

# Участие ОИЯИ в эксперименте Т2К-II

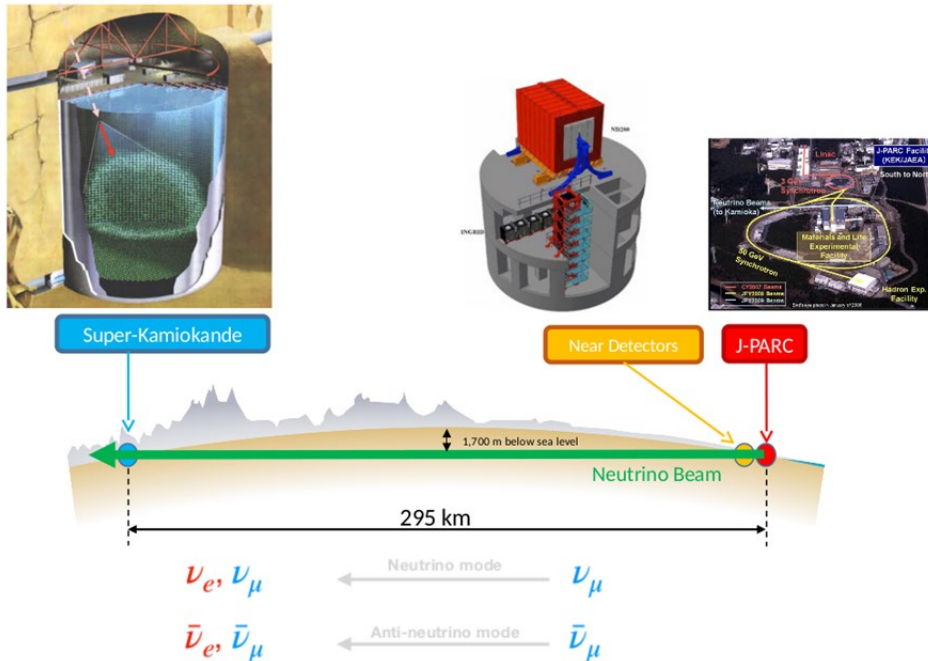
Ю.Давыдов

НТС ЛЯП

23.03.20223

# Эксперимент T2K/T2K-II

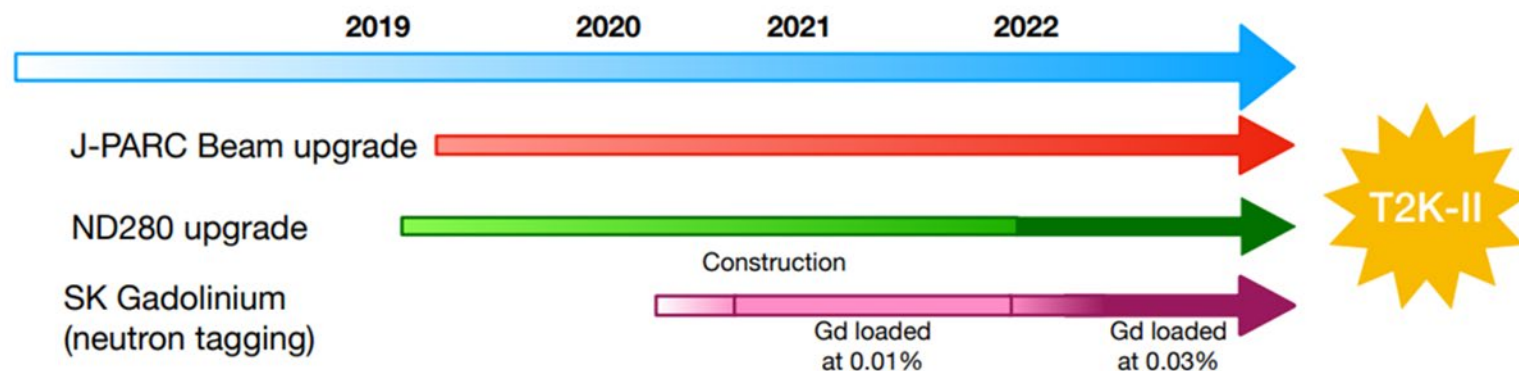
- T2K (Токай-то-Камиока) - это эксперимент с длинной базой, изучающий нейтринные осцилляции
- Нейтринный пучок, рождается в комплексе J-PARC и измеряется ближним детектором ND280 и дальним детектором Super-Kamiokande
- T2K начал набор данных в 2010 году
- Коллаборация включает более 570 человек из 78 институтов



