

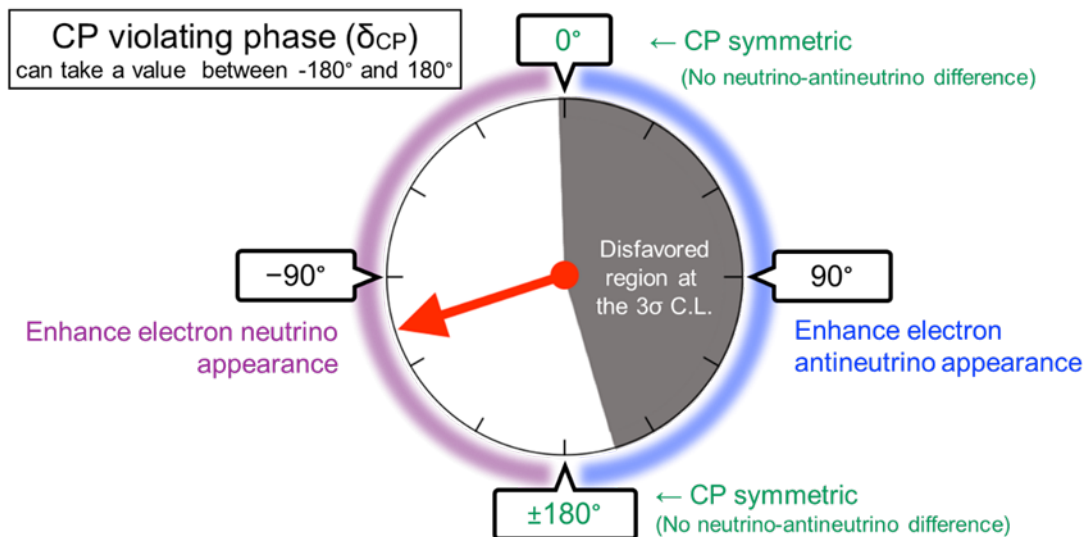
Informacja prasowa Współpracy T2K

Wyniki T2K ograniczają możliwe wartości fazy łamania symetrii CP dla neutrin

Wyniki opublikowane w Nature to ważny krok w badaniach różnicy między materią i antymaterią

Współpraca T2K opublikowała w prestiżowym czasopiśmie naukowym Nature nowe wyniki dotyczące najsilniejszego jak dotąd ograniczenia na parametr opisujący łamanie symetrii między materią i antymaterią w oscylacjach neutrin. Używając wiązki neutrin i antyneutrin mionowych, T2K badało jak te cząstki i antycząstki zmieniają się, odpowiednio, w neutrina i antyneutrina elektronowe. Parametr opisujący łamanie symetrii materia/antymateria w oscylacjach neutrin, zwany fazą δ_{CP} , może przyjmować wartości w zakresie od -180° do 180° . T2K po raz pierwszy, z bardzo dużym prawdopodobieństwem (na poziomie ufności 99,7%), wykluczyło prawie połowę z możliwych wartości parametru δ_{CP} , odsłaniając tym samym, nie zmierzoną do tej pory, podstawową własność neutrin. Wynik ten, oparty na danych zebranych przez eksperyment T2K do roku 2018, został opublikowany w interdyscyplinarnym czasopiśmie naukowym Nature 15 kwietnia 2020 r.

