



Нейтринный проект
LAGUNA.

Статус и возможное участие
ПИЯФ.

План

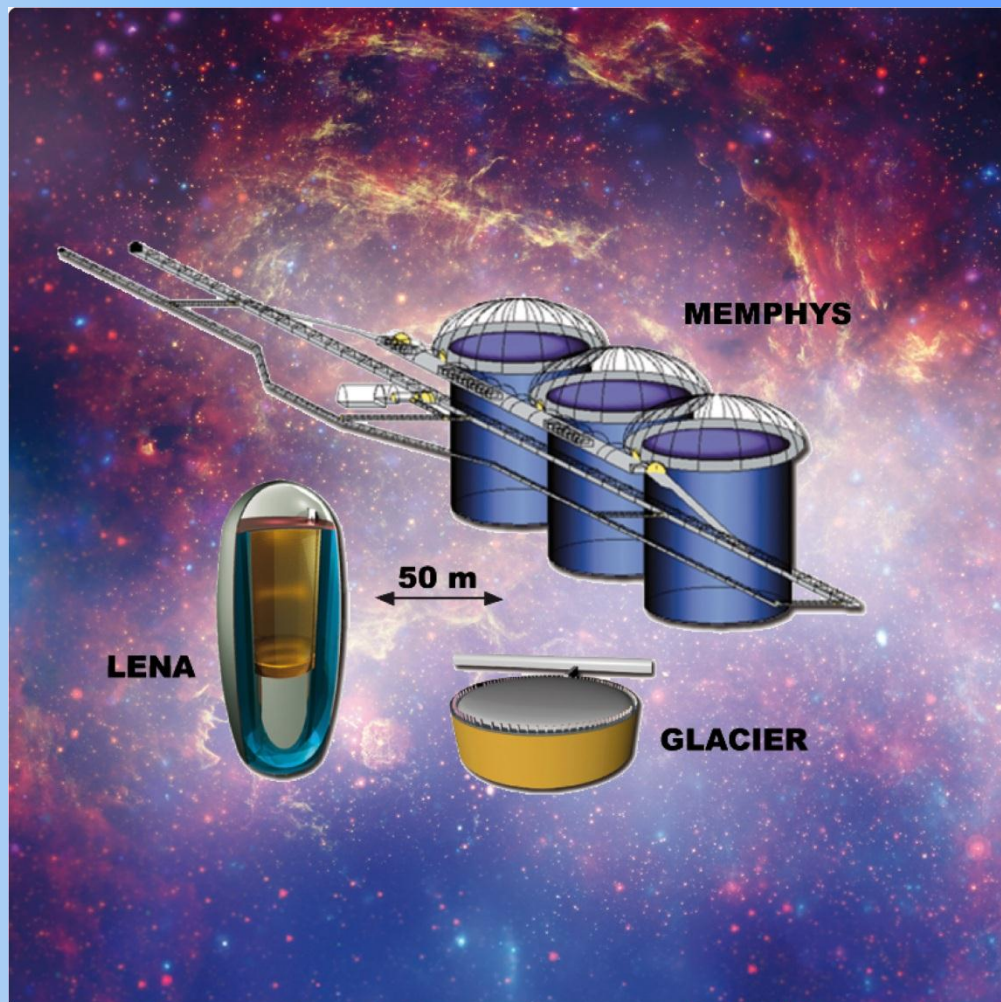
- ❑ Цель проекта
- ❑ Эксперимент LBNO
- ❑ Ближний детектор

Цель проекта

Создать нейтринный детектор общим объёмом $\sim 5 \times 10^5 \text{ м}^3$ для изучения свойств нейтрино и астрофизики.

LENA 50 кт жидкого сцинтиллятора, 1000 кг/м^3 ,
MEMPHYS 440 кт воды,
GLACIER 100 кт жидкого аргона, 1392 кг/м^3 , 900 м под землёй *или*

LAGUNA-LBNO 20 кт+50 кт жидкого аргона на глубине 1400 м, 2300 км от CERN.

