

STRESZCZENIE POPULARNONAUKOWE

Neutrino to rodzaj cząstek elementarnych, pozbawionych ładunku elektrycznego i niemal pozbawionych masy – są najlżejszymi z cząstek tworzących materię (kwarków i leptonów). W teorii opisującej cząstki i ich oddziaływania, zwanej Modelem Standardowym, istnieją trzy rodzaje neutrino („zapachy”), każde związane z odpowiadającym mu leptonem naładowanym – elektronem, mionem i tauonem. Neutrino są drugą najczęściej występującą cząstką we Wszechświecie (po fotonie przenoszącym oddziaływanie elektromagnetyczne), powstają w wielkich ilościach w reakcjach jądrowych w gwiazdach, w wybuchach supernowych, powstały również w Wielkim Wybuchu. Istnieją również neutrino pochodzenia ziemskiego – powstają one w atmosferze, wewnątrz Ziemi, a także w reaktorach atomowych i przy akceleratorach.

Badanie neutrino to duże wyzwanie, ponieważ oddziałują one bardzo niechętnie – podlegają tylko tzw. oddziaływaniu słabemu. Dlatego też ich obserwacje wymagają olbrzymich detektorów, które zwiększają szanse wykrycia. W jednym z takich detektorów, zwanym Super-Kamiokande, odkryto w 1998 r., że neutrino jednego rodzaju mogą zmienić się w inny rodzaj w trakcie lotu – zjawisko to nazywa się oscylacjami neutrino. Istnienie oscylacji wymaga, by neutrino posiadały masę – podczas gdy Model Standardowy zakładał, że są one bezmasowe. Badanie neutrino pozwala więc nie tylko lepiej poznać świat cząstek elementarnych, ale także poszukiwać sygnałów tzw. Nowej Fizyki, nie opisanej Modelem Standardowym.

Obecnie oscylacje neutrino zostały już zaobserwowane w kilkunastu eksperymentach, dla neutrino o różnych zapachach, energiach i pochodzących z różnych źródeł. Całkiem niezłe znamy już parametry opisujące oscylacje, wciąż jednak pozostaje wiele pytań. Jednym z najważniejszych jest to, czy neutrino i antyneutrino oscylują inaczej (czy tzw. symetria CP jest łamana). Jeśli taki efekt zostanie zaobserwowany, to może doprowadzić do zrozumienia faktu, co spowodowało, że we Wszechświecie, w którym w Wielkim Wybuchu powstały równe ilości materii i antimaterii, teraz pozostała tylko materia, z której również i my jesteśmy zbudowani.

Problemem tym zajmuje się światowej klasy eksperyment T2K, badający oscylacje neutrino powstających w ośrodku J-PARC w Japonii i obserwowanych najpierw w tzw. bliskim detektorze (pomiar referencyjny zanim zajdą oscylacje), a następnie 295 km dalej, w dalekim detektorze, którym jest Super-Kamiokande. T2K zaobserwowało jak dotąd słabą wskazówkę, że symetria CP może być złamana, czego nie widzi jednak inny podobny eksperyment, NOvA, w USA. Dlatego też potrzebne są dalsze, trudne badania, by potwierdzić lub wykluczyć łamanie CP dla neutrino.

Obecnie eksperyment T2K przygotowuje się do wkroczenia w drugą fazę. Remontowany i ulepszany jest daleki detektor, który uzyska wyższą czułość, szczególnie na oddziaływanie antyneutrino, trwają także testy nowych podzespołów zaplanowanych dla bliskiego detektora. W ciągu kilku lat wzmocniona zostanie również intensywność wiązki neutrino. Wszystkie te ulepszenia pozwolą T2K na potwierdzenie efektu łamania CP (jeśli istnieje) na poziomie ponad 99% pewności. T2K zmierzy również parametry oscylacji neutrino z niespotykaną dotąd precyzją. Planowane są także badania dotyczące lepszego zrozumienia oddziaływania neutrino z materią (pomiaru tzw. przekrojów czynnych czyli szans na oddziaływanie), szczególnie dla niższych energii.

By można było dokonywać takich pomiarów i odkryć, trzeba wcześniej włożyć wiele pracy w zrozumienie działania ulepszonych detektorów (symulacje, kalibracja, określenie błędów systematycznych), rekonstrukcję zarejestrowanych oddziaływań i ich selekcję, a także zrozumienie procesów stanowiących tło dla poszukiwanego przez nas sygnału. Niezbędne jest rozwijanie narzędzi informatycznych, takich jak algorytmy rekonstrukcji zdarzeń i metody selekcji (w tym uczenie maszynowe), a także zaawansowanych metod statystycznych, pozwalających szybko i efektywnie porównywać dane z modelami dla wielkich ilości zdarzeń i wielu parametrów modeli. Niniejszy projekt dotyczy właśnie uczestniczenia w rozwoju takich narzędzi i analizie danych za ich pomocą. Planowane są prace nad zrozumieniem tła, rekonstrukcją zdarzeń w bliskim i dalekim detektorze z użyciem zaawansowanych metod (sieci neuronowe), wyborem ciekawych zdarzeń i użyciem ich w analizie oscylacji.