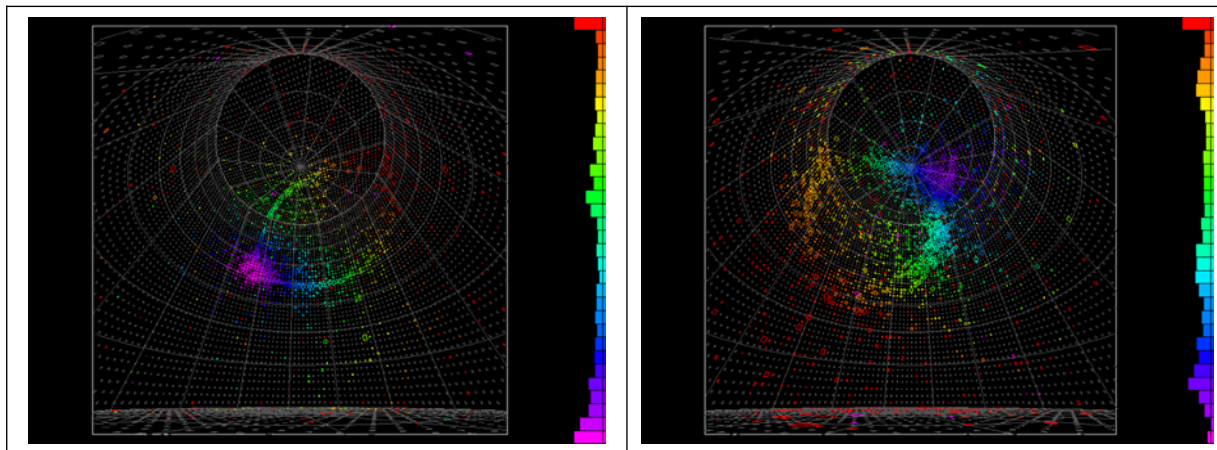
Dla większości zjawisk prawa fizyki dostarczają symetrycznego, tzn. takiego samego, opisu zachowania materii i antymaterii. Jednakże symetria ta nie jest zachowana w sposób uniwersalny. Efekt asymetrii między materią i antymaterią jest najbardziej widoczny w obserwacjach Wszechświata, który składa się głównie z materii i bardzo niewielkiej ilości antymaterii. Uważa się, że na początku Wszechświata materia i antymateria powstały w równych ilościach. By Wszechświat osiągnął stan dominacji materii nad antymaterią, niezbędnym warunkiem było łamanie tzw. symetrii ładunkowo-przestrzennej (z ang. Charge-Parity Symmetry, CP). Jak dotąd, łamanie symetrii CP zostało zaobserwowane jedynie dla subatomowych cząstek zwanych kwarkami, jednak wielkość tego efektu jest niewystarczająca, aby wyjaśnić obserwowaną przewagę ilości materii nad antymaterią we Wszechświecie. Eksperyment T2K poszukuje nowego źródła łamania symetrii CP w oscylacjach neutrin, które manifestowałyby się jako różnica w mierzonych prawdopodobieństwach oscylacji dla neutrin i antyneutrin.



Rys.1. Strzałka pokazuje wartość najlepiej zgodną z danymi. Szary region jest wykluczony na poziomie ufności 99,7% (3σ). Obejmuje on prawie połowę możliwych wartości.

Eksperyment T2K używa wiązki składającej się głównie z neutrin lub antyneutrin mionowych, wytworzonej z użyciem wiązki protonów w ośrodku Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC), położonym w miejscowości Tokai na wschodnim wybrzeżu Japonii. Mały ułamek tych neutrin (lub antyneutrin) jest wykrywany w odległości 295 km w detektorze Super-Kamiokande, znajdującym

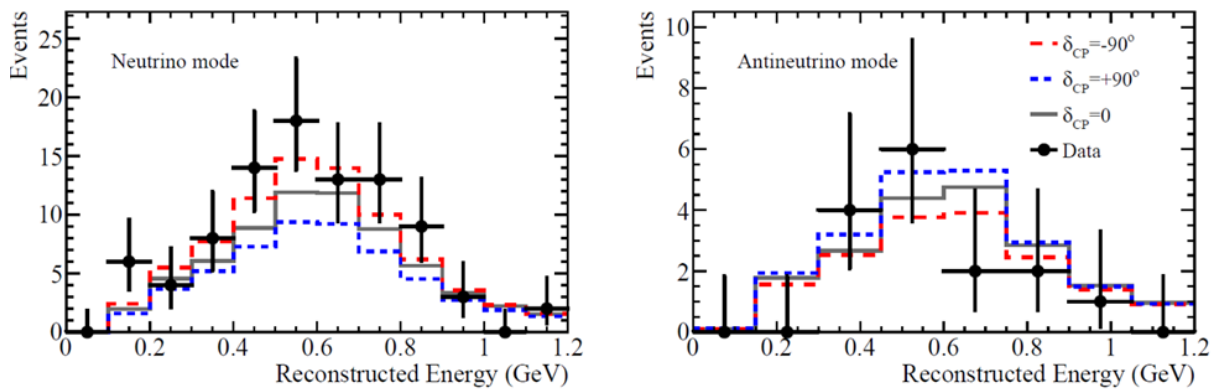
się pod górą w miejscowości Kamioka, blisko zachodniego wybrzeża Japonii. Kiedy neutrino i antyneutrino mionowe przebywają odległość z Tokai do Kamioka (ang. Tokai-to-Kamioka, stąd nazwa T2K), pewna ich część będzie oscylować, zmieniając swój rodzaj na odpowiednio neutrino lub antyneutrino elektronowe. Neutrino w detektorze Super-Kamiokande wykrywa się dzięki promieniowaniu Czerenkowa (tworzącemu charakterystyczne pierścienie pokazane poniżej) emitowanemu przez cząstki wybite (lub powstałe) w oddziaływaniu neutrino. Przełączając wiązkę w tryb neutrin lub antyneutrin można oddzielnie badać ich oscylacje.