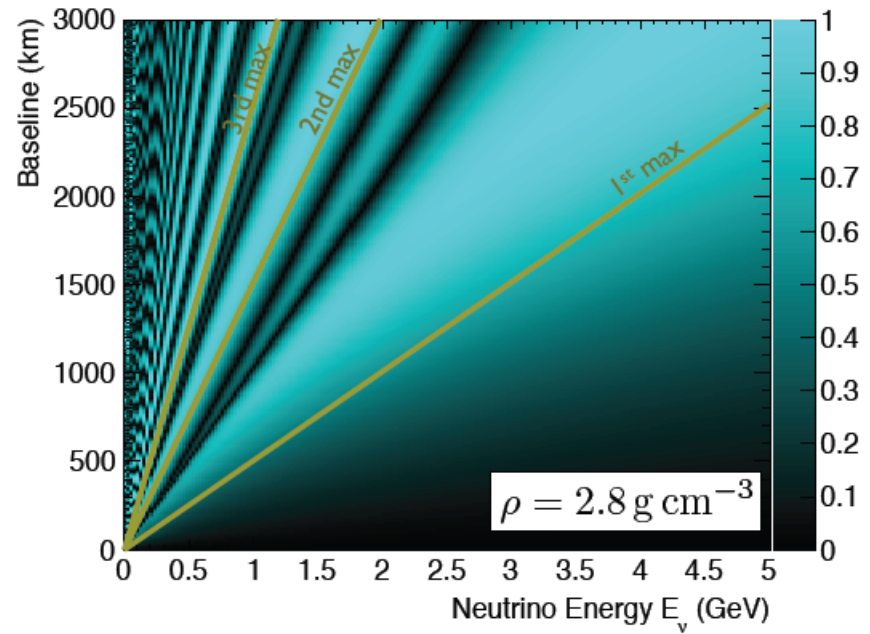
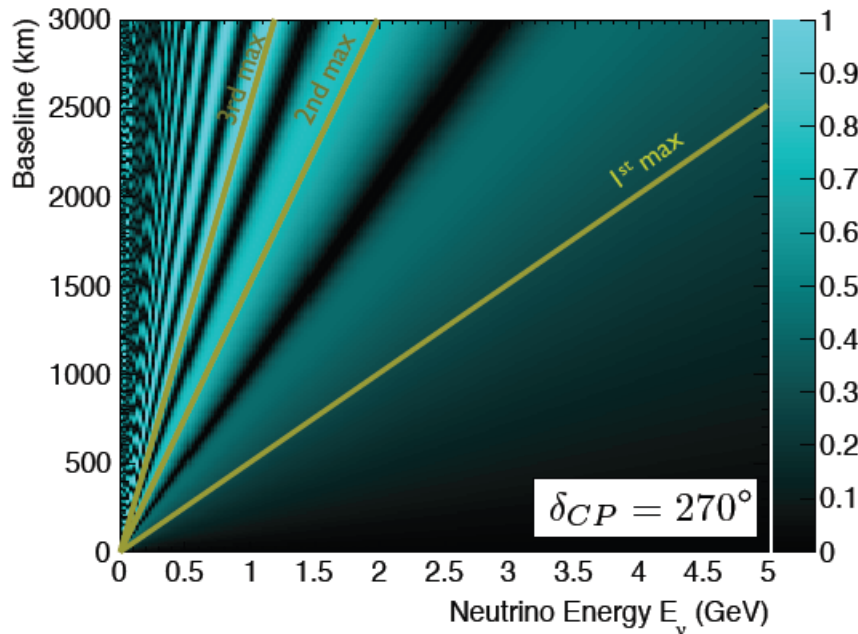


Эксперимент LBNO

- Эксперимент с длинной базой и широким энергетическим спектром позволит исследовать осцилляции $\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu$, $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$, $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$
- Определение δ_{cp} 12 лет на обновлённом SPS
- Определение иерархии масс
- Из-за глубокого расположения 1400 м (4000 м.в.э) и большой массы детектора создаются хорошие условия для изучения редких процессов.

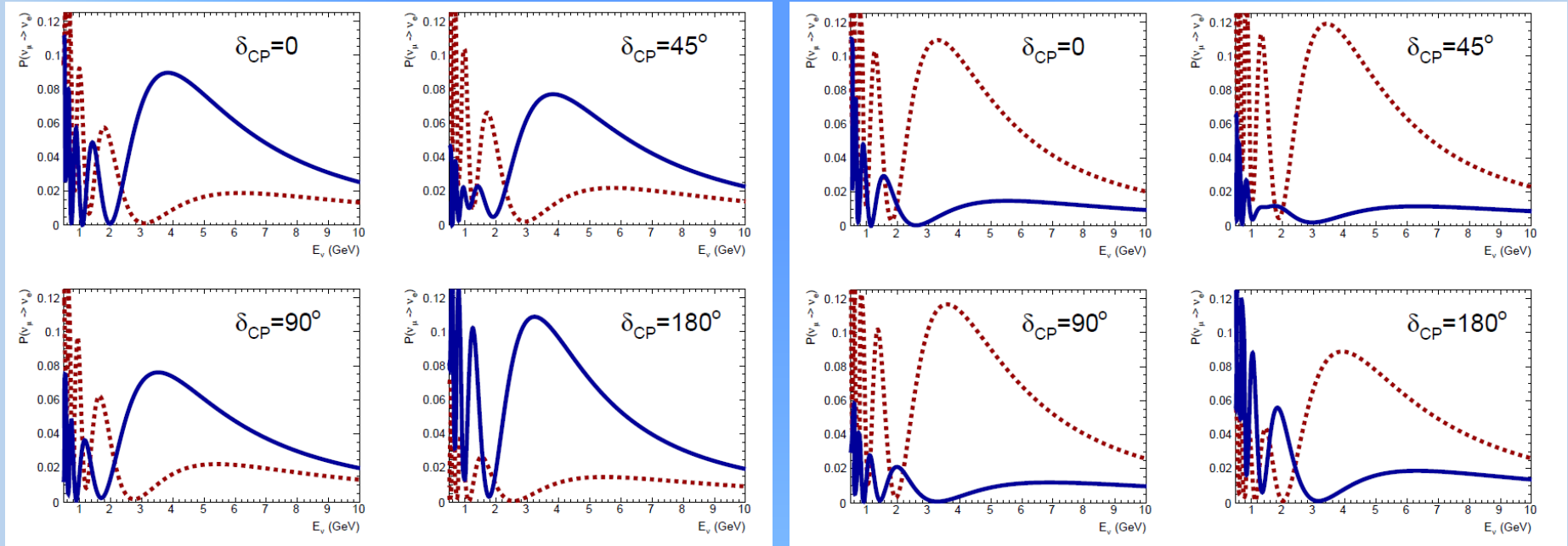
CP и вещество

$$A^{vac}(\delta_{cp}) \equiv \text{abs} \left(\frac{P^{vac}(\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e) - P^{vac}(\tilde{\nu}_{\mu} \rightarrow \tilde{\nu}_e)}{P^{vac}(\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e) + P^{vac}(\tilde{\nu}_{\mu} \rightarrow \tilde{\nu}_e)} \right) \quad A^{mat}(\rho) \equiv \text{abs} \left(\frac{P^{mat}(\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e) - P^{mat}(\tilde{\nu}_{\mu} \rightarrow \tilde{\nu}_e)}{P^{mat}(\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e) + P^{mat}(\tilde{\nu}_{\mu} \rightarrow \tilde{\nu}_e)} \right)$$



CP проявляет себя в большей степени на 2-ом и 3-ем максимумах, эффект вещества на 1-ом максимуме.

Иерархия масс и δ_{CP}



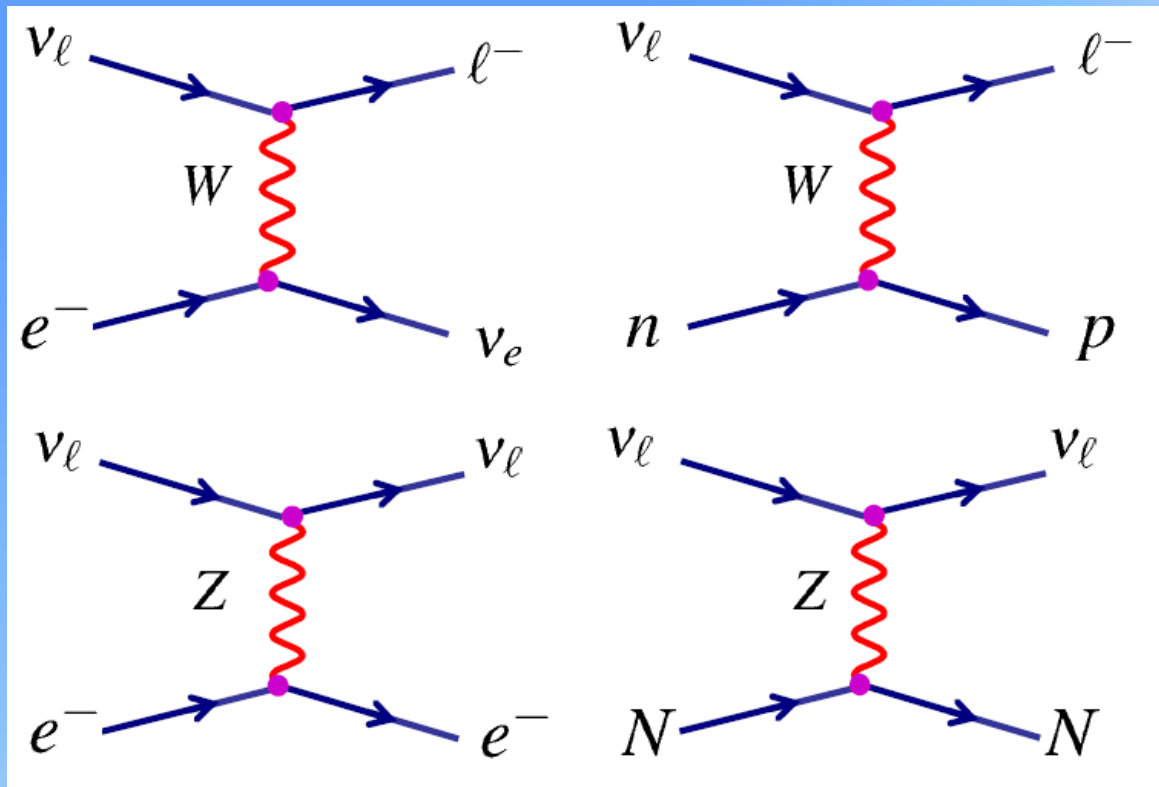
Вероятность осцилляции $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ и $\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$ для нормальной и обратной иерархии масс на расстоянии 2300 км.