- T2K был первым экспериментом, в котором наблюдалось появление электронных нейтрино в пучке мюонных нейтрино
- Он также обеспечил лучшее в мире измерение параметра осцилляций  $\theta_{23}$
- Дал указание на значительную асимметрию вещества-антивещества в осцилляциях нейтрино

# Модернизация T2K → T2K-II

- Модернизация канала вывода пучка (500 kW → 900 kW (2024) → 1.3 MW (2028))
- Модернизация ближнего детектора ND280
- Растворение Gd в воде Super-Kamiokande для регистрации нейтронов



После завершения модернизации T2K перейдет во вторую фазу T2K-II и этот проект будет действовать в 2024-2026 годах

# Ожидаемые результаты в эксперименте T2K-II

К концу 2026 г. будет накоплено  $10 \times 10^{21}$  протонов на мишень (утроение существующей статистики в 2024-2026г.г. )

К основным ожидаемым результатам T2K-II следует отнести:

- Набор новых физических данных, их анализ для измерения параметров осцилляций нейтрино  $\theta_{23}$  and  $\Delta m_{32}^2$  с точностью  $1,7^\circ$  и 1% соответственно
- Подтверждение на уровне  $3\sigma$  или более асимметрии вещество-антивещество в нейтринном секторе в широком диапазоне возможных значений параметра  $\delta_{CP}$ , ответственного за нарушение CP-четности

Работа эксперимента T2K-II планируется в 2024-2026 годах. В 2027 году эксперимент T2K-II заканчивает свою самостоятельную работу, а ближний детектор ND280 станет частью эксперимента Hyper-Kamiokande.

# Результаты работы за отчетный период (1)

Наша активность в Т2К началась в 2020 году

В 2021 г. ПКК по физике частиц одобрил наше участие в Т2К

С 2022 года проект Т2К/Т2К-II включен в ПТП ОИЯИ

- На инженеров ОИЯИ легла полная ответственность за разработку и создание системы для сборки уникального детектора SFGD. Было проведено проектирование, защита перед коллаборацией Т2К и воплощение в «железе» системы оснастки для сборки активной мишени SFGD в условиях высокой сейсмической активности. Оснастка включает в себя решетчатое основание и систему доступа сверху для обеспечения процедуры сборки мишени. Оборудование было отправлено в J-PARC летом 2022 г. и использовано для сборки SFGD.
- Группа ОИЯИ разработала полную методику сборки SFGD в рабочем корпусе с использованием сконструированной и изготовленной оснастки. Группа активно участвовала в сборке SFGD в J-PARC. SFGD собран в корпусе, установлены все спектросмещающие волокна и проведена проверка качества волокон после установки. В 2023 году будет проведено полное тестирование модернизированного ближнего детектора ND280 и его включение в эксперимент.
- Группа ОИЯИ играла ведущую роль в разработке системы калибровки SFGD. Нами разработан и изготовлен электронный блок в стандарте NIM для системы калибровки SFGD. Остальные 7 блоков собирались уже непосредственно в J-PARC при нашем активном удаленном консультировании коллег. Разработка электроники и прототипа системы калибровки докладывались на конференции, опубликована журнальная статья.

## Результаты работы за отчетный период (2)

- Нами проведены исследования оптических наводок между соседними кубиками SFGD мишени. Эти результаты важны для дальнейшего моделирования распространения света в элементах SFGD и восстановления треков. Результаты докладывались на рабочих совещаниях по модернизации ближнего детектора ND280, на семинаре ЛЯП, опубликованы в журнале.
- Уточнены систематические неопределенности по восстановлению импульсов по пробегу в ближнем детекторе T2K на существующих данных, материал представлен в виде T2K Note и будет использован в анализе данных с недостаточной информацией от время-проекционных камер.
- Выполнен расчет эффективностей «сшивания» реконструированных объектов (треков) в FGD, Escal и SMRD, подготовлена техническая нота с результатами исследования. Эти данные позволят уточнить систематические неоднозначности при восстановлении треков от частиц, проходящих в нескольких подсистемах ближнего детектора ND280.
- Начаты работы по поиску кандидатов легкой темной материи в электронном канале на данных ближнего детектора ND280 установки T2K.
- При активном участии сотрудников группы летом 2022 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 (~10М событий)). Проведенные измерения выходов адронов служат для улучшенного предсказания (анти)нейтринных потоков и более точных измерений параметров нейтринных осцилляций в T2K-II.