Rys.2. Graficzna prezentacja przypadków z wiązki T2K – kandydata na neutrino elektronowe (po lewej) i na antyneutrino elektronowe (po prawej) zaobserwowanego w Super-Kamiokande. Kiedy (anty)neutrino elektronowe oddziałuje z wodą, produkowany jest elektron lub pozyton. Emitują one słabe światło, które jest wykrywane przez około 11000 fotoczujników. Kolor na obrazku odpowiada czasowi rejestracji fotonów.

T2K opublikowało wyniki z analizy danych zebranych dla wiązki neutrinowej i antyneutrinowej odpowiadającej $1,49 \times 10^{21}$ i $1,64 \times 10^{21}$ protonów z akceleratora, zderzających się z tarczą. W wyniku tych zderzeń produkowane są cząstki, które rozpadając się tworzą wiązkę neutrin bądź antyneutrin. Gdyby parametr δ_{CP} był równy 0° lub 180° , neutrino i antyneutrino zmieniałyby swój rodzaj (z mionowego na elektronowy) w czasie oscylacji w ten sam sposób. Jednak parametr δ_{CP} może mieć wartości, które wzmacniają oscylacje neutrin lub antyneutrin, łamiąc w ten sposób symetrię CP. Nawet jednak przy braku łamania symetrii CP liczby przypadków oddziaływań neutrin i antyneutrin nie będą takie same ze względu na fakt, że detektor i układ wiązki składają się z materii, a nie antimaterii. By odseparować efekt δ_{CP} od zaburzających wynik efektów tworzenia wiązki i oddziaływania z materią, do analizy włączone są poprawki oparte na danych zebranych z tzw. bliskiego detektora (ND280) położonego w odległości 280 m od tarczy.

T2K zaobserwowało 90 przypadków - kandydatów na neutrino elektronowe i 15 na antyneutrino elektronowe. Przy założeniu maksymalnego wzmocnienia dla neutrin ($\delta_{CP} = -90^\circ$) spodziewano się 82 kandydatów na neutrino elektronowe i 17 na antyneutrino elektronowe, natomiast przy maksymalnym wzmocnieniu dla antyneutrin ($\delta_{CP} = +90^\circ$): 56 neutrin elektronowych i 22 antyneutrino elektronowe. Liczba zaobserwowanych przypadków w funkcji zrekonstruowanej energii neutrino jest pokazana z wykresach poniżej. Dane T2K pasują najlepiej do wartości δ_{CP} bliskiej -90° , która znacząco zwiększa prawdopodobieństwo oscylacji dla neutrin. Używając tych danych T2K wyznaczyło przedziały ufności dla parametru δ_{CP} . Zakres od -2° do 165° został wykluczony przy poziomie ufności 3σ (99,7%). Wynik ten jest jak dotąd najsilniejszym ograniczeniem na δ_{CP} . Wartości 0° i 180° są odrzucone na poziomie ufności 95%, podobnie jak to miało miejsce dla poprzedniego wyniku T2K, ogłoszonego w 2017. Sugeruje to, że w oscylacjach neutrin może być łamana symetria CP.



Rys.3. Zaobserwowane przypadki – kandydaci na neutrino elektronowe (po lewej) i antyneutrino elektronowe (po prawej) w porównaniu z przewidywaniami dla maksymalnego wzmocnienia dla neutrino (czerwona linia kreskowana) i antyneutrino (niebieska linia kropkowana).