Сценарии осцилляция различны:

- Ответ на вопрос об иерархии масс
- Нахождение δ_{CP}

Взаимодействие нейтрино

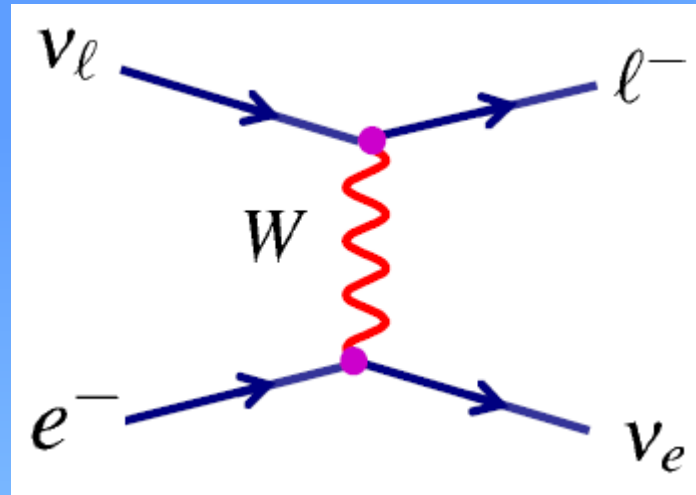
Заряженный ток (CC)



Нейтральный ток (NC)

Взаимодействие нейтрино

Заряженный ток, взаимодействие на электроне

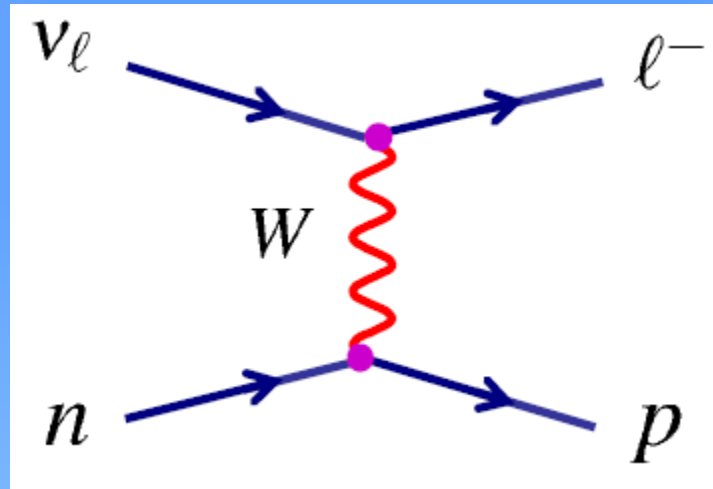


$$\left. \begin{aligned} s &= (E_\nu + m_e)^2 - E_\nu^2 \\ s &> m_l^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow E_\nu > \left[\left(\frac{m_l}{m_e} \right)^2 - 1 \right] \frac{m_e}{2}$$

$$E_{\nu_e} > 0, \quad E_{\nu_\mu} > 11 \text{ ГэВ}, \quad E_{\nu_\tau} > 3090 \text{ ГэВ}$$

