

Recenzja pracy doktorskiej Yashwanth SANJEEV PRABHU pt.

“Expanded ν_e $CC1\pi^+$ sample selection and improved systematic treatments for neutrino oscillation parameter determination with T2K data”

Badania podstawowe w fizyce są niezbędne dla dalszego rozwoju nauki i technologii oraz dla zrozumienia fundamentalnych zasad rządzących Wszechświatem. Choć ich wpływ jest często pośredni i odroczone w czasie, odgrywają kluczową rolę w postępie ludzkości. Jednym z fundamentalnych pytań współczesnej nauki jest kwestia powstania asymetrii między materią a antymaterią. Wśród najpopularniejszych i intensywnie badanych mechanizmów, które mogą wyjaśnić tę asymetrię, znajdują się: łamanie liczby barionowej, łamanie symetrii ładunku (C) oraz symetrii ładunku i parzystości (CP), a także brak równowagi termicznej.

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa skupia się na precyzyjnym badaniu fizyki oscylacji neutrin w ramach współpracy T2K w Japonii. Główną motywacją jest poprawa zdolności eksperymentu T2K do ograniczania parametrów oscylacji neutrin, na które jest on czuły. Zdarzenia oscylacyjne w których z wiązki T2K (anty)neutrino mionowych obserwowane są (anty)neutrino elektronowe są kluczowe dla wyznaczenia wartości parametru δ_{CP} , który jest miarą łamania symetrii CP.

Autor w rozprawie doktorskiej przedstawił nową selekcję próbek w detektorze Super-Kamiokande, przeprowadził analizę efektywności, rozdzielczości oraz częściowo analizę niepewności systematycznych. Następnie wykonał analizę oscylacyjną, uzyskując ograniczenia na parametry oscylacji neutrin za pomocą oprogramowania eksperymentalnego T2K opartego na łańcuchach Markova.

Przedstawiona do recenzji dysertacja podzielona jest na siedem rozdziałów. Praca rozpoczyna się zwięzłym wstępem, a kończy się podsumowaniem. Rozdział 1 stanowi wstęp pracy i przedstawia zwięzły przegląd fizyki oscylacji i oddziaływań neutrin. Opisuje różne aspekty fizyki oscylacji neutrin, ze szczególnym uwzględnieniem łamania symetrii CP w sektorze leptonowym. Rozdział 2 wprowadza eksperyment T2K. Autor opisuje układ detekcyjny T2K - od produkcji wiązki neutrin, przez detektory bliskie, po daleki detektor. Przedstawia także w

Dr hab. Szymon Puławski
Instytut Fizyki
Uniwersytet Śląski w Katowicach

skrótce, jak T2K przeprowadza analizę oscylacyjną. Rozdział 3 omawia pierwszą kluczową część analizy, w której Autor rozwija analizę nowej próbki neutrin elektronowych w dalekim detektorze, w tym badania wydajności selekcji i optymalizację binowania. Po raz pierwszy w T2K nowa multi-pierścieniową ν_e $CC1\pi^+$ próbka została połączona z próbką jedno-pierścieniową ν_e $CC1\pi^+$. Połączenie to eliminuje zależność od progu pędu pionu potrzebnego do wykrycia jego pierścienia Czerenkowa w detektorze Super-Kamiokande, skutecznie usuwając zależności od modelu kinematyki pionu. Łączna próbka prowadzi do lepszego dopasowania danych do modelu MC w porównaniu z użyciem próbki jedno-pierścieniowej. Rozdział 4 skupia się na analizie oscylacyjnej z uwzględnieniem nowej próbki i wprowadzonych zmian. Opisuje podejście Bayesowskie oparte na łańcuchach Markowa (MCMC) używane do analizy oraz testy diagnostyczne związane z konwergencją łańcuchów. Rozdział 5 opisuje źródła niepewności systematycznych wpływających na analizę oscylacyjną, ze szczególnym naciskiem na niepewności związane z oddziaływaniami neutrin. Rozdział 6 prezentuje przedstawione wyniki analizy oscylacyjnej z nową próbką, poprawionymi niepewnościami systematycznymi detektora Super-Kamiokande oraz niepewnościami wynikającymi z zastosowanych schematów binowania. Wyniki zostały porównane z oficjalną analizą oscylacyjną T2K z 2023 roku. Co ciekawe, na pierwszy rzut oka, nie wydaje się by parametry oscylacyjne zmieniały się w znaczący sposób dla nowo przeprowadzonej analizy. Rozdział 7 opisuje rozważania nad przyszłością czułości mierzonych w T2K parametrów oscylacji neutrin przy założeniu większej ilości zebranych danych i uwzględnieniu rozszerzonej próbki ν_e $CC1\pi^+$. Dodatkowo w pracy znajdują się dwa załączniki. Jeden z dodatkowymi badaniami nad wpływem rozdzielczości refleksyjności PMT na separację elektronów i pionów, szczegółowym podział błędów oraz dodatkowymi rozkładami rozdzielczości. Drugi natomiast zawiera rozkłady a posteriori wszystkich parametrów przekrojów czynnych.