	Obserwacja	Przewidywanie	
		$\delta_{CP} = -90^\circ$	$\delta_{CP} = +90^\circ$
Neutrino elektronowe	90	82	56
Antyneutrino elektronowe	15	17	22

Tabela: Zaobserwowana liczba przypadków – kandydatów na neutrino i antyneutrino elektronowe w porównaniu z przewidywaniami dla maksymalnego wzmocnienia dla neutrino ($\delta_{CP} = -90^\circ$) i antyneutrino ($\delta_{CP} = +90^\circ$).

Choć wynik ten wskazuje na silną preferencję wzmocnienia dla neutrino w T2K, nie jest on całkowicie pewnym potwierdzeniem łamania symetrii CP. By wzmocnić czułość eksperymentu na możliwe efekty łamania symetrii CP, ośrodek J-PARC zwiększy intensywność wiązki protonów, a współpraca T2K unowocześni bliski detektor (ND280). Obie te modyfikacje pozwolą nie tylko na zebranie większej ilości danych, ale też zwiększenie dokładności pomiaru.

Eksperyment T2K ma wsparcie japońskiego Ministerstwa Kultury, Sportu, Nauki i Techniki (MEXT) oraz korzysta z ośrodków badawczych High Energy Accelerator Research Organization (KEK) i Institute for Cosmic Ray Research (ICRR), będącego częścią Uniwersytetu Tokijskiego. Eksperyment został zaprojektowany i zbudowany oraz jest obsługiwany przez międzynarodową współpracę około 500 naukowców z 68 instytucji z 12 państw (Francji, Hiszpanii, Japonii, Kanady, Niemiec, Polski, Rosji, Szwajcarii, Wielkiej Brytanii, Wietnamu, Włoch i Stanów Zjednoczonych). Prezentowany wynik otrzymano dzięki staraniom J-PARC, który dostarcza eksperymentowi T2K wysokiej jakości wiązek neutrino i antyneutrino.

Więcej informacji o eksperymencie T2K można znaleźć na stronie <http://t2k-experiment.org>.

Osoby kontaktowe w Polsce i na świecie mogące udzielić dalszych informacji:

Warszawa:

dr hab. Justyna Łagoda : e-mail justyna.lagoda@ncbj.gov.pl tel. 691 150 052
 prof. dr hab. Ewa Rondio : Ewa.Rondio@ncbj.gov.pl tel. 501 236 875
 dr Magdalena Posiadala-Zezula magdalena.Posiadala@fuw.edu.pl tel. 604 506 212

Katowice:

prof. dr hab. Jan Kisiel : jan.kisiel@us.edu.pl tel. 606 590 867
 dr hab. Arkadiusz Bubak : arkadiusz.bubak@us.edu.pl tel. 697 067 007

Kraków:

prof. dr hab. Agnieszka Zalewska: agnieszka.zalewska@ifj.edu.pl tel. 697 434 846
dr Marcela Bartkiewicz-Kwaśniak: Marcela.Batkiewicz@ifj.edu.pl tel.660 037 741

Wrocław:

prof. dr hab. Jan Sobczyk : jan.sobczyk@uwr.edu.pl tel. 692 619 519

Świat i Japonia

dr Atsuko Ichikawa, Spokesperson, T2K , Kyoto University (Kyoto, Japan),
ichikawa.atsuko.6e@kyoto-u.ac.jp
tel.: +81-75-753-3859

Świat i Szwajcaria

prof. Federico Sánchez, International Co-Spokesperson, T2K, Univ. de Genève,
federico.sancheznieto@unige.ch
tel.: +41 22 379 6227

Zaangażowanie Polskiej Grupy Neutrinowej w eksperyment T2K

Udział polskich zespołów naukowych w eksperymencie neutrinowym z długą bazą pomiarową Tokai-to-Kamioka (T2K) w Japonii rozpoczął się od zaangażowania w budowę bliskiego detektora ND280 w akceleratorowym ośrodku J-PARC w Tokai. W projekcie tym uczestniczymy od 2006 roku. Jesteśmy członkami Polskiej Grupy Neutrinowej (PGN), w skład której wchodzi zespoły z 6 instytucji naukowych:

- Uniwersytetu Śląskiego, Katowice (UŚ),
- Instytutu Fizyki Jądrowej PAN, Kraków (IFJ),
- Narodowego Centrum Badań Jądrowych, Otwock/Warszawa (NCBJ),
- Politechniki Warszawskiej, Warszawa (PW),
- Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa (UW),
- Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław (UWr).

