

## Эксперимент T2K: первый результат по поиску нарушения CP симметрии в нейтринных осцилляциях

Участники международного эксперимента T2K, в число которых входят физики из **Института ядерных исследований Российской академии наук**, объявили о новом результате по поиску нарушения симметрии между осцилляциями нейтрино и антинейтрино. Полученные результаты основываются на одновременном анализе данных по осцилляциям мюонных нейтрино и антинейтрино, накопленных в 2015 и 2016 годах.

Результаты работ были представлены 6 августа в Чикаго на 38-й Международной конференции по физике высоких энергий (ICHEP 2016):

<http://indico.cern.ch/event/432527/contributions/2143636>

Новые данные подтверждают максимальное «исчезновение» мюонных нейтрино, а также указывают на различие между вероятностями превращения мюонных нейтрино в электронные нейтрино и мюонных антинейтрино в электронные антинейтрино.

Как известно, Вселенная состоит из материи при практически полном отсутствии антиматерии. Это является одной из наиболее интригующих загадок современной науки. Одним из условий реализации в современной Вселенной преобладания вещества над антивеществом является нарушение зарядово-пространственной (CP) симметрии, которая постулирует, что законы физики должны быть одинаковы как в реальном мире, состоящем из вещества, так и в зеркальном мире, состоящем из антивещества.

В эксперименте T2K (Tokai-to-Kamioka) мюонные нейтрино рождаются на сильноточном протонном ускорителе J-PARC с энергией 30 ГэВ, который расположен на восточном побережье Японии в городе Токай. Рожденные в результате протон-ядерных соударений вторичные частицы фокусируются и фильтруются системой импульсных магнитов, которые позволяют создавать интенсивные пучки мюонных нейтрино и антинейтрино. Пучок нейтрино/антинейтрино, измеряется и контролируется комплексом нейтринных детекторов, расположенных на расстоянии 280 метров от мишени, и направляется в гигантский подземный детектор СуперКамиоканде вблизи западного побережья Японии в 295 километрах от ускорителя J-PARC.

T2K обнаружил, что вероятность появления электронных антинейтрино в пучке мюонных антинейтрино меньше, чем ожидалось, основываясь на результатах осцилляций мюонных нейтрино в электронные нейтрино и предполагая сохранение CP симметрии. T2K обнаружил 32 электронных нейтрино и 4 электронных антинейтрино, в то время, как ожидалось 27 нейтрино и 7 антинейтрино в случае сохранения CP симметрии. Анализ данных T2K в рамках схемы 3-х активных нейтрино вместе с данными реакторных экспериментов указывает на максимальное нарушение CP симметрии в нейтринных осцилляциях.

Было получено, что интервал возможных значений CP нечетной фазы  $\delta_{CP}$  (доверительный интервал 90%) составляет  $[-0.99\pi ; -0.12\pi]$  для нормальной иерархии масс нейтрино и  $[-0.67\pi ; -0.24\pi]$  для инверсной иерархии масс. Наиболее вероятным является значение  $\delta_{CP} = -\pi/2$ , соответствующее максимальному CP нарушению.

Значения фазы  $\delta_{CP} = 0$  и  $\delta_{CP} = \pi$ , соответствующие случаю сохранения CP симметрии, исключены с доверительной вероятностью более 90%. Вероятность того, что статистическая флуктуация может имитировать обнаруженный эффект CP нарушения, составляет 5%. Полученный результат базируется на статистике нейтринных событий, набранных для интегрального потока  $1.51 \times 10^{21}$  протонов на мишени (POT), что составляет около 19% от полного потока  $7.8 \times 10^{21}$  (POT), который, как ожидается, будет набран к 2021 году, благодаря модернизации ускорителя J-PARC и нейтринного канала. Кроме того, T2K в настоящее время готовит модернизацию нейтринных детекторов и обсуждается продолжение эксперимента с целью набора статистики с интегральным потоком протонов  $20 \times 10^{21}$  POT, что позволит достичь чувствительности  $3\sigma$  к CP нарушению в нейтринных осцилляциях для определенных значений осцилляционных параметров.