# Список публикаций за отчетный период

1. I. Alekseev, T. Arihara, V. Baranov et al. *SuperFGD prototype time resolution studies*. JINST 18 (2023) P01012.
2. T2K Collaboration, K.Abe et al. *Scintillator ageing of the T2K near detectors from 2010 to 2021*. JINST 17 (2022) 10, P10028.
3. Artikov, A., Baranov, V., Boikov, A. et al. *Investigation of Light Collection in Scintillation Cubes of the SFGD Detector*. Phys. Part. Nuclei Lett. 19, #6, p.784–791 (2022).
4. T Arihara, A Boikov, Yu I Davydov, O Drapier, H Kakuno, T Matsubara, S Tereshchenko and V Tereshchenko. *Development of the in-situ Calibration System using LEDs and Light Guide Plates for the SuperFGD*. Journal of Physics:Conference Series, 2374(2022), 012118.

*Две первые статьи опубликованы в журнале, входящем во второй квартиль*

# Планы наших работ в эксперименте T2K-II

- Участие в программе включения в эксперимент модернизированного детектора ND280, в инженерных наборах данных 2023-2024
- Разработка системы сбора данных и контроля SFGD/ND280 на основе системы MIDAS 2024
- Участие в наборах новых физических данных на T2K-II и их анализ 2024-2026
- Продолжение работ по поиску легкой темной материи на данных ND280 и Super-Kamiokande 2024-2026
- 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 2023-2024
- Разработка алгоритмов регистрации взаимодействий электронных нейтрино в SFGD и включение их в анализ данных с ближнего детектора SFGD 2024
- Разработка, унификация алгоритмов по реконструкции треков и получение физических параметров в случае единичных и множественных событий 2024-2025



# Кадровые ресурсы

№№ 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
	<b>Итого:</b>				<b>12.2</b>

# Необходимые ресурсы

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			

# Заключение

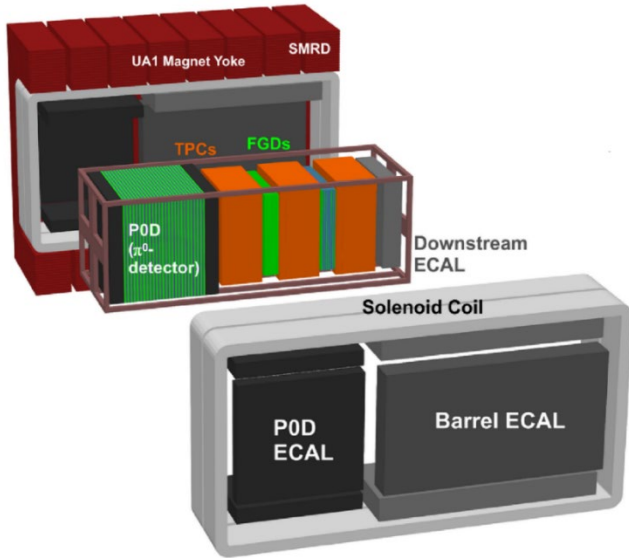
- Проект нашего участия в T2K был открыт 2022 году. Группа активно включилась в анализ данных, внесла заметный вклад в работы по модернизации ближнего детектора ND280.
- Ученые ОИЯИ планируют в 2024-2026 годах активное участие в анализе данных с ближнего детектора ND280 для получения новых результатов в измерениях осцилляционных параметров.
- Будет проводиться работа по созданию системы сбора данных с ближнего детектора ND280, по поддержке работы его подсистем.
- Эксперимент T2K-II закончит самостоятельную работу в конце 2026 года, после чего ближний детектор ND280 станет частью эксперимента Нурег-Камиоканде. В связи с этим просим поддержать наше участие в эксперименте T2K-II до его окончания (2024-2026 годы) при сравнительно невысоких финансовых затратах.

