scientist	Data analyses
A.V. Shaikovskiy	0.7	design engineer category 1	platform and tooling for SFGD assembly
A.A. Sinitsa	0.4	design engineer category 2	platform and tooling for SFGD assembly
I.A. Suslov	1.0	Senior scientist	Monte Carlo, data analyses
V.V. Tereschenko	0.8	Head of group	SuperFGD calibration system
S.V. Tereschenko	0.6	Engineer	SuperFGD calibration system
I.I. Vasilyev	1.0	Junior researcher	SuperFGD cube tests
Total FTE	14.5		

Обоснование сметной стоимости

В течение 2022-2024 годов планируется провести исследовательские работы по созданию детектора (Outer detector) НК, в частности, выбрать подходящий ФЭУ большого диаметра из 3-4 различных типов. Также необходимо провести НИР и создать шифтерную пластину, крепеж, кабельные соединения и разработать крепления ФЭУ внутри объема НК. Кроме того, планируется участие в дальнейшей модернизации ближнего детектора ND280.

Для обеспечения закупки образцов 3-4 различных типов фотоэлектронных умножителей с фотокатодом большого диаметра (от 7 до 20 см) затраты для НИР на 2022-2023-2024 годы ожидаются в размере 20-20-10 тыс. \$.

Для оснащения стенда для испытаний образцов ФЭУ нам потребуется световая изоляция, механические и электронные компоненты, компьютер. Ожидаемые затраты на 2022-2023-2024 гг. составят 30-20-30 тыс. \$.

Для анализа данных и Монте-Карло моделирования требуется сервер данных, 2-3 компьютера с мониторами и ноутбуки. Ожидаемые затраты на 2022-2023-2024 гг. составят 10-15-10 тыс. \$.

Для создания шифтерных пластин для ФЭУ внешнего детектора НК ожидается проведение НИР с химическими заводами по производству пластикового сцинтиллятора со специальными добавками. Ожидаемые затраты на 2022-2023-2024 гг. составят 20-20-15 тыс. \$.

Simulation and data analysis	2022 Improvement of T2K (anti) neutrino flux uncertainty down to 3-4%. Adapting and developing T2K analysis method with respect of upgraded ND280 detector.	2023 T2K data analysis	2024 T2K data analysis
SuperFGD mechanics. Finalize design of the SuperFGD assembly platform.	\$ 8 k Assembling of the SuperFGD	\$ 10 k Hyper-Kamiokande Outer detector PMT support system design	\$ 10k Hyper-Kamiokande Outer detector PMT support system design
RnD for detector subsystems. SuperFGD properties investigations.	Assembling and start-up of the SuperFGD at near detector facility. Study of the SuperFGD properties. RnD with PMT samples and shifters for Hyper-Kamiokande Outer detector.	RnD with PMT samples and shifters for Hyper-Kamiokande Outer detector.	RnD with PMT samples and shifters for Hyper-Kamiokande Outer detector. Finalize design of the shifters.
Electronic for SuperFGD LED calibration design and DAQ	Materials \$ 20 k (scintillators, fibers) Equipment \$ 32 k (PMT's, elect. blocks, stand computer)	Materials \$ 20 k (shifters, mech. parts) Equipment \$ 30 k (PMT's, elect. blocks)	Materials \$ 15 k (shifters, mech. parts) Equipment \$ 30 k (PMT's, elect. blocks)
SuperFGD/ND280 maintenance, T2K data taking shifts, meetings, conferences Operation fee	Creation, assembly and start-up of the calibration system. DAQ support of the SuperFGD. Equipment \$ 20 k Participation in the SuperFGD start-up, data taking shifts, meetings \$ 85 k \$ 25 k	Development of electronics and DAQ for further upgrade of the ND280 and Hyper-Kamiokande (Outer detector) Equipment \$ 15k SuperFGD/ND280 maintenance, T2K data taking shifts, meetings, conferences \$ 85 k \$ 35 k	Development of electronics and DAQ for further upgrade of the ND280 and Hyper-Kamiokande Equipment \$ 10 k SuperFGD/ND280 maintenance, T2K data taking shifts, meetings, conferences \$ 85 k \$ 35 k

ССВУ-анализ

Сильные стороны проекта, несомненно, заключаются в его фундаментальности и сосредоточении на недостающих модельных параметрах физики нейтрино - измерении параметра смешивания нейтрино, ответственного за нарушение ср-четности и улучшении точности параметров смешивания нейтрино, θ_{23} and Δm_{32}^2 .