Взаимодействие нейтрино

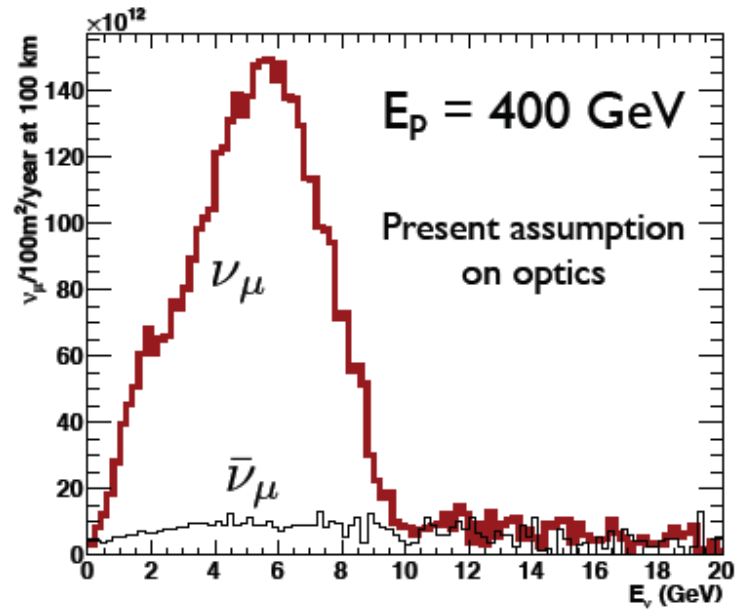
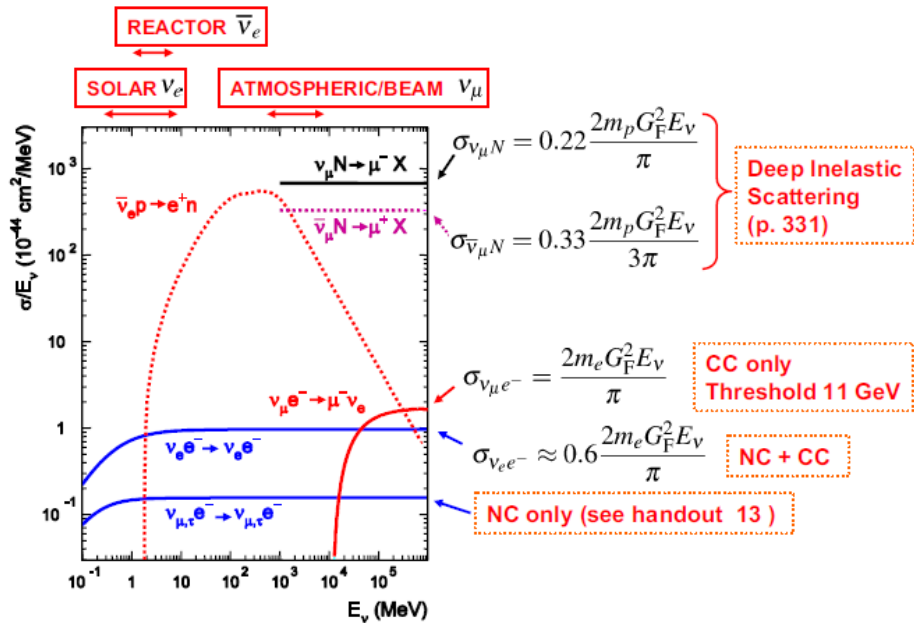
Заряженный ток, взаимодействие на нуклонене