Back up slides

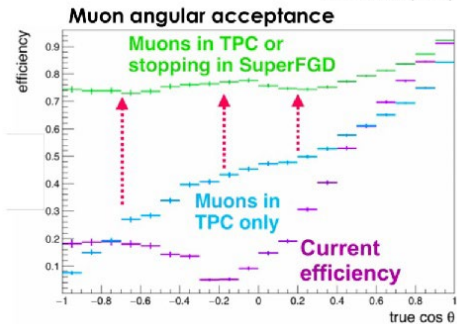
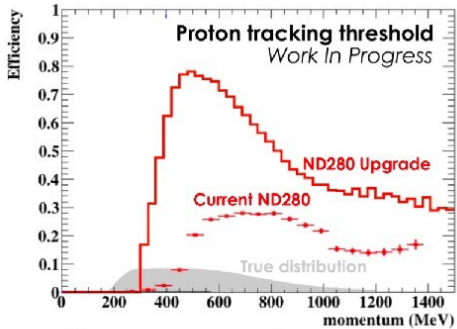
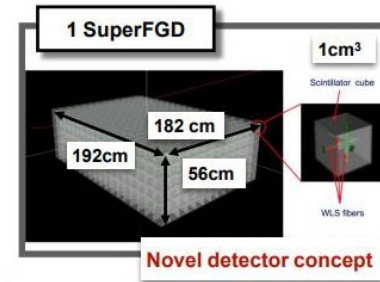
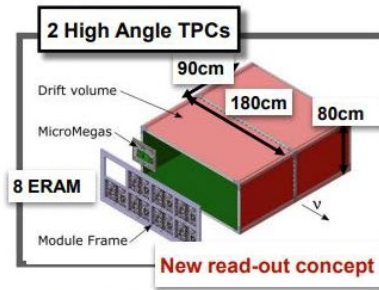
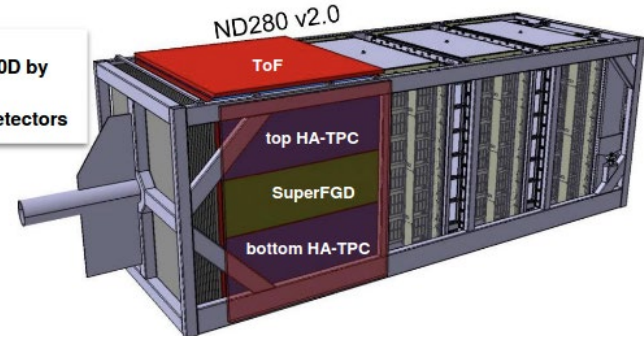
# Old ND280

# ND280 upgrade

# New ND280



Replace P0D by new subdetectors

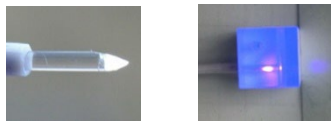
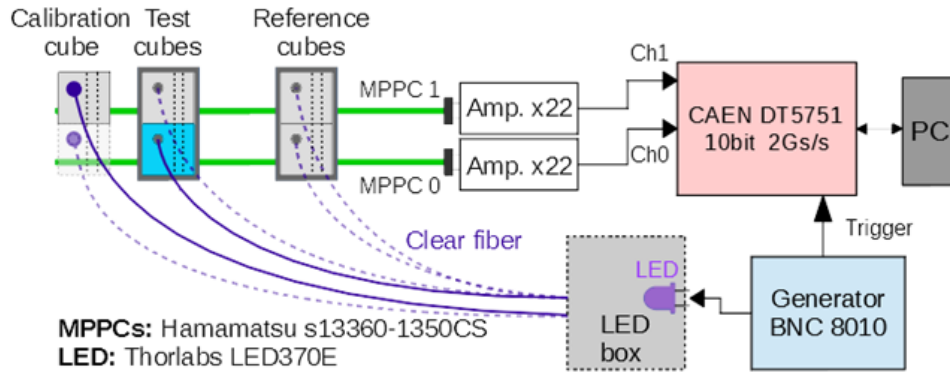


- Goal:**
- reduce systematics down to 3-4%;
  - $4\pi$ -acceptance for leptons from  $\nu$ -interactions;
  - reduce proton detection threshold (to  $\sim 300$  MeV/c);
  - neutron detection (for  $\bar{\nu}$  detection).

