

*Форма открытия (продления) Проекта /
Подпроекта КИП*

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института

_____/_____
“ ____ ” _____ 202_ г.

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОДЛЕНИЯ
ПРОЕКТА ПО НАПРАВЛЕНИЮ ИССЛЕДОВАНИЙ
В ПРОБЛЕМНО-ТЕМАТИЧЕСКОМ ПЛАНЕ ОИЯИ**

1. Общие сведения о проекте

1.1. Шифр темы: 02-2-1144-2021 (для продлеваемых проектов) – *шифр темы включает дату открытия, дата окончания не указывается, т. к. она определяется сроками завершения проектов в теме.*

1.2. Шифр проекта (для продлеваемых проектов и подпроектов) 02-2-1144-2021/2023

1.2. Лаборатория: Лаборатория ядерных проблем

1.3. Научное направление: 3 – физика элементарных частиц

1.4. Наименование проекта: Эксперимент T2K-II

1.5. Руководитель проекта: Ю.И. Давыдов

1.6. Заместитель руководителя проекта

2. Научное обоснование и организационная структура

2.1. Аннотация

Основная цель данного проекта – полноценное участие физиков ОИЯИ в экспериментальной программе мирового уровня по нейтринной физике - в модернизированном эксперименте T2K-II и в перспективе в проекте Нурер-Kamiokande, который в настоящее время находится в стадии подготовки.

Экспериментальная программа T2K-II продлевает время работы первоначального эксперимента T2K до конца 2026 года, что позволит в итоге набрать статистику до 10×10^{21} протонов на мишень, 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. Для достижения этих целей проводится модернизация ускорительного комплекса J-PARC и ближнего детектора – ND280.

Ближайшей задачей проекта T2K является завершение модернизации ближнего детектора ND280. Модернизация ND280 включает создание уникального активного детектора с мелкой сегментацией (SuperFGD, или SFGD), состоящего примерно из 2 миллионов сцинтилляционных кубиков, времяпролетных детекторов (TOF) и двух время-проекционных камер (HA-TPC). Активная мишень SuperFGD является важнейшей частью модернизации ближнего детектора ND280. Благодаря своей мелкоячеистой геометрии SuperFGD обладает уникальной способностью восстанавливать короткие треки и регистрировать быстрые нейтроны, что требуется для реконструкции энергии (анти)нейтрино, а также для повышения эффективности восстановления треков заряженных частиц, вылетающих под большими углами (в том числе перпендикулярно и назад) по отношению к направлению налетающего (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 – специального короба, 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 короба. Разработан порядок сборки и дооснащения мишени электронными платами для считывания сигналов и калибровки.

Ученые ОИЯИ, участвующие в проекте, имеют большой опыт моделирования и анализа данных, в частности в измерении массы топ-кварка на CDF, моделировании для Mu2e, анализе данных эксперимента NA61/SHINE. Кроме того, имеется обширный опыт создания систем сбора данных с экспериментальных установок, работы со сцинтилляционными детекторами, включая создание части мюонной системы эксперимента CDF, электромагнитного калориметра и вето-системы эксперимента Mu2e, создание интерфейсных плат для калориметра Mu2e и электроники для других экспериментов.

2.2. Научное обоснование (цель, актуальность и научная новизна, методы и подходы, методики, ожидаемые результаты, риски)

Цель проекта

Целями проекта являются полноценное участие физиков ОИЯИ в экспериментальной программе мирового уровня по нейтринной физике на установке T2K-II, включающее в себя:

- 1) Набор новых физических данных, их анализ для измерения параметров осцилляций нейтрино θ_{23} and Δm_{32}^2 с точностью $1,7^\circ$ и 1% соответственно
- 2) 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
- 3) Поиск кандидатов в легкую темную материю на данных ND280 и Super-Kamiokande.

Актуальность и научная новизна

Результаты, полученные экспериментом T2K на данных, набранных до 2020 года дают указания на важные итоги, которые могут объяснить некоторые еще не известные науке явления. T2K получил первое указание на появление электронных нейтрино в пучке мюонных нейтрино, а

затем подтвердил это на уровне более 7σ . T2K впервые получил указание на значительную асимметрию вещества-антивещества в осцилляциях нейтрино. Более точное измерение асимметрии осцилляций нейтрино-антинейтрино может приблизить нас к объяснению эволюции нашей Вселенной, в которой преобладает материя.

В 2014 году данные T2K показали наиболее точное измерение угла смешивания θ_{23} и разности масс Δm_{32}^2 . Данные T2K также отдают небольшое предпочтение нормальной иерархии масс нейтрино. Основным результатом T2K является измерение фазы δ_{CP} . Текущие данные T2K свидетельствуют о сильном нарушении CP, CP-сохранение исключено на 90% CL. Следует отметить, что результаты NOvA продолжают предпочитать сохранение CP-инвариантности. Поэтому все новые измерения с модернизированным ближним детектором ND280 являются актуальными и дадут новые данные для понимания строения мира.

Методы и подходы, методика

T2K («Токаи то Камиока») - эксперимент по физике элементарных частиц, изучающий осцилляции ускорительных нейтрино (Рис.1)..

В эксперименте с нейтрино T2K-II будет накоплено 10×10^{21} протонов на мишень, что в 3 раза 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 введением в строй детектора Super-Kamiokande, с увеличением массы дальнего детектора с 22,5 кт до более чем 200 кт.

При старой конфигурации ND280 систематические ошибки в определении фазы CP- нарушения составляли порядка 6% и задача состояла в снижении этого числа до $\sim 4\%$ для T2K-II и до $\sim 3\%$ или ниже для Super-Kamiokande. По проведенным оценкам, модернизация ND280 уменьшит систематическую неопределенность примерно до 4%, что позволит получить более точные значения параметров осцилляций нейтрино и нарушения CP-четности.

Для достижения точности 4-5% в предсказании потоков нейтрино и антинейтрино для будущих экспериментов с нейтрино на ускорителях (таких как T2K-II, DUNE, HK и др.) необходимо измерить выходы адронов во взаимодействиях протон-ядро и пион-ядро с использованием адронных пучков. При активном участии сотрудников группы летом 2022 в ЦЕРН проведен сеанс набора данных с использованием точной копии мишени T2K: накоплено 180 миллионов событий! (для сравнения сейчас в анализе данных T2K используются данные NA61/SHINE, которые были накоплены в 2010 году ($\sim 10\text{M}$ событий)). Проведенные измерения выходов адронов служат для улучшенного предсказания (анти)нейтринных потоков и более точных измерений параметров нейтринных осцилляций в T2K-II.

Планируемые работы в рамках проекта включают:

- Участие в программе включения в эксперимент модернизированного детектора ND280, в инженерных наборах данных - 2023-2024г.г.
- Разработка системы сбора данных и контроля SFGD/ND280 на основе системы MIDAS – 2024г.
- Участие в наборах новых физических данных на T2K-II и их анализ - 2024-2026г.г.
- Продолжение работ по поиску легкой темной материи на данных ND280 и Super-Kamiokande - 2024-2026г.г.
- Анализ данных по измерению выходов адронов с точной копией мишени T2K для улучшенного предсказания (анти)нейтринных потоков и более точных измерений параметров нейтринных осцилляций в T2K-II - 2023-2024г.г.
- Разработка алгоритмов регистрации взаимодействий электронных нейтрино в SFGD и включение их в анализ данных с ближнего детектора SFGD – 2024г.

- Разработка, унификация алгоритмов по реконструкции треков и получение физических параметров в случае единичных и множественных событий – 2024-2025г.г.

Ожидаемые результаты

При увеличении мощности пучка протонов до 1.3 МВт будет набрано 10×10^{21} 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 лучше 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} .

Риски

К рискам не полного выполнения проекта можно отнести задержку с началом фазы II эксперимента T2K. Это может привести к меньшей набранной статистике и не полному достижению целей к концу 2026 году. Однако, в случае такого варианта, это будет компенсировано в новой фазе эксперимента – Гипер-Камиоканде, начинающейся в 2027 году.

К рискам невыполнения обязательств нашей группы относится недофинансирование со стороны Института нашего участия в работе коллаборации.