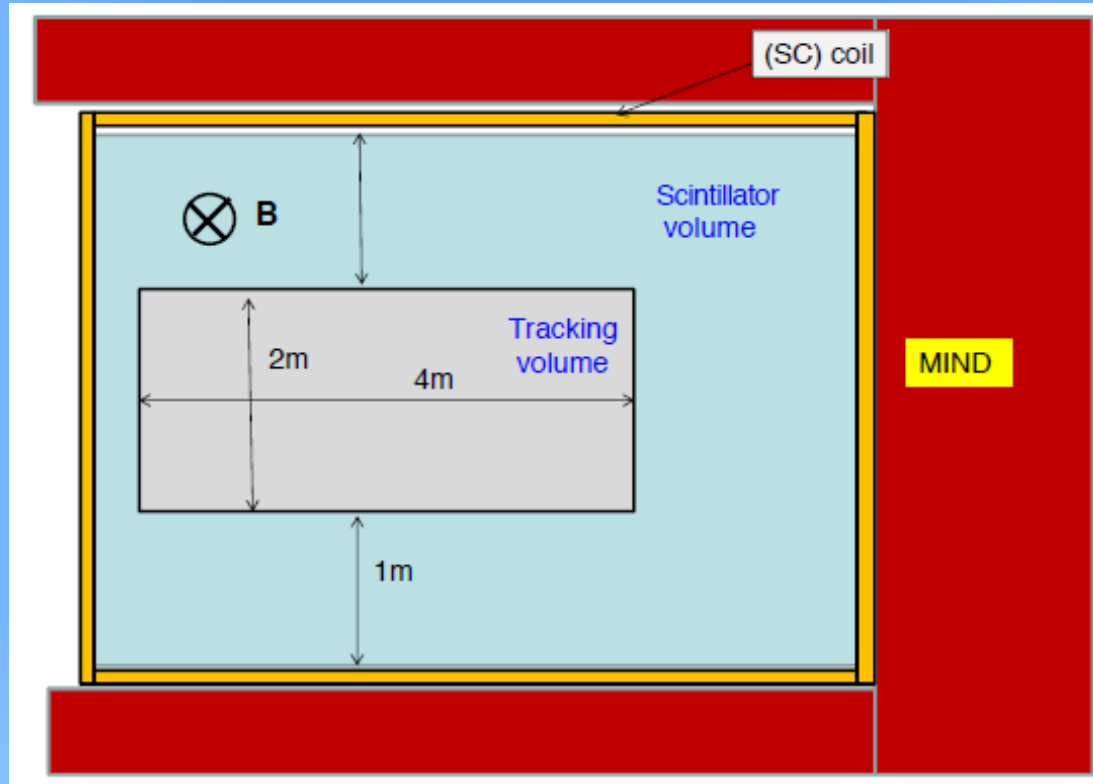
$$\left. \begin{array}{l} s = (E_\nu + m_n)^2 - E_\nu^2 \\ s > (m_\ell + m_p)^2 \end{array} \right\} \Rightarrow E_\nu > \frac{(m_\ell + m_p)^2 - m_n^2}{2m_n}$$

$$E_{\nu_e} > 0, E_{\nu_\mu} > 110 \text{ МэВ}, E_{\nu_\tau} > 3,5 \text{ ГэВ}$$

Тип детектора зависит от энергии нейтрино

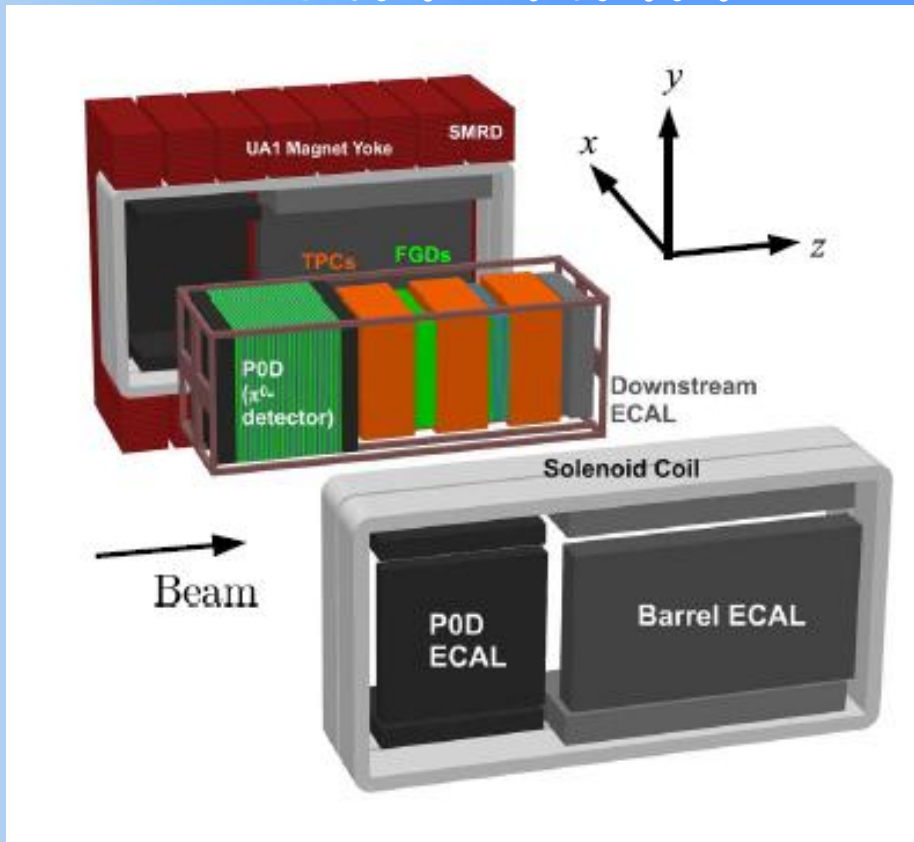


Ближний детектор



- В центре ближнего детектора газовая Ar TPC при 10 атм с добавкой изобутана
- TPC окружён сегментированным сцинтиллятором для локализации адронных ливней
- Детектор помещён в магнитное поле 0,4 Тл
- Сзади намагниченный детектор, 5м железа

