

[Release information]

**Permission of publication is granted at 13:00 on  
Wednesday June 15, 2011 (Japan Standard Time)**

Distributed to:

Ibaraki Prefectural Government Press Club, Tsukuba  
Science City Press Club, MEXT Press Club, Science  
Press Club, METI Press Club, University of Tokyo Press  
Club

Czerwiec 14, 2011

Współpraca T2K

High Energy Accelerator Research Organization (KEK)  
Institute for Cosmic Ray Research, The University of Tokyo  
J-PARC Center

## Wskazanie na pojawienie się neutrino elektronowego w eksperymencie T2K

Tsukuba, Japonia, 15 czerwca 2011. Eksperyment T2K, którego głównym celem jest badanie oddziaływań neutrino daleko od miejsca ich wytworzenia, zarejestrował, w oparciu o dane zebrane przed 11 marca 2011, 6 kandydatów na neutrino elektronowe. Tym samym, po raz pierwszy uzyskano wskazanie, że neutrino mionowe, po przebyciu 295 km, mogą się zamieniać w neutrino elektronowe poprzez kwantowo-mechaniczne zjawisko oscylacji zapachu.

Eksperyment T2K<sup>\*1</sup> poszukuje oscylacji neutrino<sup>\*2</sup> czyli zjawiska, w którym neutrino pewnego rodzaju przechodzą w neutrino innych rodzajów. Te obserwacje pomagają określić masy neutrino, jak również wyjaśnić ich niezrozumiałe własności, jak np. relacje między trzema generacjami (typami) neutrino. T2K dąży do uzyskania najlepszej na świecie czułości pomiarów poprzez rejestrację neutrino w detektorze SuperKamiokande<sup>\*3</sup> (w miejscowości Kamioka w prefekturze Gifu w Japonii), znajdującym się w odległości 295 km od japońskiego ośrodka akceleratorowego J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex)<sup>\*4</sup> gdzie wytwarzane są neutrino mionowe. W szczególności, obserwacja oscylacji neutrino mionowych w neutrino elektronowe<sup>\*5</sup> (pojawianie się neutrino elektronowych) jest głównym celem eksperymentu T2K. Obserwacja pojawiania się neutrino elektronowych wyznaczy przyszłe kierunki badań w fizyce neutrino oraz dostarczy obiecujących wskazówek do wyjaśnienia tajemnicy, dlaczego w Wszechświecie dominuje materia. Dlatego uczeni z całego świata zwracają wielką uwagę na te badania i prowadzą konkurencyjne obserwacje<sup>\*6</sup>. Eksperyment T2K, uchodzący w skali światowej za najbardziej dokładny, zgromadził ponad 500 badaczy z 12 krajów.

Dane zebrane przez eksperyment T2K pochodzą z okresu między styczniem 2010 a 11 marca 2011, kiedy ich zbieranie zostało przerwane przez wielkie trzęsienie ziemi w wschodniej Japonii. W detektorze SuperKamiokande zaobserwowano 88 oddziaływań neutrino, spośród których 6 zostało skasyfikowanych jako niewątpliwe oddziaływania neutrino elektronowych.

Kiedy neutrino elektronowe oddziałują z materią, powstają elektrony. Jednakże, obserwowane elektrony z pewnym prawdopodobieństwem mogą pochodzić z innych źródeł i wtedy stanowią tło. W danych zebranych dotąd przez eksperyment T2K spodziewanych jest 1,5 takich przypadków tła, a zatem, jak można policzyć, neutrino elektronowe pojawiło się z prawdopodobieństwem 99.3%<sup>\*7</sup>, co po raz pierwszy wskazuje na istnienie przejść neutrino mionowych w neutrino elektronowe.

Przed wielkim trzęsieniem ziemi w dniu 11 marca 2011 roku w wschodniej Japonii, eksperyment T2K zebrał około 2% docelowej liczby przypadków. Kiedy J-PARC znowu zacznie produkować neutrino mionowe, co jest przewidywane na koniec roku 2011, eksperyment T2K będzie dalej dążył do zebrania docelowej liczby przypadków, żeby potwierdzić pojawianie się neutrino elektronowych. Będzie również dążył do lepszego zrozumienia tego zjawiska, łącząc pomiary dla neutrino z pomiarami dla antyneutrino, które także są w programie eksperymentu. Dodatkowo, badacze zamierzają szukać łamania symetrii CP<sup>\*8</sup> dla leptonów<sup>\*9</sup> celem zrozumienia pochodzenia materii w Wszechświecie. Droga do tego uzyskanie znacznie silniejszej wiązki poprzez dalsze udoskonalanie akceleratorów w J-PARC jak również poprawianie działania detektorów. Pojawianie się neutrino elektronowych jest kluczowe dla wykrycia łamania symetrii CP dla leptonów I obecny wynik wskazuje, że eksperyment T2K uzyskał znaczący postęp w kierunku tego przyszłego celu.

Poniżej na tej stronie podana jest informacja dla Japończyków na temat konferencji prasowej, referatów w japońskich laboratoriach i fizyków, mogących dostarczyć dalszych informacji.

The T2K group will hold a press release conference to report the result in the conference room 2 on the first floor of the KEK Kenkyu Honkan Building at 14:00 on June 14, 2011. Additionally, seminars for researchers are scheduled to be held in the KEK Kobayashi hall and in the main seminar room on the sixth floor on the Kashiwa campus of the Institute for Cosmic Ray Research both at 13:00 on June 15, 2011. These seminars are open to public and everyone is welcome to attend.

[Further Inquiry]

About T2K Experiment

Takashi Kobayashi

The Institute of Particle and Nuclear Studies, KEK

TEL: 81-29-864-5414

About J-PARC and KEK in general

Koichiro Nishikawa

Director, The Institute of Particle and Nuclear Studies, KEK

Deputy Director, J-PARC Center

TEL: 81-29-879-6037

Scientific inquiry about Super-Kamiokande, a far-end detector

Yoichiro Suzuki,

Director, Kamioka Observatory, The Institute for Cosmic Ray Research, The University of Tokyo

TEL: 81-578-85-9601

About J-PARC Center (Public Relations)

Kunihiro Suzuki

Public Relations Section leader, J-PARC Center

TEL: 81-29-284-3587

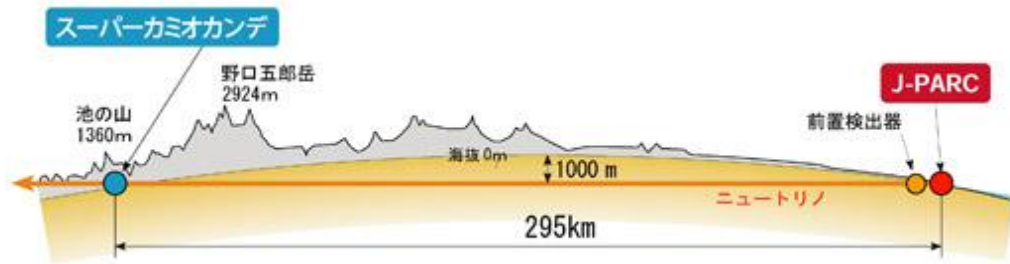
About KEK (Public Relations)

