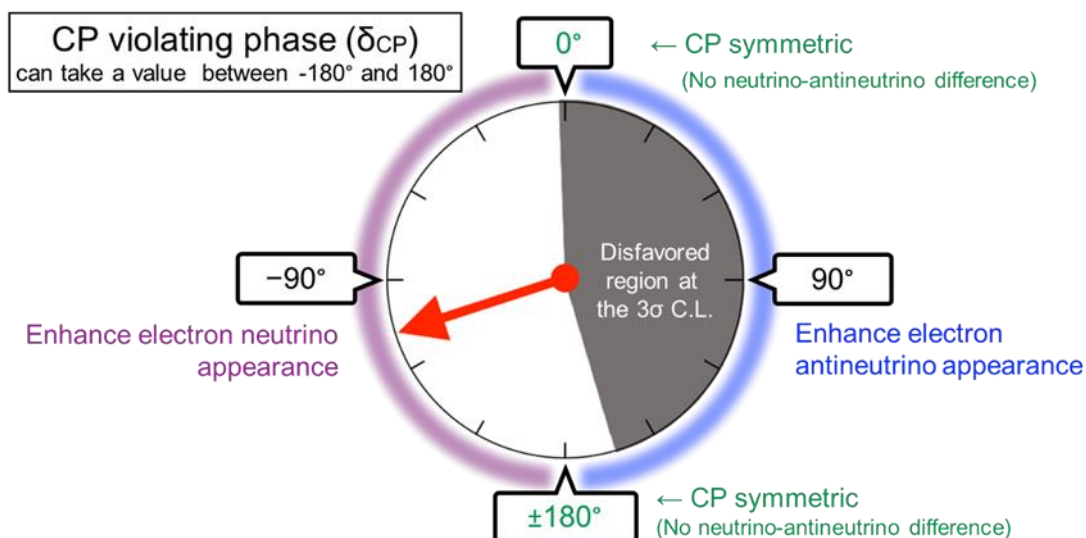


Wyniki T2K ograniczają możliwe wartości fazy łamania symetrii CP dla neutrin

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

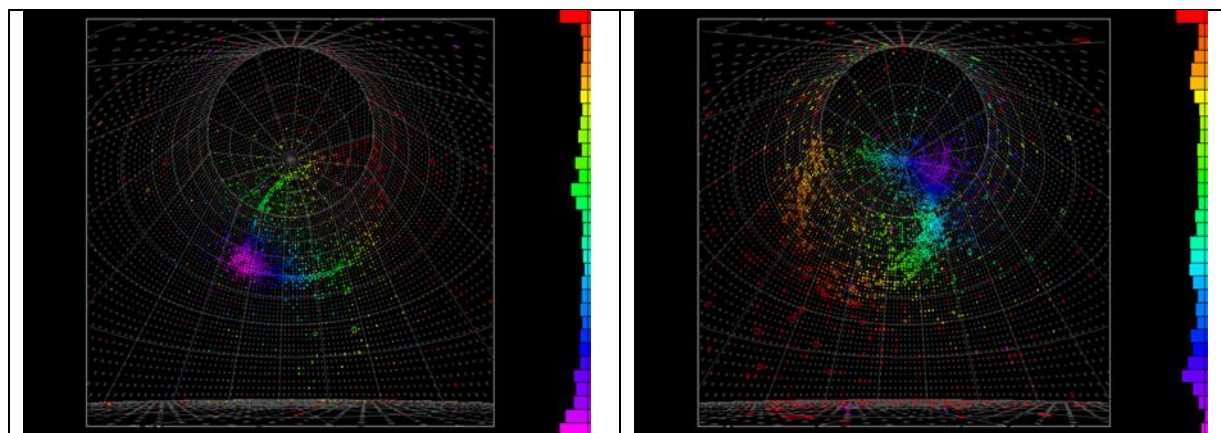
Współpraca T2K opublikowała w prestiżowym czasopiśmie naukowym Nature nowe wyniki dotyczące najsilniejszego jak dotąd ograniczenia na parametr opisujący łamanie symetrii między materią i antymaterią w oscylacjach neutrin. Używając wiązki neutrin i antyneutrin mionowych, T2K badało jak te cząstki i antycząstki 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 neutrina 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 neutrina 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 neutrina. Przełączając wiązkę w tryb neutrin lub antyneutrin można oddzielnie badać ich oscylacje.

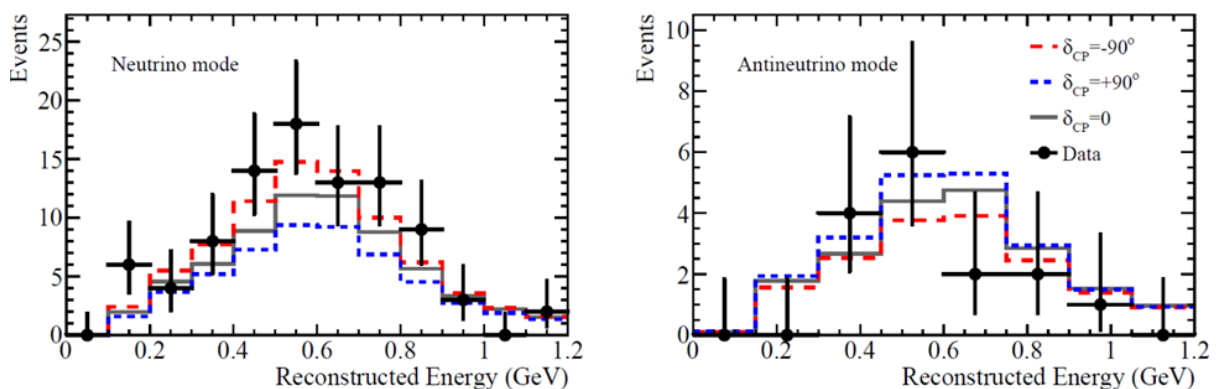


Rys.2. Graficzna prezentacja przypadków z wiązki T2K – kandydata na neutrina elektronowe (po lewej) i na antyneutrino elektronowe (po prawej) zaobserwowanego w Super-Kamiokande. Kiedy (anty)neutrino elektronowe oddziałuje z wodą,

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° , neutrina i antyneutrina 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 antymaterii. 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 antyneutrina elektronowe. Liczba zaobserwowanych przypadków w funkcji zrekonstruowanej energii neutrina 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 antyneutrina elektronowe (po prawej) w porównaniu z przewidywaniami dla

maksymalnego wzmocnienia dla neutrin (czerwona linia kreskowana) i antyneutrin (niebieska linia kropkowana).

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

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

Choć wynik ten wskazuje na silną preferencję wzmocnienia dla neutrin 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 neutrin i antyneutrin.

Więcej informacji o eksperymencie T2K można znaleźć na stronie <http://t2kexperiment.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

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.sanchezniето@unige.ch

Tel.: +41 22 379 6227