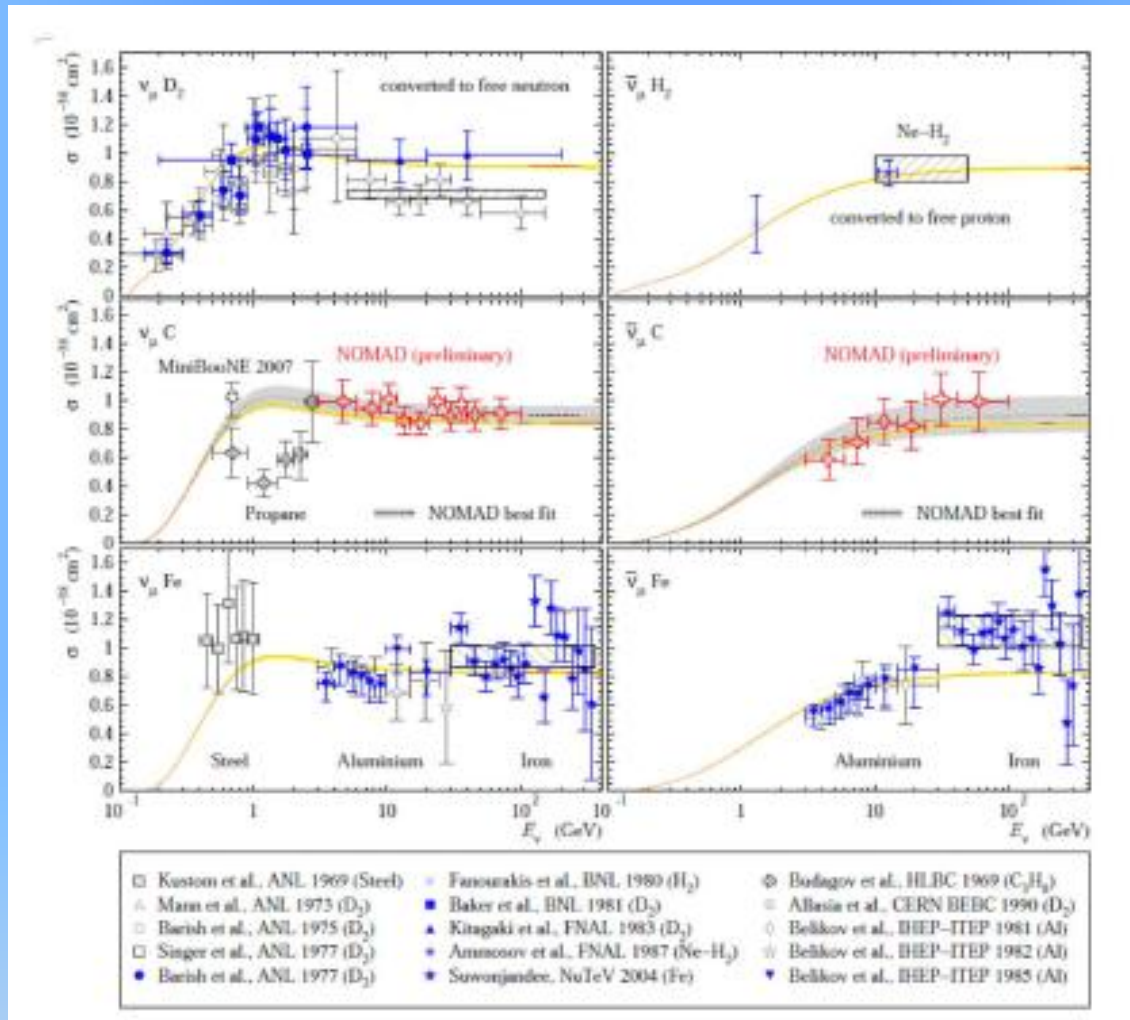
Ближний T2K детектор



- Различать ν_μ и ν_e лучше 1 %
- Различать заряженные токи упругие и неупругие взаимодействия
- Различать нейтральные токи особенно π^0