Эксперимент T2K-II основан на хорошо разработанной относительно простой методике восстановления Черенковского света в воде и оптимальных параметрах расстояния до дальнего детектора и энергии нейтрино для успешного и, вероятно, первого в мире результата измерения δ_{cp} .

Дальнейшие цели включают участие группы в проекте Hyper-Kamiokande нового поколения, который станет продолжением эксперимента T2K-II. Hyper-K, помимо изучения нейтрино от ускорителя, предоставит широкую программу физики нейтрино, в частности, обнаружение астрофизических нейтрино из таких источников, как аннигиляция темной материи, всплески гамма-излучения и ветры пульсаров, что может еще больше улучшить наше понимание некоторых из самых захватывающих и наименее изученных явлений во Вселенной.

Следует отметить, что по сравнению с экспериментами в США (NOvA, LBNE) здесь есть огромное преимущество в виде отсутствия колоссальной проблемы с получением виз в США и запрета доступа в национальные лаборатории США для сотрудников ОИЯИ.

Слабые стороны проекта - возможные задержки в реализации из-за пандемии.

Более длинная база в эксперименте DUNE означает, что их измерения будут больше зависеть от вклада вещества в осцилляции, что придаст им большую чувствительность к иерархии масс нейтрино.

Ожидается, что измерение иерархии масс может быть выполнено не только на НК, но и на комбинированном анализе будущих данных, поступающих из текущих экспериментов, таких как NOvA, T2K и реакторных экспериментов.

Ссылки

1. <http://www.jinr.ru/posts/68584/>
2. Nature 580 (2020) 7803, 339-344
3. K. Abe et al. [T2K Collaboration], arXiv:1607.08004 [hep-ex]
4. J-PARC Neutrino Beamline Upgrade Technical Design Report
e-Print: 1908.05141 [physics.ins-det]
5. T2K ND280 Upgrade - Technical Design Report, CERN-SPSC-2019-001 (SPSC-TDR-006), e-Print: 1901.03750 [physics.ins-det]
6. de Gouvea, J. Jenkins, and B. Kayser, Phys. Rev. D71, 113009 (2005), arXiv:hep-ph/0503079 [hep-ph].
7. H. Nunokawa, S. J. Parke, and R. Zukanovich Funchal, Phys. Rev. D72, 013009 (2005), arXiv:hep-ph/0503283 [hep-ph].
8. X. Guo et al. (Daya-Bay), (2007), arXiv:hep-ex/0701029.
9. J. K. Ahn et al. (RENO), (2010), arXiv:1003.1391 [hep-ex].
10. F. Ardellier et al. (Double Chooz), (2006), arXiv:hep-ex/0606025.
11. F. An et al. (JUNO), (2015), arXiv:1507.05613 [physics.ins-det].
12. S.-B. Kim, in Neutrino Oscillation Workshop (NOW 2014) Conca Specchiulla, Otranto, Lecce, Italy, September 7-14, 2014 (2014) arXiv:1412.2199 [hep-ex].
13. S. Ahmed et al. (ICAL), (2015), arXiv:1505.07380 [physics.ins-det].
14. M. G. Aartsen et al. (IceCube PINGU), (2014), arXiv:1401.2046 [physics.ins-det].
15. U. F. Katz (KM3NeT), in Proceedings of the 15th International Workshop on Neutrino Telescopes (Neutel 2013) (2014) arXiv:1402.1022 [astro-ph.IM].