Każdy z wymienionych zespołów wnosi wkład w prowadzone badania i prace związane z udziałem w eksperymencie T2K.

Polscy fizycy są wszechstronnie zaangażowani w działalność eksperymentu T2K, począwszy od budowy i obsługi aparatury pomiarowej, poprzez rozwijanie oprogramowania, zbieranie danych, prowadzenie analiz, aż po przewodniczenie grupom roboczym i udział w komitetach doradczych i zarządzających współpracą.

Historia naszego udziału w eksperymencie sięga roku 2006, kiedy był on dopiero przygotowywany. W latach 2006-2009 uczestniczyliśmy w projektowaniu i budowie jednego z podzespołów bliskiego detektora ND280 – detektora do pomiaru zasięgu mionów, a w kolejnych latach odpowiadaliśmy też za jego sprawne działanie i obsługę. Uczestniczyliśmy także w projekcie mierzącym czas przelotu neutrin pomiędzy detektorem bliskim a dalekim. W 2018 roku przejęliśmy nadzór nad działaniem jednego z kluczowych podzespołów ND280 – detektora scyntylicyjnego FGD, w którym rejestrowane są oddziaływania neutrin. Bierzymy czynny udział w zbieraniu danych w Japonii, pełniąc m.in. odpowiedzialną funkcję kierownika zmiany. Jesteśmy także zaangażowani w prowadzone obecnie prace nad unowocześnieniem bliskiego detektora, m.in. w zakresie testowania nowatorskich podzespołów do detektorów cząstek.

Rozwijamy używane przez współpracę oprogramowanie komputerowe. W wielu analizach wykorzystywany jest generator oddziaływań neutrin NuWro, stworzony we Wrocławiu, elastyczne narzędzie umożliwiające włączanie do obliczeń najnowszych modeli teoretycznych. Przygotowaliśmy symulacje zewnętrznego tła oraz rozwijaliśmy metody rekonstrukcji oddziaływań neutrin w detektorze ND280.

Jesteśmy odpowiedzialni za część zadań związanych z kontrolą jakości zbieranych danych i ich kalibracją, zarówno w bliskim, jak i w dalekim detektorze (Super-Kamiokande). Pracujemy także nad wyznaczaniem niepewności systematycznych związanych z efektami detektorowymi.

W zakresie analizy danych nasze wysiłki koncentrują się na detektorze ND280 i pomiarach oddziaływań neutrin, wkraczamy też w analizy danych zebranych przez detektor Super-Kamiokande. Dokładność pomiaru parametrów oscylacji neutrin w T2K, w tym wyniku opublikowanego w Nature, istotnie zależy od jak najlepszego modelowania wiązki neutrin i antyneutrin. Uzyskuje się to na drodze

dedykowanych pomiarów prowadzonych w eksperymencie NA61/SHINE w CERN z dużym udziałem polskich grup w zbieraniu i analizie danych.

Jesteśmy zauważani i doceniani we współpracy. Członkowie Polskiej Grupy Neutrinowej pełnili lub pełnią ważne funkcje koordynatorów grup roboczych oraz zasiadali lub zasiadają także w komitetach doradczych (Analysis Steering Group, Future Neutrino Panel) i zarządzających współpracą (Publication Board, ND280 G4 Committee, Executive Committee). Regularnie reprezentujemy współpracę T2K na międzynarodowych konferencjach z dziedziny fizyki cząstek elementarnych. Udział w T2K stworzył młodym polskim naukowcom okazję napisania około dziesięciu ciekawych rozpraw doktorskich i habilitacyjnych, oraz ponad dziesięciu magisterskich.

Działalność polskich grup wspierana jest przez fundusze otrzymywane z Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Narodowego Centrum Nauki oraz Komisji Europejskiej.