Поиск CP нарушения стал возможен благодаря открытию в эксперименте T2K в 2013 году осцилляций мюонных нейтрино в электронные нейтрино. Этот результат был отмечен Международной премией «Прорыв в науке» в 2016 году (Breakthrough Prize for Fundamental Physics 2016).

Экспериментальная установка T2K была разработана, создана и эксплуатируется международной коллаборацией, в которую входят более 450 ученых, представляющих 61 научную организацию из 11 стран (Канада, Франция, Германия, Италия, Япония, Польша, Россия, Швейцария, Испания, Великобритания, США). Эксперимент финансируется Министерством образования, культуры и спорта Японии, NSERC, NRC и CFI, Канада; CEA и CNRS/IN2P3, Франция; DFG, Германия; INFN, Италия; Министерством науки и высшего образования, Польша; **РАН, РФФИ, РФФИ и Министерством образования и науки, Россия**; MICINN и CPAN, Испания; SNSF и SER, Швейцария; STFC, Великобритания; DOE, США.

**Российским участником эксперимента является Институт ядерных исследований РАН.**

Следует особо подчеркнуть, что получение этого результата было бы невозможно без самоотверженного труда всех сотрудников ускорительного комплекса J-PARC, которые смогли обеспечить стабильную работу ускорителя и высокое качество нейтринного пучка, несмотря на многие трудности, включая разрушительное землетрясение 11 марта 2011 г. в восточной Японии, которое серьезно повредило ускорительный комплекс и прервало на длительный срок набор статистики в эксперименте.

Контактное лицо:

Куденко Юрий Григорьевич  
заведующий Отделом физики высоких энергий  
Институт ядерных исследований РАН  
email: [kudenko@inr.ru](mailto:kudenko@inr.ru)  
тел: +7-495-8510184 (раб); +7-903-6159125 (моб)

## Ссылки

Interactions NewsWire #09-16

6 August 2016 <http://www.interactions.org>

<http://t2k-experiment.org>

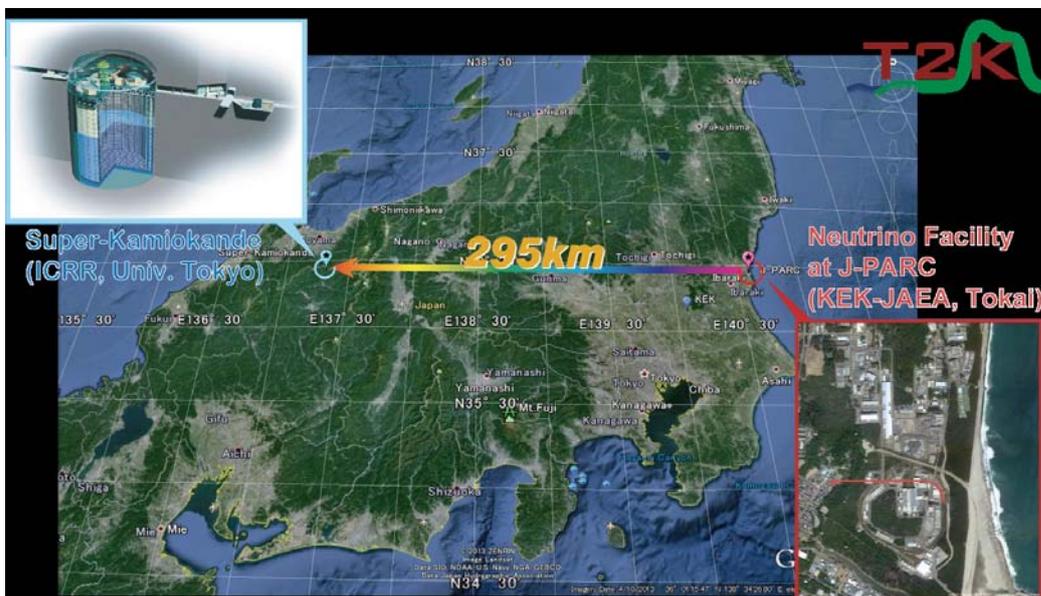
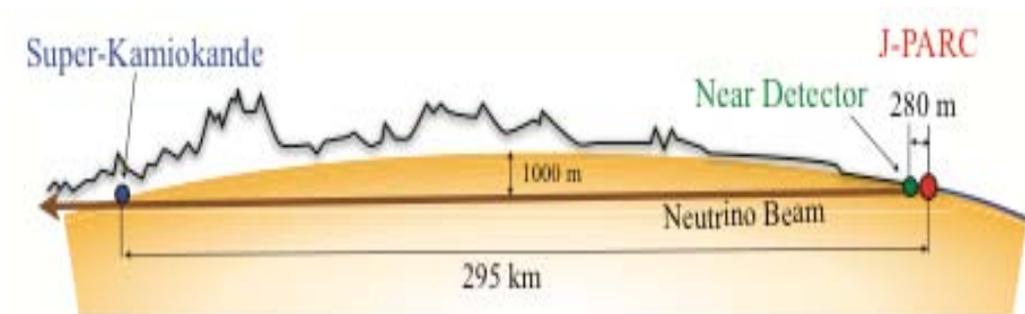