2.3. Предполагаемый срок выполнения: 2024-2026

2.4. Участвующие лаборатории ОИЯИ: ЛЯП

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
ИИЯ РАН	Россия	Москва	Куденко Ю.Г. +8 чел.	Совместные работы

2.6. Организации-соисполнители (те сотрудничающие организации/партнеры без финансового, инфраструктурного участия которых выполнение программы исследований невозможно. Пример — участие ОИЯИ в экспериментах LHC в CERN)

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	9.4	
2.	инженеры	2.8	
	Итого:	12.2	

3.2. Доступные кадровые ресурсы

3.2.1. Основной персонал ОИЯИ

№№ п/п	Категория работников	ФИО	Подразделение	Должность	Сумма FTE
1.	научные работники	Артиков А.М.	НЭОМАП ЛЯП	нач. сектора	0.5
2.		Баранов В.Ю.	НЭОМАП ЛЯП	нс	1.0
3.		Бойков А.В.	НЭОМАП ЛЯП	мнс	0.6
4.		Давыдов Ю.И.	НЭОМАП ЛЯП	нач. отдела	0.7
5.		Глаголев В.В.	Рук-во ЛЯП	зам. дир.	0.5
6.		Хомутов Н.В.	НЭОМАП ЛЯП	нс	0.5
7.		Колесников А.О.	НЭОМАП ЛЯП	мнс	0.8
8.		Красноперов А.В.	ОНИРИ ЛЯП	снс	0.3
9.		Крылов В.А.	НЭОМАП ЛЯП	нс	0.4
10.		Попов Б.А.	ОНИРИ ЛЯП	снс	1.0
11.		Суслов И.А.	НЭОМАП ЛЯП	снс	1.0
12.		Терещенко В.В.	ОНИРИ ЛЯП	нач. сектора	0.7
13.		Васильев И.И.	НЭОМАП ЛЯП	нс	0.7
14.		Зимин И.Ю.	НЭОМАП ЛЯП	мнс	0.7
15.	инженеры	Атанова О.С.	НЭОМАП ЛЯП	инженер	0.7
16.		Бражников А.О.	КО ЛЯП	инженер	0.2
17.		Киричков Н.В.	КО ЛЯП	нач. КО	0.2
18.		Кисеева В.И.	НЭОМАП ЛЯП	инженер	1.0
19.		Шайковский А.В.	КО ЛЯП	инженер	0.2
20.		Терещенко С.В.	ОНИРИ ЛЯП	инженер	0.5
	Итого:				12.2

3.2.2. Ассоциированный персонал ОИЯИ

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

4. Финансовое обеспечение

4.1. Полная сметная стоимость проекта: 325 тысяч долларов США.

Прогноз полной сметной стоимости (указать суммарно за весь срок, за исключением ФЗП).
Детализация приводится в отдельной форме.

4.2. Внебюджетные источники финансирования

Предполагаемое финансирование со стороны соисполнителей/заказчиков — общий объем.

Руководитель проекта _____ / Ю.И. Давыдов /

Дата представления проекта в ДНОД _____

Дата решения НТС Лаборатории _____, номер документа _____

Год начала проекта _____

(для продлеваемых проектов) — год начала работ по проекту 2022

Предлагаемый план-график и необходимые ресурсы для осуществления Проекта

Наименования затрат, ресурсов, источников финансирования		Стоимость (тыс. долл.) потребности в ресурсах	Стоимость, распределение по годам		
			2024	2025	2026
	Международное сотрудничество (МНТС)	160	50	55	55
	Материалы	165	50	60	55
	Оборудование и услуги сторонних организаций (пуско-наладочные работы)				
	Пуско-наладочные работы				
	Услуги научно-исследовательских организаций				
	Приобретение программного обеспечения				
	Проектирование/строительство				
	Сервисные расходы (планируются в случае прямой принадлежности к проекту)				
Необходимые ресурсы	Нормо-час	Ресурсы			
		– сумма FTE,			
		– ускорителя/установки,			
		– реактора,.....			
Источники финансирования	Бюджетные средства	325	100	115	110
	Внебюджет (доп. смета)				
		Вклады соисполнителей			
		Средства по договорам с заказчиками			
		Другие источники финансирования			