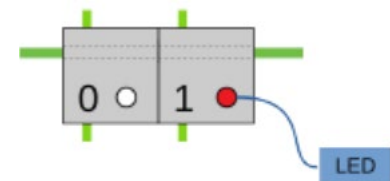
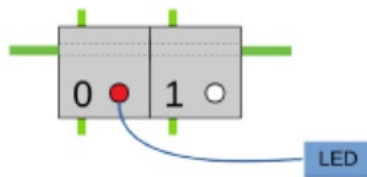
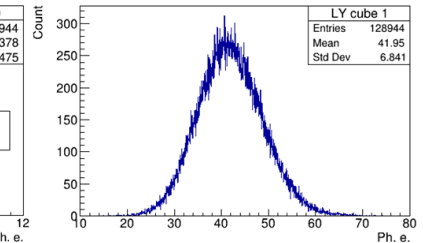
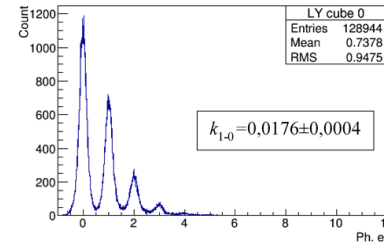
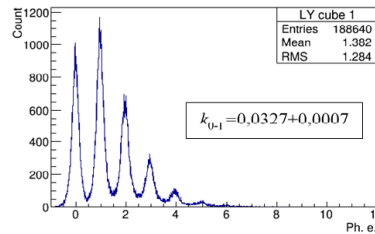
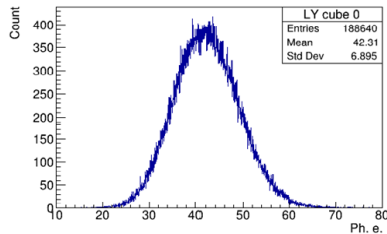
## New sub-systems:

- HA-TPC with new resistive MicroMegas Modules
- Six planes of time-of-flight scintillating detectors
- Active 3D target SuperFGD

# Study of the optical properties of SFGD elements



- The study of optical parameters was carried out using an LED
- The amount of light leakage through one face found to be at the level of 2.6%
- The effect of positional sensitivity of light leaks from a distance to the side face is found.

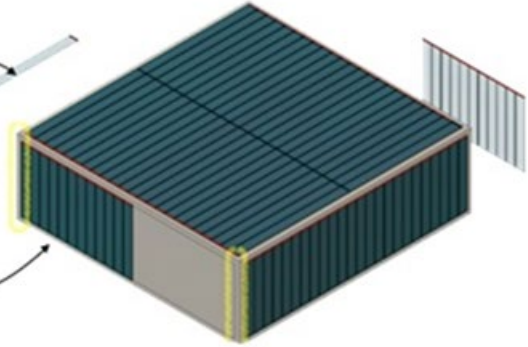


Artikov, A., Baranov, V., Boikov, A. et al. *Investigation of Light Collection in Scintillation Cubes of the SFGD Detector. Phys. Part. Nuclei Lett.* 19, 784–791 (2022)

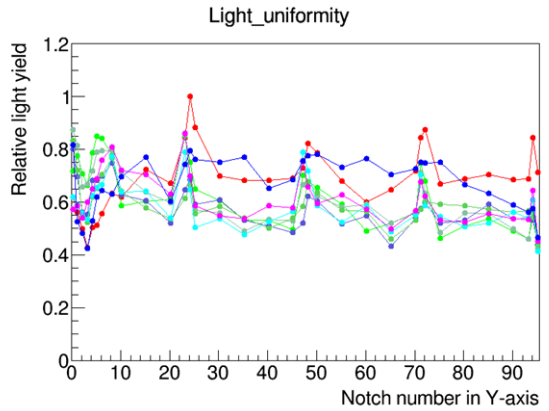
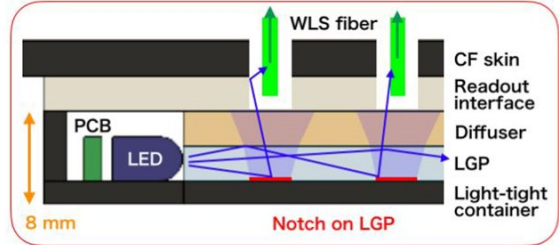
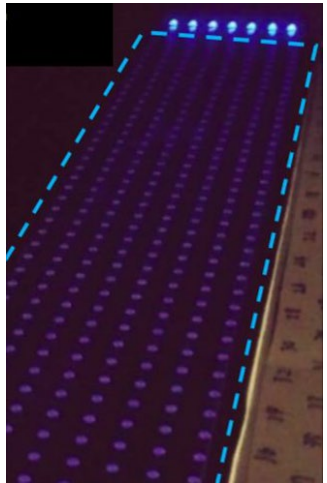
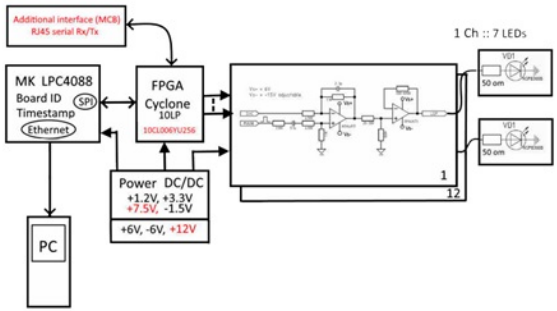
# Development of the SFGD calibration system

Size of the LGP module  
 · Bottom : ~990x78x8 mm  
 · Wall : ~570x78x8 mm

Numbers of the modules  
 · Bottom : 46 modules  
 · Wall : 47 modules

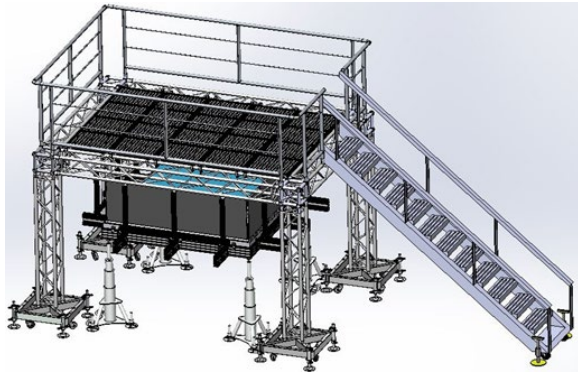


- ❑ LED based calibration system of the SuperFGD has been developed and tested
- ❑ The system comprises 93 Light Guide Plate (LGP) modules – 46 modules on the bottom and 47 modules on the side walls (the box on the left is shown upside down)
- ❑ DLNP developed electronics for the calibration system
- ❑ A few versions of LED driver were developed and tested

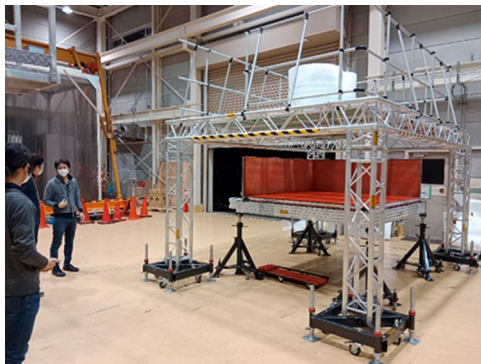
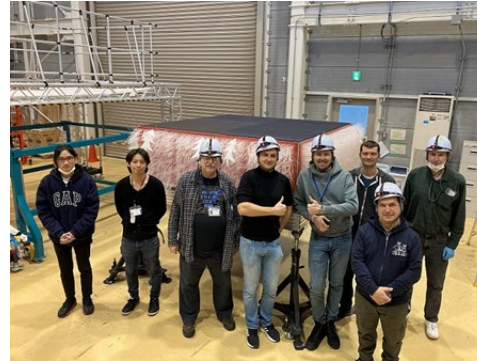
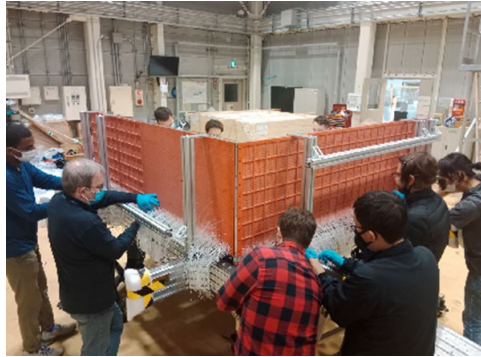
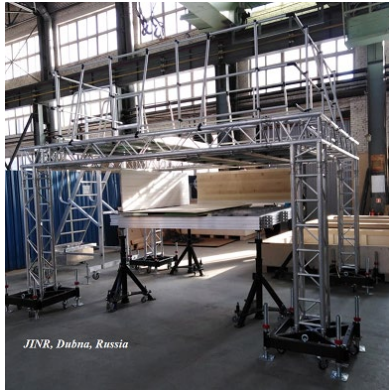


# Платформа

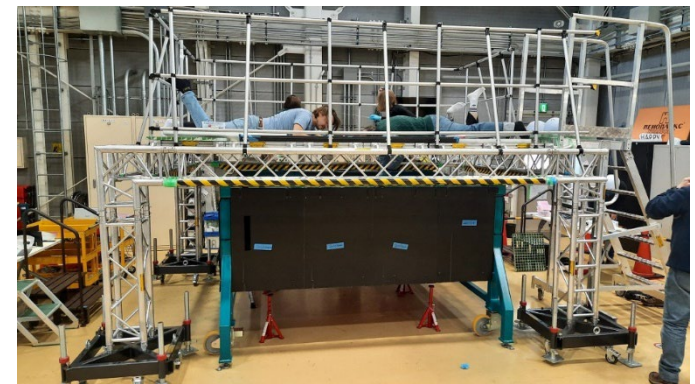
- Разработана конструкторская документация
- Проведены расчеты на сейсмоустойчивость системы
- Изготовлены все элементы оснастки и проведена тестовая сборка в Дубне
- В июле 2022 года оборудование доставлено в J-PARC.



