

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Kamila Skwarczyńskiego „Constraining neutrino cross-section and flux models using T2K Near Detector with proton information in Markov chain Monte Carlo framework”

Rozprawa przedstawiona do recenzji została napisana w języku angielskim i składa się z ośmiu rozdziałów oraz dwu dodatków. Wraz ze spisami treści, rysunków i tabel tekst zamyka się na 243 stronach. Praca opisuje analizę poświęconą wyznaczeniu wartości parametrów uciążliwości (ang. nuisance parameters) kontrolujących przewidywania rozkładów kinematycznych oczekiwanych w detektorze Super-Kamiokande. Parametry uciążliwości były oszacowane na podstawie danych pochodzących z detektora ND280 dedykowanego do tego celu. Praca stanowi ważny element pomiaru parametrów oscylacji neutrin w eksperymencie Tokai-to-Kamioka.

Opis Pracy i uwagi

Wstęp przedstawia w kilku zdaniach zagadnienia którym jest poświęcona Praca, oraz bardzo klarowną informację o wkładzie własnym Autora, Główna część Pracy została podzielona na dwie części: właściwe rozdziały 1-8 oraz bardzo szczegółowe testy poprawności i spójności używanych metod w dodatku A i szczegóły techniczne w dodatku B.

Rozdział pierwszy zawiera wyczerpujące wprowadzenie do fizyki oscylacji neutrin – począwszy od rysu historycznego, przez krótką dyskusję efektu MSW po opis łamania parzystości kombinowanej CP. Rozdział ten zawiera też opis oddziaływań neutrin z jądrami atomowymi, których pomiar stanowi główną część pracy. Uwagi: w paru miejscach pojawiły się skróty, które nie były wcześniej zdefiniowane: „macierz PMNS” po wzorze 1.11, „ m^2 ” we wzorze 1.26. We wzorze na prąd naładowany j^μ w tekście na stronie 10 powinno być ψ zamiast ϕ . Przydałby się też krótki komentarz na temat przejścia między wzorami 1.4 (amplituda oscylacji z dwoma różnymi energiami $E_{1,2}$) a wzorem 1.5 (prawdopodobieństwo przetrwania w którym występuje już tylko jedna energia, E). Swoją drogą notacja używana z tym miejscu jest myląca: jako „disappearance probability” jest podane prawdopodobieństwo przetrwania („survival probability”).

Rozdział drugi zawiera opis eksperymentu Tokai-to-Kamioka (T2K). W tym miejscu zamieszczono wszystkie istotne informacje o eksperymencie: od produkcji wiązki neutrin po technologię używaną do detekcji ich oddziaływań w detektorach używanych przez eksperyment: INGRID, ND280 oraz Super-Kamiokande (SK). W rozdziale tym umieszczono także interesujący fragment dotyczący przewidywanych ulepszeń różnych elementów układu doświadczalnego. Uwagi: w rozdziale pojawia się kolokwializm: „cutting on the expected”. Opis rysunku 2.12 jest niespójny z tekstem: wysokość zbiornika T2K wynosi 42 m w jednym miejscu i 41 m w drugim. Na rysunku 2.19 (prawy) znajduje się nieopisana krzywa (fioletowa).

Kolejny rozdział zawiera opis analizy danych z detektora ND280. Podstawowym zadaniem tego detektora jest redukcja niepewności oszacowania natężenia i rozkładów kinematycznych wiązki neutrin docierającej do detektora SK. Opisano tutaj wyczerpujące kryteria selekcji przypadków oddziaływań neutrin z materiałem detektora, oraz ich podziału na kategorie. Szczególnym wkładem własnym Autora jest wprowadzenie kategorii przypadków z/bez protonów w stanie końcowym, bez zrekonstruowanych fotonów i pionów oznaczonej symbolami $CC-0\pi-0/Np-0\gamma$. Uwagi: podobnie jak w wielu innych miejscach jakość rysunków pozostawia wiele do życzenia. Niestety łatwo można zidentyfikować rysunki wykonane przez Autora jako robocze i te które zostały dopracowane na rzecz oficjalnej publikacji grupy badawczej T2K. Na rysunkach 3.4, 3.5 oraz 3.7 etykieta osi rzędnych nachodzi na wartości na osi. W rozdziale tym pojawia się też słowo „error” na określenie niepewności. Myślę że dużo lepszym słowem w tym kontekście jest „uncertainty”. Na rysunkach 3.13 widać, że rekonstrukcja pędu dla mionów o pędzie poniżej 100 MeV jest bardzo słaba i wielu kandydatów uzyskuje duże wartości zrekonstruowanego pędu, a rozrzut zmierzonych wartości jest bardzo duży – czy jest znane źródło tego efektu? Może jest tu jakaś korelacja z kątem wylotu mionu? Precyzja rekonstrukcji pędu poniżej 100 MeV jest tak zła, że można rozważyć usunięcie tych przypadków z analizy. Czy rozważono taki wariant? Rysunek 3.14 w wersji dwuwymiarowej jest nieczytelny – liniowy dobór skali powoduje, że większość obszaru rysunku ma ten, niebieski, sam kolor.