16. V. D. Barger, K. Whisnant, and R. J. N. Phillips, Phys. Rev. Lett. 45, 2084 (1980).
17. S. Pakvasa, Proceedings, 20th International Conference on High-Energy Physics, AIP Conf. Proc. 68, 1164 (1980).
18. K. Abe et al. (T2K), Phys. Rev. D 91, 072010 (2015), arXiv:1502.01550 [hep-ex].
19. M. Sanchez, "Results and Prospects from the NOvA Experiment," Talk presented at the XVII International Workshop on Neutrino Factories and Future Neutrino Facilities (NuFact15), Rio de Janeiro, Brazil, August. 2015.
20. R. Wendell (Super-Kamiokande), Proceedings, 26th International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics (Neutrino 2014), AIP Conf. Proc. 1666, 100001 (2015), arXiv:1412.5234 [hep-ex].
21. <http://lbne.fnal.gov/>, LBNE collaboration.
22. T2K Collaboration (2011). "Indication of Electron Neutrino Appearance from an Accelerator-produced Off-axis Muon Neutrino Beam". Physical Review Letters. 107 (4): 041801.
23. T2K Collaboration (2014). "Precise Measurement of the Neutrino Mixing Parameter θ_{23} from Muon Neutrino Disappearance in an Off-Axis Beam". Phys. Rev. Lett. 112 (18): 181801.
24. K. Abe et al., "Hyper-Kamiokande Design Report." KEK Preprint 2016-21, ICRR-Report-701-2016-1, 2 2016.
25. N. Abgrall et al. [NA61/SHINE Collaboration], Measurements of $\pi^\pm$, $K^\pm$ and proton double differential yields from the surface of the T2K replica target for incoming 31 GeV/c protons with the NA61/SHINE spectrometer at the CERN SPS Eur. Phys. J. C 79 (2019) 2, 100; e-Print: 1808.04927 [hep-ex]

**Предлагаемый план-график и необходимые ресурсы для осуществления
Проекта T2K-II / Hyper-Kamiokande**

Наименования затрат, ресурсов, источников финансирования		Стоимость (тыс. долл.). Потреб- ности в ресурсах	Предложение лаборатории по распределению финансирования и ресурсов		
			1 год	2 год	3 год
Затраты	Основные узлы оборудования, работы по его обновлению, наладке и т.п.	165	60	55	50
	Строительство/ремонт помещений				
	Материалы	55	20	20	15
Необходимые ресурсы	Нормо-час	Ресурсы			
		– конструкторского бюро лаб.; – Опытного производства ОИЯИ; -опытного производства лаборатории; – ускорителя; – ЭВМ. Эксплуатационные расходы.	7000ч 600ч 420ч	3000ч 200ч 140ч	2000ч 200ч 140ч
Источники финансирования	Бюджетные средства	Затраты из бюджета, в том числе инвалютные средства	600	200	205
	Внебюджетные средства	Вклады коллаборантов. Средства по грантам. Вклады спонсоров. Средства по договорам. Другие источники финансирования и т.д.	30 10	10 5	10

РУКОВОДИТЕЛИ ПРОЕКТА

В.В.Глаголев Ю.И.Давыдов

Смета затрат по проекту T2K-II / Hyper-Kamiokande

Наименование статей затрат	Полная стоимость	1 год	2 год	3 год
Прямые расходы на Проект				
1. Ускоритель, реактор	420 ч	140 ч	140 ч	140 ч
2. ЭВМ				
3. Компьютерная связь				
4. Конструкторское бюро	7000 ч	3000 ч	2000 ч	2000 ч
5. Опытное производство	600 ч	200 ч	200 ч	200 ч
6. Материалы	55 k\$	20 k\$	20 k\$	15 k\$
7. Оборудование	165 k\$	60 k\$	55 k\$	50 k\$
8. Строительство/ремонт помещений				
9. Оплата НИР, выполняемых по договорам (коллaboraц. взнос)	95 k\$	25 k\$	35 k\$	35 k\$
10. Командировочные расходы, в т.ч:				
а) в страны нерублевой зоны	255k\$	85 k\$	85 k\$	85 k\$
б) в города стран рублевой зоны	30 k\$	10 k\$	10 k\$	10 k\$
в) по протоколам				
Итого по прямым расходам:	600 k\$	200 k\$	205 k\$	195 k\$

РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА

ДИРЕКТОР ЛАБОРАТОРИИ

ВЕДУЩИЙ ИНЖЕНЕР-ЭКОНОМИСТ ЛАБОРАТОРИИ

September 6, 2019

Academician Viktor Matveev
Director of the JINR
cc: Professor Vadim Bednyakov
Director of JINR-DLNP
cc: Professor Vladimir Glagolev
Deputy Director of JINR-DLNP

Dear Academician Matveev,

This letter is to express our interest in collaborating with the Joint Institute for Nuclear Research (JINR) within the framework of the T2K experiment at J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex), Tokai, Japan. J-PARC is the best facility in the world for low and intermediate-energy nuclear/hadron and particle physics experiments.