Май 2022



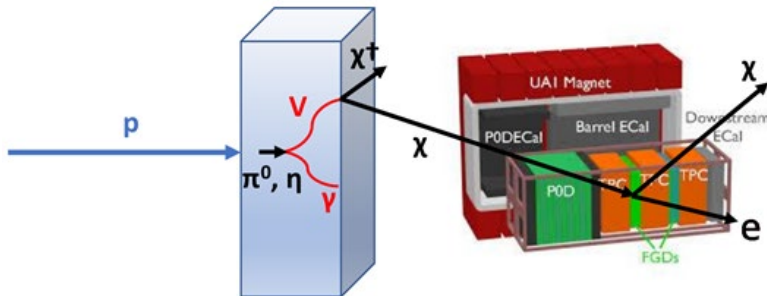
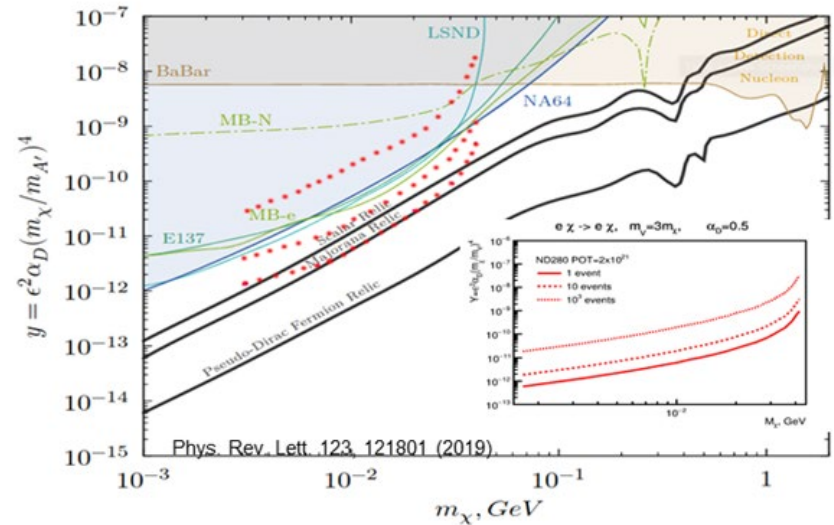
J-PARC, Октябрь 2022