Czytając przedstawioną pracę nasunęło mi się kilka uwag/pytań:

- We wstępie znajdujemy stwierdzenie: „multiple experiments have been able to measure some of these parameters very well in the last two decades.”. Uważam, że podanie referencji do pracy zbiorowej, lub indywidualnych prac byłoby wskazane.
- W rozdziale o produkcji wiązki neutrin znajdujemy szczegółowy opis struktury spillu wiązki protonowej. Brakuje jednak jakiegokolwiek informacji o średniej ilości protonów w spillu czy prądzie wiązki.

Dr hab. Szymon Puławski
Instytut Fizyki
Uniwersytet Śląski w Katowicach

- Większość detektorów eksperymentu T2K jest opisana dosyć szczegółowo przy czym monitor mionów jest właściwie tylko wymieniony. Jaka jest zasada jego działania?
- Analiza przedstawiona w rozprawie wykorzystuje dane z dwóch różnych konfiguracji detektora Super-Kamiokande: wypełnionego czystą wodą oraz wodą z domieszką gadolinu. Czy oba zestawy danych są kompatybilne na wszystkich etapach analizy? W jaki sposób jest uwzględniana niepewność systematyczna związana z tą różnicą?
- “FD Monte Carlo (MC) simulation that was scaled to represent ... data statistic” – jak to skalowanie się odbywało? Czy próbka MC była większa niż próbka danych i skalowana w dół? Uważam, że podanie trochę więcej szczegółów byłoby wskazane.
- Autor nie pokazuje żadnego rozkładu zależności sygnału od tła w funkcji optymalizowanych w ramach selekcji parametrów.
- Patrząc na rysunek 3.15 E autor wyciąg wniosek o stałej efektywności wydajności w funkcji Q^2 . Wydaje mi się że jest to twierdzenie na wyrrost w przypadku 3 punktów.
- Rysunek 3.16 wyraźnie pokazuje iż selekcja przypadków *zabija* wydajność o mniej więcej 30%. Jak poprawia się stosunek sygnału do tła? Wydajność na początku wynosi około 30% - skąd tak niska jej wartość?
- Na rysunku 5.2 podpis osi y wchodzi na skalę liczbową. Na górze rysunku znajdujemy podtytuł $mode=11$, który wydaje mi się nie został wyjaśniony w pracy.
- W podrozdziale 5.2.3 ustalona jest energia rozdziału dwóch parametrów kształtu na 600 MeV. Jakie były przesłanki wyboru takiej wartości energii?
- Systematyka detektora ND280 jest w pracy tylko wspomniana. Czy ten przyczynek był ostatecznie wykorzystany w określeniu niepewności systematycznej?
- Dla większości oszacowywanych niepewności systematycznych autor nie podaje jaki jest ich wpływ na wartości otrzymanych parametrów oscylacji. Warto byłoby podać, nawet w przybliżeniu, procentowy udział danej niepewności.
- Rysunki 5.9 i 5.10 nie są wspomniane w treści pracy. Są to finalne macierze kowariancji i korelacji otrzymane przez autora i wydaje mi się, że ich dyskusja byłaby wskazana.
- Na rysunkach 6.1, 6.2 itd. znajdujemy punkt z wartością ilości przypadków równą 0. Czy te punkty są traktowane jako punkty pomiarowe czy jest to po prostu artefakt rysowania?
- Na rysunku 6.5 nie doszukałem się szarego pasma.

Dr hab. Szymon Puławski
Instytut Fizyki
Uniwersytet Śląski w Katowicach

- Patrząc na rysunki 6.22 i kolejne odnosi się wrażenie, że nowa analiza i nowe niepewności nie wpływają na dokładność przedstawionych wyników. Jak to uzasadnić? Czy niepewność systematyczna jest większa od niepewności statystycznej?
- Rysunek 7.1 nie jest wykorzystany w treści pracy.

Rozprawa doktorska Yashwanth SANJEEV PRABHU, jest napisana w języku angielskim. Użyty język jest klarowny. Autor wykorzystuje bardzo dużo skrótów do opisu procedur i elementów związanych z eksperymentem T2K i analizą oscylacyjną. Od osoby czytającej wymaga to skupienia i częstego sięgania do załączonego spisu skrótów.

Podsumowując, uważam, że przedstawiona rozprawa stanowi wartościowy wkład w analizę oscylacji neutrin w eksperymencie T2K. Proces uzyskiwania wyników oraz analizy jest opisany dosyć szczegółowo, a uzyskane wyniki pokazują, że przedstawiona metodologia może znacząco poprawić niepewności parametrów oscylacyjnych.

Ponadto, moim zdaniem, w dysertacji autor udowadnia dobrą znajomość eksperymentalnej i teoretycznej fizyki neutrin.

Podsumowując, rozprawa doktorska Yashwanth SANJEEV PRABHU dostarcza wartościowych i oryginalnych wyników i spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Wnioskuje o dopuszczenie do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora.