

Nr umowy: UMO-2021/43/D/ST2/01504

Tytuł: Badanie oddziaływań neutrin w zmodernizowanym detektorze ND280 eksperymentu T2K

Opis projektu

Zgodnie z Modelem Standardowym, teorią opisującą cząstki elementarne i ich oddziaływania, materia składa się z dwóch grup cząstek, kwarków i leptonów, zorganizowanych w trzy tak zwane generacje. Każda generacja składa się z pary kwarków oraz jednego naładowanego i jednego neutralnego leptonu. Kwarki tworzą np. dobrze nam znane protony i neutrony. Naładowane leptony to elektron, mion i taon, a neutralne leptony to neutrino elektronowe (ν_e), neutrino mionowe (ν_μ) i neutrino taonowe (ν_τ). Każda z tych cząstek ma swój odpowiednik w antimaterii.

Neutrino to najlżejsze i najliczniejsze elementarne cząstki materii. Według Modelu Standardowego podlegają one jedynie oddziaływaniom słabym (oddziaływaniom, które wywołują np. jądrowy rozpad beta, w którym neutron rozpada się na proton, elektron i antyneutrino elektronowe). To powoduje, że neutrino oddziałują bardzo niechętnie, co czyni je trudnymi do wykrycia i badania, ale jednocześnie umożliwia im podróżowanie bez przeszkód z najdalszych i/lub najbardziej niedostępnych części Wszechświata, dostarczając informacji o źródłach ich pochodzenia i procesach produkcji, takich jak wybuchy supernowych, fuzja jądrowa w jądrze Słońca i innych gwiazd lub rozpady radionuklidów wewnątrz Ziemi. Z tego powodu, neutrino są najbardziej tajemniczymi ze znanych cząstek, a ich własności nie zostały jeszcze w pełni i konsekwentnie opisane. Niezerowe masy neutrin to fakt, który wykracza poza Model Standardowy. Są to jedyne cząstki elementarne, które mogą być cząstkami Majorany, tj. cząstkami, które są swoimi własnymi antycząstkami. Istnieją również wskazania, że asymetria między zachowaniem neutrin i antyneutrino może być wystarczająco duża, aby na początku istnienia Wszechświata spowodować wytworzenie nadmiaru materii względem antimaterii, który teraz buduje nasz Wszechświat. Gdyby cząstek materii i antimaterii powstało dokładnie tyle samo, to zanihilowałyby ze sobą, tzn. zniknęłyby, pozostawiając po sobie jedynie energię w postaci fotonów.

Neutrino oscylują, tzn. neutrino jednego rodzaju (np. neutrino mionowe) mogą zmieniać się w neutrino innego rodzaju (np. neutrino elektronowe) podczas przemieszczania się w przestrzeni. Aby zbadać to zjawisko, eksperymenty muszą wykorzystywać intensywne źródła neutrin i wielkie detektory, aby zrównoważyć fakt ich słabego oddziaływania z materią. Jednym z wiodących eksperymentów badających oscylacje neutrin jest T2K (Tokai to Kamioka). W ośrodku akceleratorowym J-PARC w Tokai na wschodnim wybrzeżu Japonii wytwarzana jest intensywna wiązka neutrin lub antyneutrino mionowych. Po 280 m wiązka przechodzi przez układ bliskich detektorów. Jednym z nich jest ND280, który mierzy właściwości wiązki przed zajściem oscylacji i bada oddziaływania neutrin. Po kolejnych 295 km, w odległości odpowiadającej pierwszemu maksimum oscylacji, wiązka przechodzi przez daleki detektor Super-Kamiokande, w którym mierzone jest zanikanie neutrin lub antyneutrino elektronowych. Asymetrię między materią i antimaterią w sektorze neutrin mierzy się na podstawie różnicy w prawdopodobieństwach pojawiania się neutrin elektronowych i antyneutrino elektronowych.

Obecnie T2K zbliża się do rozpoczęcia fazy II eksperymentu (T2KII), w której intensywność wiązki neutrin zostanie zwiększona, a detektor bliski ND280 zostanie zmodernizowany, aby mógł z

większą dokładnością rejestrować produkty oddziaływania neutrin, co z kolei pozwoli lepiej zrozumieć oddziaływania neutrin i modelować je z lepszą precyzją. Następcą eksperymentu T2K, będzie eksperyment Hyper-Kamiokande (HK), który będzie korzystał z tej samej wiązki neutrin i bliskich detektorów, ale będzie korzystał z dalekiego detektora 5-krotnie większego niż obecny. Faza II ma się rozpocząć w 2023, a eksperyment HK ma ruszyć w 2027 roku.

Projekt jest związany ze zmodernizowanym detektorem ND280. Prowadzone prace będą dotyczyły bezpieczeństwa i integracji nowych podsystemów w ramach istniejącego zaplecza eksperymentalnego, rozwoju oprogramowania potrzebnego do rejestracji i identyfikacji różnych rodzajów cząstek wytwarzanych przez oddziałujące neutrina, i wreszcie badania różnych rodzajów oddziaływań neutrin. Prace te są potrzebne, aby lepiej zrozumieć, w jaki sposób neutrina oddziałują, sprawdzić czy modele oddziaływań neutrin są poprawne i aby ulepszyć je w razie potrzeby. Ta wiedza jest niezbędna do pomiaru oscylacji neutrin, w tym asymetrii materia-antymateria, z pożądaną precyzją. Pozwoli to na sprawdzenie na poziomie ufności 3σ (99.7%) w T2KII, a następnie na ostateczne potwierdzenie na poziomie 5σ (99.99994% pewności) w HK czy symetria materia-antymateria w oscylacjach neutrin jest zachowana czy naruszona.