Youhei Morita

Head of Public Relations Office, KEK

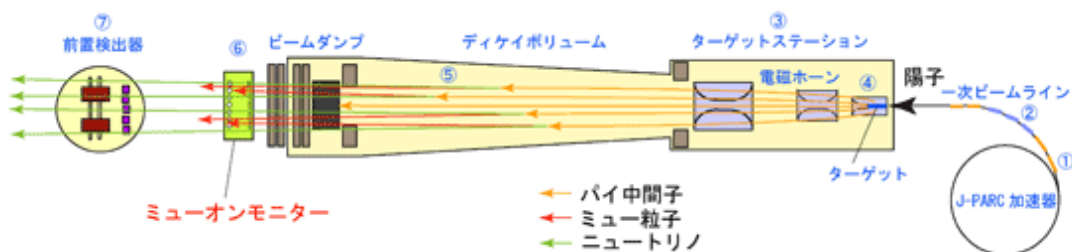
TEL: 81-29-879-6047

## Schemat eksperymentu T2K i J-PARC z lotu ptaka

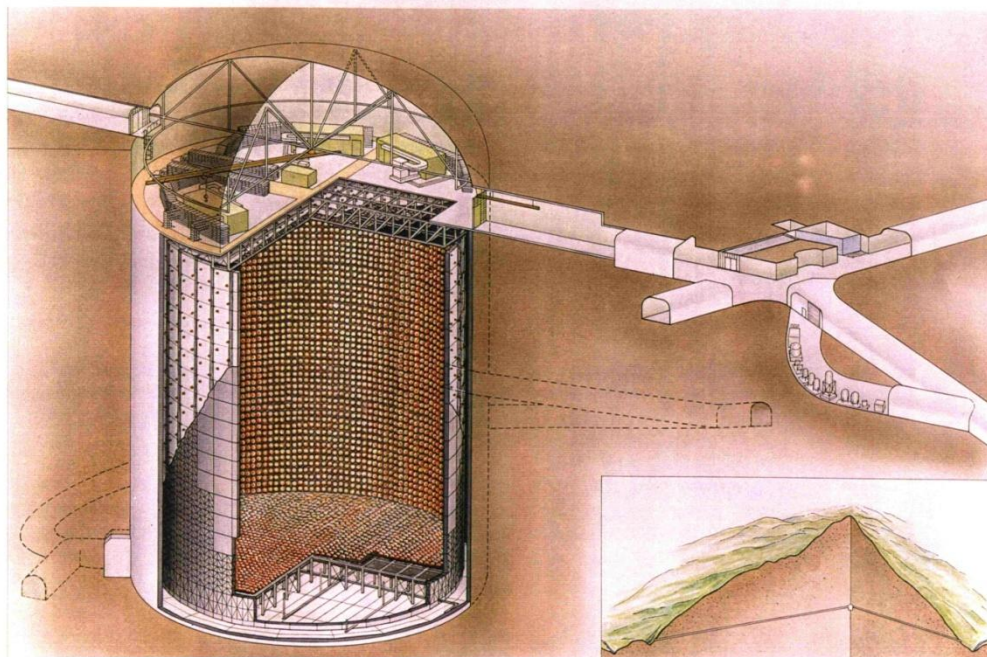


W J-PARC, protony przyspieszane są najpierw w liniowym akceleratorze, potem w synchrotronie 3GeV, a następnie wstrzykiwane do głównego synchrotronu MR. Stąd po przyspieszeniu do 30 GeV protony są wyprowadzane przy zastosowaniu specjalnych magnesów, kierowane w stronę Kamioki i zderzane z tarczą celem wyprodukowania wiązki neutrin, która na końcu trafia do detektora SuperKamiokande. Wiązka mierzona też jest przez bliskie detektory w J-PARC. Poprzez porównanie wyników pomiarów w detektorach w J-PARC i w detektorze SuperKamiokande bada się oscylacje neutrin, w których określony rodzaj neutrin przechodzi w inne ich rodzaje.