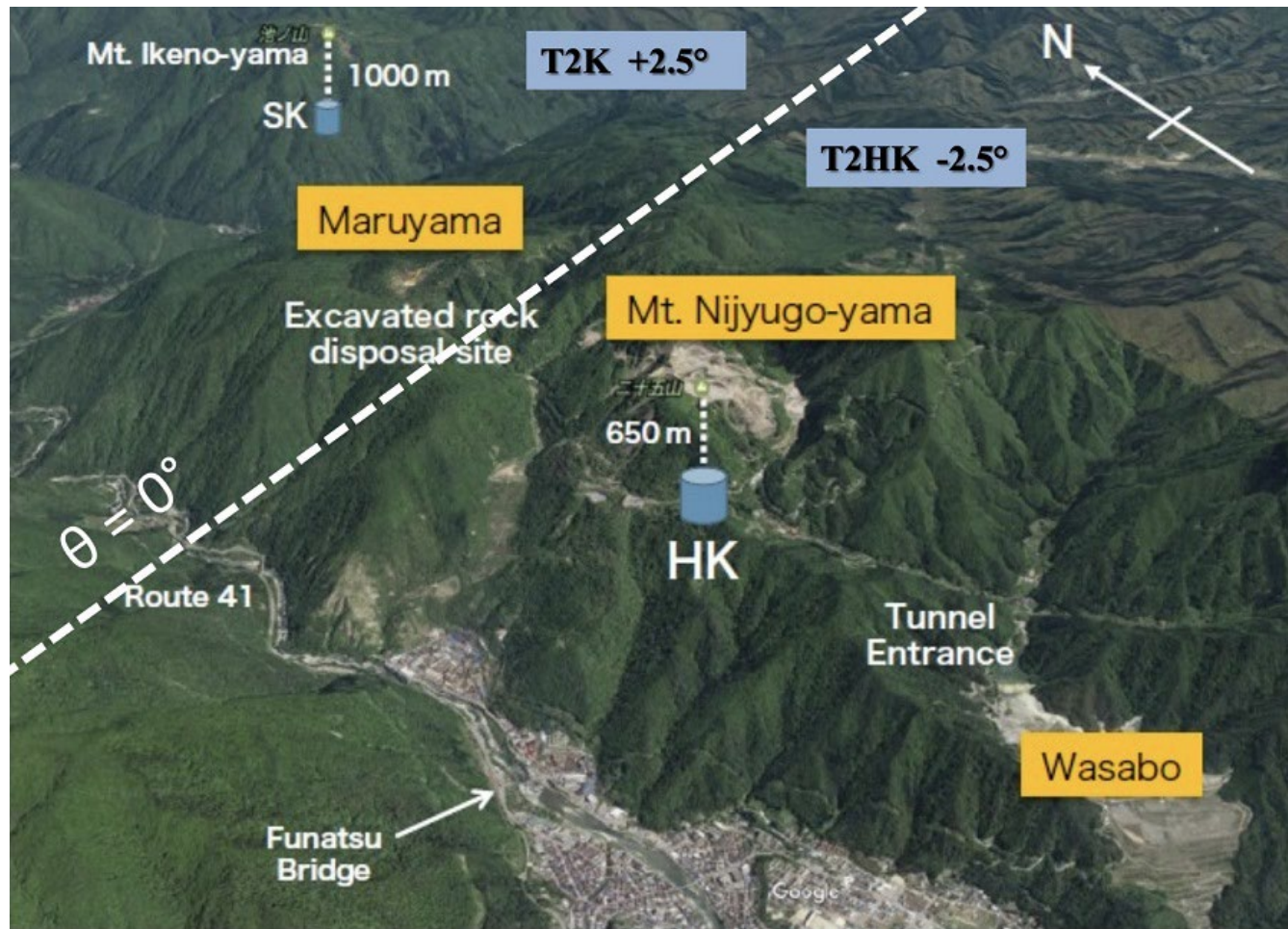
# LDM search in electron channel

- A study has been started to search for LDM candidates in the electron channel in the ND280 detector
- We select events with a negatively charged track that would start in one of the FGD, track must have the PID of the electron. We require that the electron scattering occurs forward. This condition makes it possible to reduce the neutrino background.
- Advantage: small background from neutrino interactions with matter
- Our studies show that ND280 using data already obtained has the potential to improve the limits presented by MiniBooNE in the mass region of  $5 \times 10^{-3} < m_\chi < 3 \times 10^{-2}$  GeV
- T2K-II has even more prospects, as we expect the statistics to grow several times



**Current activity:** preparation of MC samples; event selection; evaluation of the efficiency of registration of LDM candidates at different values of their masses; evaluation of background; study of systematic uncertainties; data fit

# Hyper Kamiokande



295 km from J-PARC  
2.5 degrees off-axis (as SK)

# Hyper-Kamiokande

Third generation of water Cherenkov detectors

## SuperKamiokande

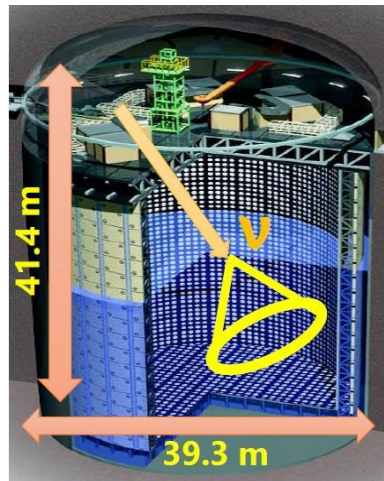
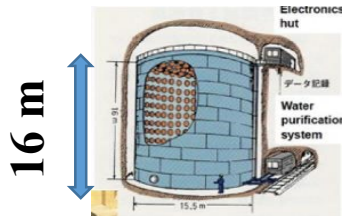
50kt

Taking data since 1996  
(T2K far detector since 2010)

## Kamiokande

4.5 kt

1983 -1996



## HyperKamiokande

260 kt