Руководитель проекта _____ / _____ /

Экономист Лаборатории _____ / _____ /

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ ПРОЕКТА / ПОДПРОЕКТА КИП

НАИМЕНОВАНИЕ ПРОЕКТА / ПОДПРОЕКТА КИП

УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ ПРОЕКТА / ПОДПРОЕКТА КИП

ШИФР ПРОЕКТА / ПОДПРОЕКТА КИП

ШИФР ТЕМЫ / КИП

ФИО РУКОВОДИТЕЛЯ ПРОЕКТА / ПОДПРОЕКТА КИП

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 / КИП

ПОДПИСЬ

ФИО

ДАТА

РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА /
ПОДПРОЕКТА КИП

ПОДПИСЬ

ФИО

ДАТА

ОДОБРЕН ПКК ПО НАПРАВЛЕНИЮ

ПОДПИСЬ

ФИО

ДАТА

1. Общие сведения по проекту / подпроекту КИП

1.1. Научное направление

1.2. Наименование проекта / подпроекта КИП

1.3. Шифр проекта / подпроекта КИП

Пример (04-4-1140-1-2024/2027)

1.4. Шифр темы / КИП

Пример (тема 04-4-1140-2024, КИП 02-0-1065-2007)

1.5. Фактический срок реализации проекта / подпроекта КИП

1.6. Руководитель(ли) проекта / подпроекта КИП

2. Научный отчет

2.1. Аннотация

2.2. Развернутый научный отчет

2.2.1. Описание режима работы и функционирования основных систем и оборудования (для подпроекта КИП).

2.2.2. Описание проведенных экспериментов (для экспериментальных проектов).

2.2.3. Описание проделанной научной работы и полученных результатов.

2.2.4. Список основных публикаций авторов ОИЯИ, включая ассоциированный персонал по результатам работы по проекту (список библиографических ссылок).

2.2.5. Полный список публикаций (приложение в электронном виде, для журнальных публикаций с указанием импакт-фактора журнала).

2.2.6. Список докладов на международных конференциях и совещаниях (приложение в электронном виде).

2.2.7. Патентная деятельность (при наличии)

2.3. Статус и стадия (TDR, CDR, ongoing project) реализации проекта / подпроекта КИП

(включая процент реализации заявленных этапов по проекту / подпроекту КИП

(если применимо))

2.4. Результаты сопутствующей деятельности

2.4.1. Научно-образовательная деятельность. Список защищенных диссертаций.

2.4.2. Полученные гранты (стипендии) ОИЯИ.

2.4.3. Награды и премии.

2.4.4. Иные результаты (экспертная, научно-организационная, научно-популяризационная деятельность).

3. Международное научно-техническое сотрудничество.

Фактически участвующие страны, институты и организации

Организация	Страна	Город	Участники	Тип
-------------	--------	-------	-----------	-----

				соглашения

4. План/факт анализ использованных ресурсов: кадровых (в т.ч. ассоциированный персонал), финансовых, информационно-вычислительных, инфраструктурных

4.1. Кадровые ресурсы (фактически на время подачи отчета)

№.№ п/п	Категория работника	Основной персонал, сумма FTE	Ассоциированный персонал, сумма FTE
1.	научные работники		
2.	инженеры		
3.	специалисты		
	Итого:		

4.2. Фактическая сметная стоимость проекта / подпроекта КИП

Наименования затрат, ресурсов, источников финансирования		Стоимость (тыс. долл.) потребности в ресурсах	Предложение лаборатории по распределению финансирования и ресурсов				
			1 год	2 год	3 год	4 год	5 год
	Международное сотрудничество (МНТС)						
	Материалы						
	Оборудование и услуги сторонних организаций						
	Пуско-наладочные работы						
	Услуги научно-исследовательских организаций						
	Приобретение программного обеспечения						
	Проектирование/строительство						
	Сервисные расходы (<i>планируются в случае прямой принадлежности к проекту</i>)						
Необходимые ресурсы Нормо-час	Ресурсы						
	– Сумма FTE,						
	– ускорителя/установки,						
	– реактора						

Источники финансирования	Бюджеты е средства	Бюджет ОИЯИ (статьи бюджета)						
	Внебюджет (доп. смета)	Вклады соисполнителей Средства по договорам с заказчиками Другие источники финансирования						

4.3. Другие ресурсы

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)					

5. Заключение

6. Предлагаемые рецензенты

Руководитель темы / КИП

_____/_____
 “ ____ ” _____ 202_ г.

Руководитель проекта (шифр проекта) / подпроекта КИП

_____/_____
 “ ____ ” _____ 202_ г.

Экономист Лаборатории

_____/_____
 “ ____ ” _____ 202_ г.