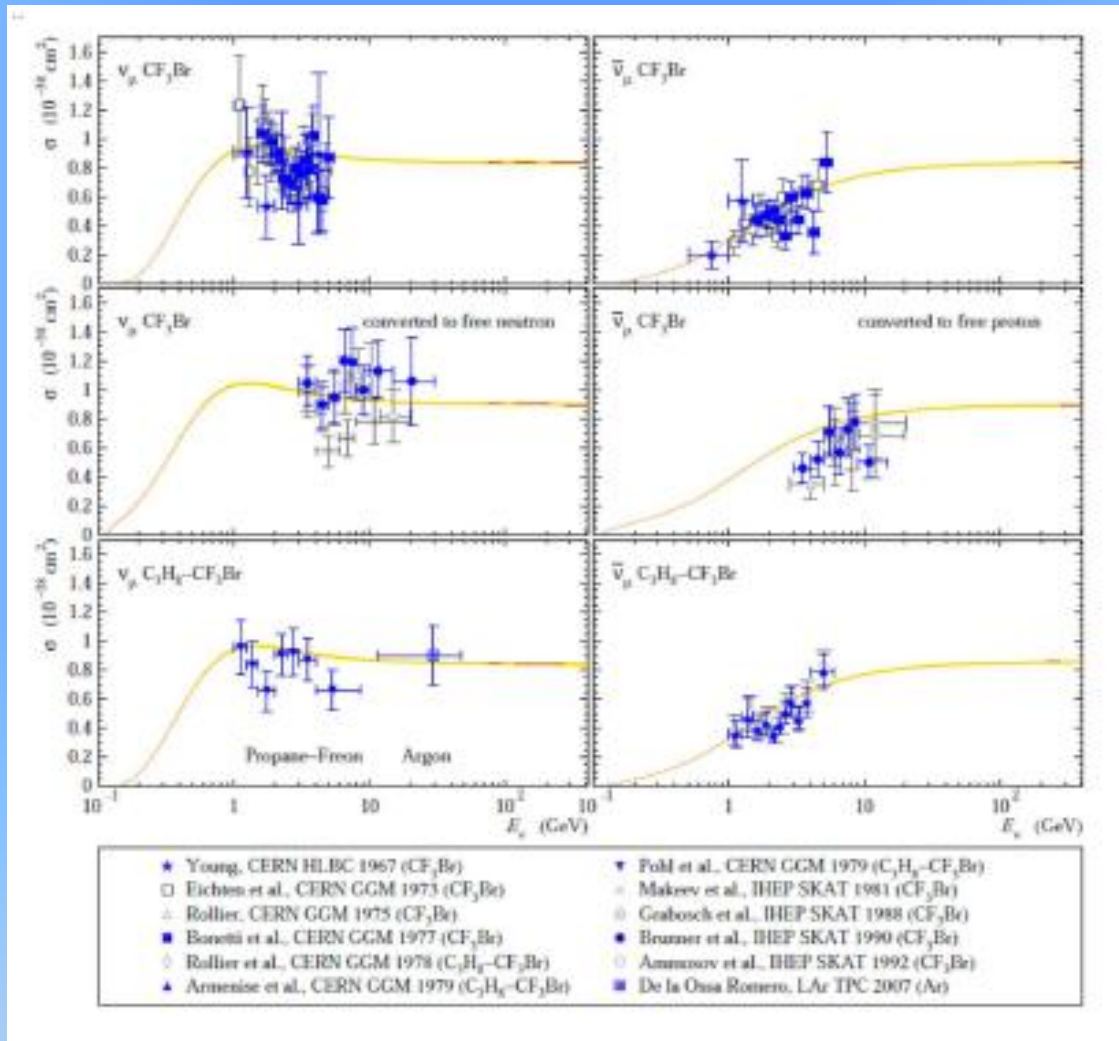
- POD измерение на H₂O нейтрального тока $\nu_\mu + N \rightarrow \nu_\mu + N + \pi^0 + X$
- TPC Ar:CF₄:iC₄H₁₀ (95:3:2)
- FGD
- Окружено электромагнитным калориметром Ecal для регистрации γ
- Помещено в магнитное поле 0,2 Тл в ярмо установлены сцинтилляторы для регистрации μ

Сечения взаимодействия



Квазиупругое сечение взаимодействия мюонного нейтрино и антинейтрино через заряженные токи

Сечения взаимодействия



Заключение

- Техническая проработка деталей 2014 г
- Критические доработки 2015 г
- Обустройство шахты 2016-2021 гг
- Первая фаза 2023 г
- Начало активной работы 2023 г
- Необходимо разработать ближний детектор
- Подобрать оптимальный газ с большим содержанием Ar
- Измерить сечения на аргоне