## Schemat wytwarzania wiązki neutrin w J-PARC

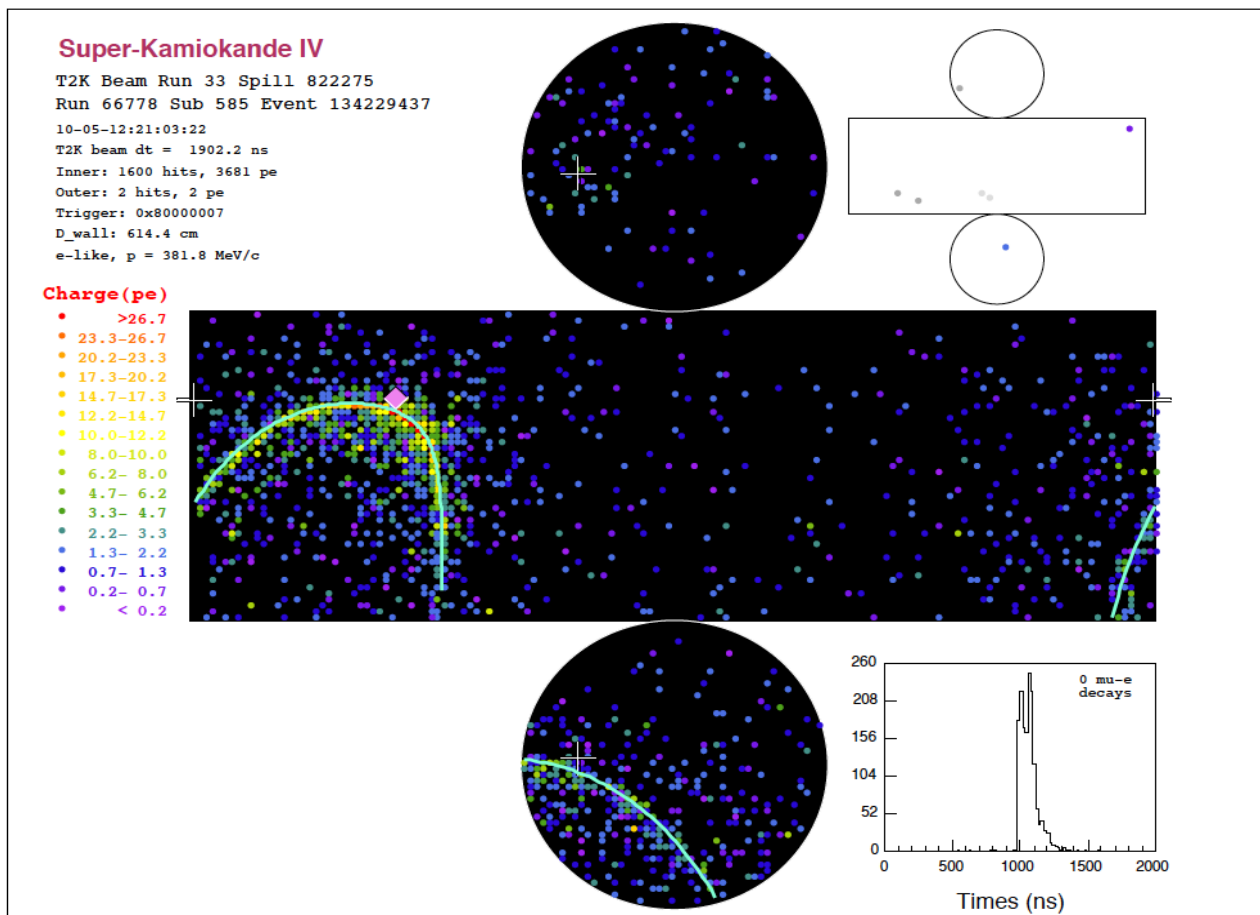


## Detektor Super-Kamiokande



(C) 東京大学宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設  
 SUPERKAMIOKANDE INSTITUTE FOR COSMIC RAY RESEARCH UNIVERSITY OF TOKYO

## Przypadek interpretowany jako oddziaływanie neutrino elektronowego w eksperymencie T2K



Na tym rzucie detektora Super-Kamiokande, każdy kolorowy punkt oznacza fotopowielacz, który zarejestrował światło (fotopowielacze są osadzone na wewnętrznej ścianie detektora). Neutrino elektronowe oddziałują z wodą w detektorze, produkując elektrony, które następnie wytwarzają kaskady elektromagnetyczne, emitujące światło Czerenkowa, rejestrowane w postaci pierścienia.

## Słowniczek

### 1. Eksperyment T2K

Eksperyment z tzw. długą bazą, badający oscylacje neutrin. Neutrino z wiązki produkowanej w laboratorium J-PARC wykrywane są przez Super-Kamiokande, detektor w kopalni Kamioka w prefekturze Gifu (Japonia), która znajduje się w odległości 295 km (stąd określenie „długa baza”). T2K to skrót od angielskiego „Tokai to Kamioka” (Tokai do Kamioki), Tokai to miejscowość na wschodnim wybrzeżu Japonii, gdzie znajduje się J-PARC.

Jednym z najważniejszych celów eksperymentu jest wykrycie pojawiania się neutrin elektronowych. Eksperyment ma świetną, wiodącą w świecie czułość i przyciągnął wielu uczonych z całego świata – pracuje w nim ponad 500 naukowców z 12 krajów: Japonii, Stanów Zjednoczonych, Wielkiej Brytanii, Włoch, Kanady, Korei, Szwajcarii, Hiszpanii, Niemiec, Francji, Polski i Rosji. Z Polski uczestniczy w nim 25 osób z 6 ośrodków naukowych: Instytutu Fizyki Jądrowej PAN, Instytutu Problemów Jądrowych, Politechniki Warszawskiej, Uniwersytetu Śląskiego, Uniwersytetu Warszawskiego i Uniwersytetu Wrocławskiego.

### 2. Neutrino

Rodzaj cząstek elementarnych. Neutrino są elektrycznie obojętne, a ich masy są tysiące razy mniejsze niż masy kwarków czy elektronu. Neutrino występują w trzech rodzajach („zapachach”): elektronowe, mionowe i taonowe. Ich cechą szczególną jest wyjątkowa „niechęć” do oddziaływania z materią. W każdej sekundzie miliardy neutrin przelatują przez nas niezauważone, również Ziemia nie stanowi dla nich przeszkody. Pochodzą głównie ze Słońca i atmosfery, sztucznie można uzyskać je w reaktorach jądrowych lub przy akceleratorach.

### 3. Super-Kamiokande.

Detektor znajdujący się w kopalni Kamioka, około 1000m pod powierzchnią ziemi, w Hida, prefektura Gifu, Japonia. Poza uczestnictwem w eksperymencie T2K Super-Kamiokande obserwuje też neutrino przybywające z przestrzeni kosmicznej i atmosfery, oraz poszukuje rozpadu protonu.

Detektor zawiera około 11200 fotopowielaczy, umieszczonych na wewnętrznych ścianach cylindrycznego zbiornika o średnicy 39.3 m i wysokości 41.4 m, napełnionego 50000 ton ultraczystej wody. Fotopowielacze te mają za zadanie wykrywać bardzo słabe światło, produkowane przez cząstki, których prędkość przekracza prędkość światła w danym ośrodku (tzw. promieniowanie Czerenkowa). Dla przypomnienia prędkość światła w ośrodku to prędkość światła w próżni (która jest nieprzekraczalna) podzielona przez współczynnik załamania światła w ośrodku.

### 4. Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC)

Wspólne określenie akceleratorów protonowych i związanych z nimi obiektów, zbudowanych przez dwie japońskie agencje naukowe, High Energy Accelerator Research Organization (KEK) i Japan Atomic Energy Agency (JAEA), w 2001 r. J-PARC jest wiodącym ośrodkiem naukowym w dziedzinie badań materiałowych, biologicznych oraz fizyce jądrowej i fizyce cząstek elementarnych. Bada również możliwości stosowania w przemyśle cząstek wtórnych, takich jak neutrony, miony, mezony i neutrino, produkowanych przy uderzaniu przyspieszonymi protonami w tarcze.

### 5. Oscylacje neutrin mionowych w neutrino elektronowe (pojawianie się neutrin elektronowych)

Jeśli dwa rodzaje neutrin mają różne masy, możliwa jest przemiana jednych w drugie w trakcie ich lotu. To zjawisko nazywa się oscylacjami neutrin i zostało przewidziane w 1962 r. przez czwórkę uczonych: Pontecorvo, Maki, Nakagawę i Sakatę. Neutrino występują w trzech zapachach (elektronowe, mionowe i taonowe), możliwe są więc trzy rodzaje oscylacji – między elektronowymi a mionowymi, mionowymi a taonowymi, lub taonowymi a elektronowymi.

Istnienie tego zjawiska zostało potwierdzone w 1998 r. przez Super-Kamiokande, gdzie zaobserwowano, że liczba produkowanych w atmosferze neutrin mionowych spada bardziej, niż się spodziewano. Tego typu oscylacje uważa się za przejście między neutrinami mionowymi i taonowymi. Poza tym odkryciem, w różnych detektorach obserwowano również oscylacje neutrin pochodzących ze Słońca lub z reaktorów jądrowych. W tym przypadku neutrina elektronowe zmieniały się w mionowe lub taonowe – liczba wykrywanych neutrin elektronowych była mniejsza niż spodziewana.