As you know, the T2K experiment is a long baseline neutrino oscillation experiment and takes a leading position in the world in the study of neutrino physics.

The experiment uses an intense proton beam generated by the J-PARC Main Ring synchrotron, and is composed of a neutrino beamline, a near detector complex (ND280), and a far detector (Super-Kamiokande) located 295 km away from J-PARC.

We welcome the participation of JINR scientists from Dzhelepov Laboratory of Nuclear Problems (DLNP) in the T2K experiment. We are sure that JINR participation in the T2K experiment will be useful for JINR as well as for KEK/J-PARC and will make the cooperation between the two leading world physics scientific centers closer.

Taking into account the great and wide experience and high qualifications of physicists, engineers and technicians from DLNP JINR, we hope that in the case of JINR's participation in T2K, the JINR-T2K group can efficiently become active in the different detector systems, including their construction.

I would be grateful if you could discuss whether or not full participation of JINR's scientists, and financial support for them, in the T2K international collaboration would fit into the research strategy of your institute.

Should you have any questions regarding terms of collaboration, we would be happy to discuss it with you and your experts in the near future.

Your sincerely,



Atsuko K. Ichikawa
Spokesperson of the T2K Collaboration



Federico Sanchez Nieto
International Co-spokesperson of the
T2K collaboration

October 20, 2020

Prof. Victor A. Matveev
Director of JINR
6 Joliot-Curie St.
141980 Dubna, Moscow Region
Russia

Dear Professor Victor Matveev,

We would like to inform you with a great pleasure about the positive decision of the T2K Institutional Board regarding the application of the JINR group led by Dr Vladimir Glagolev to join the T2K collaboration. This group is already made a valuable contribution to the construction of the Super Fine-Grained Detector in the framework of the upgrade program of the near neutrino detector ND280 and now has become a full member of the T2K Collaboration. We are confident in further active work of the JINR group in the T2K experiment and expect that this group will play a significant role in conducting the experiment and in the analysis of the experimental data.

We also take this opportunity to express our deep gratitude to you for your continued support of the participation of Russian scientists in the T2K experiment.

Sincerely Yours,



Prof Atsuto Ichikawa
T2K Spokesperson



Prof Federico Sanchez
T2K International Co-Spokesperson



JAPAN PROTON ACCELERATOR RESEARCH COMPLEX

Prof. Naohito SAITO

2-4 Shirakata, Tokai-mura, Ibaraki,
305-1195, Japan

Phone: +81-29-284-4494
FAX :+81-29-284-4571
e-mail: naohito.saito@j-parc.jp

March 2021

Prof. Grigory V. Trubnikov
Director of JINR
6 Joliot-Curie St.
141980 Dubna, Moscow Region
Russia

Dear Prof. Grigory Trubnikov,

I am writing to express our deep respects for the achievements of the group from JINR, led by Dr. V. Glagolev and Dr. Yu. Davydov, in the upgrade of the near detector ND280 of the T2K experiment. We acknowledge the members of the group have great experience in renowned experiments such as CDF, ATLAS. Thanks to their efforts, together with colleagues from INR (Moscow), the creation of a unique SuperFGD target of a new type becomes a reality. The JINR colleagues make a significant contribution to the development of engineering tools and procedures for target assembly, calibration and testing of properties of target elements.

We hope that you and JINR PAC will strongly support the further participation of the JINR group in T2K-II and in the approved Japanese and worldwide leadership Hyper-Kamiokande experiment. We expect that JINR scientists will make a great contribution to data analysis, electronics, DAQ and the construction of the Hyper-Kamiokande detector.

We are looking forward to fruitful scientific results and strengthening scientific cooperation between J-PARC and JINR.

Sincerely Yours,
Director of J-PARC Center
Naohito SAITO

CC:

Dr. Viktor Matveev
Dr. Vadim Bednyakov
Dr. Vladimir Glagolev