Рис.1. Схема эксперимента T2K

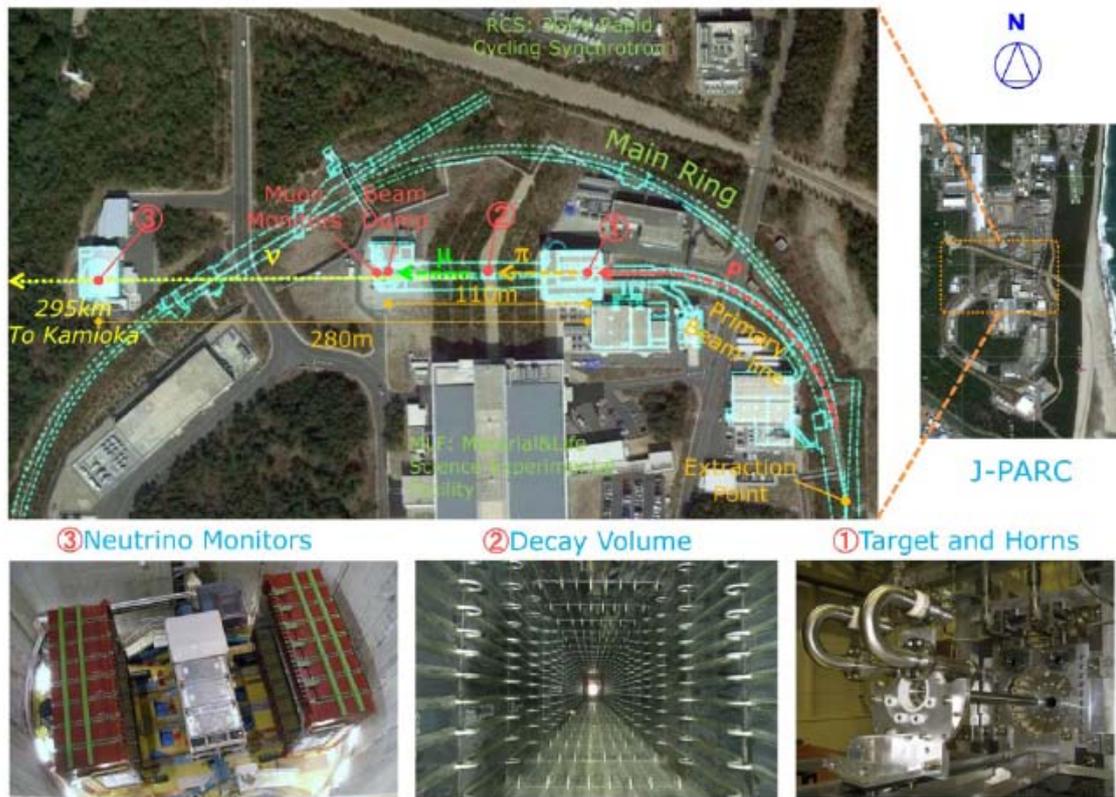


Рис.2. Нейтринный комплекс в J-PARC. Протонный пучок, выведенный из основного кольца J-PARC, взаимодействует с графитовой мишенью (1). Рожденные в мишени пионы фокусируются системой импульсных магнитов и затем распадаются на мюоны и мюонные нейтрино (антинейтрино) в распадном объеме длиной 100 метров (2). Параметры нейтринного пучка до осцилляций измеряются и контролируются ближним нейтринным детектором, расположенным на расстоянии 280 м от мишени (3).

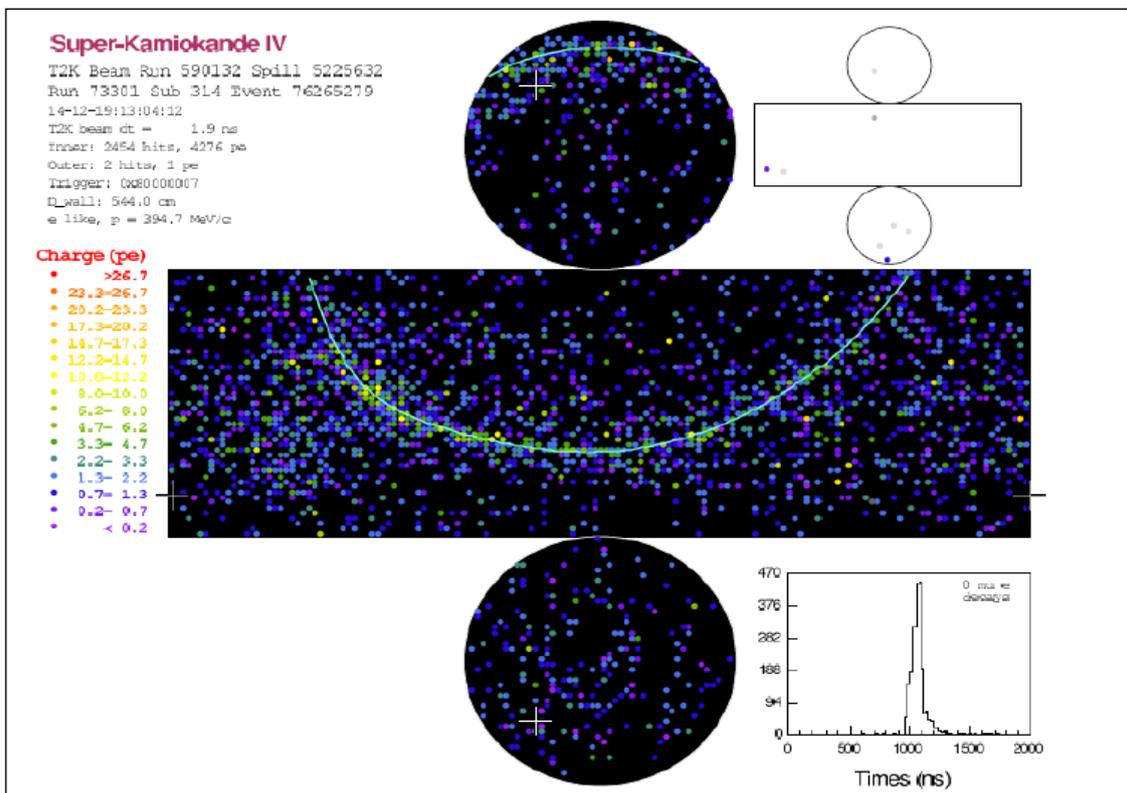


Рис.3. Электронное антинейтрино, зарегистрированное в детекторе СуперКамиоканде.