Jak dotąd nie zaobserwowano przejścia neutrin mionowych w elektronowe, choć poszukują go eksperymenty na całym świecie. Wynika to z bardzo małego prawdopodobieństwa tego zjawiska. W tego typu poszukiwaniach nie wystarczy tylko stwierdzenie niższej niż spodziewana liczby neutrin mionowych (jak w dotychczasowych eksperymentach), ale trzeba zaobserwować pojawianie się neutrin elektronowych w wiązce, w której wcześniej ich nie było. Dlatego też eksperyment T2K używa dwóch detektorów – bliskiego, badającego neutrina tuż po ich wyprodukowaniu, zanim zdążą zajść oscylacje, i dalekiego, który bada tę samą wiązkę 295 km dalej. Taki rodzaj eksperymentu jest też najlepszym wyborem, by poszukiwać zjawiska łamania symetrii CP (8) w sektorze leptonowym (9).

## 6. Eksperymenty oscylacyjne w innych częściach świata

Eksperymenty wykorzystujące wiązkę neutrin produkowaną przy akceleratorach to także MINOS w Narodowym Laboratorium Fermiego (Fermilab) w USA oraz OPERA i ICARUS w Narodowym Laboratorium Gran Sasso (NLGS) we Włoszech z wiązką wytworzoną w Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych (CERN) w Szwajcarii. Fermilab przygotowuje też inny eksperyment oscylacyjny, NOvA, który będzie współzawodniczył z T2K. Poza tym przygotowywane są również eksperymenty wykorzystujące neutrina produkowane w reaktorach – Double Chooz we Francji, Daya Bay w Chinach i Reno w Korei.

## 7. Prawdopodobieństwo zdarzeń, w których pojawiają się neutrina elektronowe

Istnieje możliwość, że zdarzenie zarejestrowane w Super-Kamiokande jako pojawienie się neutrina elektronowego nie było w rzeczywistości wywołane przez neutrina elektronowe, ale stanowi tzw. tło. Spodziewaną liczbę zdarzeń tła wyznacza się stosując symulacje komputerowe. Jednak liczba ta podlega prawom statystyki, dlatego nie jest ściśle ustalona, ale ma pewien rozkład statystyczny wokół wartości średniej, oraz błąd statystyczny.

Dla obserwowanych w Super-Kamiokande sześciu przypadków pojawienia się neutrina elektronowego średnia liczba przypadków tła wynosi 1.5. Można policzyć, że szansa na to, iż wszystkie sześć przypadków jest tłem, wynosi 0.7%. Dlatego też podaje się, iż zaobserwowano pojawienie się neutrina elektronowego z prawdopodobieństwem 99.3% (lub że efekt jest na poziomie 2.5 odchylenia standardowego).

## 8. Łamanie symetrii CP

Łamanie symetrii CP oznacza w dużym uproszczeniu, że odpowiadające sobie cząstki materii i antimaterii mają różne własności i zachowują się inaczej. Uważa się, że łamanie symetrii CP jest kluczem do wyjaśnienia, dlaczego we Wszechświecie występuje głównie materia, a praktycznie brak w nim antimaterii.

## 9. Leptony

Grupa cząstek elementarnych, w skład której wchodzi elektron i jego cięższe odpowiedniki, oraz obojętne elektrycznie neutrina. Leptonów jest sześć: elektron, neutrina elektronowe, mion, neutrina mionowe, taon, neutrina taonowe. Uważa się, że istnieje jakiś związek między leptonami a kwarkami (których jest również sześć: u, d, c, s, t i b), ale jak na razie nie wiadomo, na czym dokładnie ten związek polega. Nie wiadomo też, dlaczego w ogóle istnieją miony, taony i odpowiadające im neutrina – nie wchodzi one w skład otaczającej nas „zwykłej” materii.

Poza leptonami i kwarkami istnieją też antyleptony i antykwarki – jest ich również po sześć.