W rozdziale czwartym przedstawiono bardzo wyczerpujący przegląd efektów systematycznych obecnych w analizie danych z detektora ND280. Efekty systematyczne podzielono na kategorie: związane z detektorem i rekonstrukcją, strumieniem neutrin oraz modelowaniem oddziaływań neutrin z materiałem detektora. Złożona analiza mająca na celu redukcję niepewności tych ostatnich stanowi główne osiągnięcie Autora. Uwagi: w tabeli 4.1 wymieniono wszystkie niepewności systematyczne wraz z ich wartościami względnymi. Wydaje się, że jednostką tych wielkości nie są procenty jak napisano w nagłówku, ale zwykły ułamek względem jednościami (inaczej niepewności byłyby bardzo małe jeszcze przed użyciem danych z detektora ND280). Z drugiej strony wiersz „TPC tracking efficiency” zawiera wartości

typu „1.38”. Czy to jest 138% czy 1.38%? Obie wartości wydają się skrajne. W opisie oszacowania wpływu niepewności systematycznych na zliczenia w histogramach obserwabli napisano, że wykonano 2000 losowań Monte-Carlo zmieniając wszystkie niepewności naraz. Brakuje informacji czy wszystkie niepewności były modyfikowane w jedną stronę: w górę/w dół. Rysunek 4.4 przedstawia niepewność względną strumienia neutrin w funkcji ich energii. W opisie napisano, że użycie danych z eksperymentu NA61/SHINE zredukowało niepewność z 8% do 5% - nie widzę tego jednak na tym rysunku. Rysunek 4.7 (prawy) nie jest jasny – jaki model został użyty w mianowniku ilorazu? Na rysunku 4.8 pojawia się określenie „Tweak value” – ale brak jego definicji w tekście. Rysunki 4.10 są bardzo brzydkie... Legenda na rysunku 4.11 jest nieczytelna. Zależność rysunku 4.13 (b) wygląda na nieróżniczkowalną w zerze – czy jest jakieś wyjaśnienie tego efektu? Na rysunku 4.16 napisano $\cos(\theta)$ wielką literą, gdy w tekście jest pisane małą.

Rozdział piąty przedstawia przebieg analizy oscylacji w eksperymencie T2K. Jednym z kluczowych elementów analizy jest dopasowanie modelu opisującego oczekiwaną liczbę zliczeń w detektorze Super-Kamiokande. Model ten zależy od parametrów opisujących oscylacje, czyli kątów mieszania oraz różnic kwadratów mas neutrin, oraz tzw. parametrów uciążliwości (w pracy określanymi niestandardowym mianem „dials”), czyli wszystkich pozostałych parametrów opisujących wiązkę, oddziaływania neutrin, oraz rekonstrukcję obiektów fizycznych (głównie mionów). Autor opisuje w tym rozdziale dwa podejścia do opisu niepewności systematycznych: klasyczne, częstościowe (ang. frequentist), gdzie używa się wartości oczekiwanych i niepewności oszacowanych na podstawie pomiarów pomocniczych - tutaj analizy danych z detektora ND280, oraz metodę Bayesowską w której używa się pełnych rozkładów prawdopodobieństwa wartości parametrów uciążliwości (które jest oczywiście poprawnie zdefiniowane jedynie w podejściu Bayesowskim). Autor wyczerpująco opisuje oba podejścia i szczegóły ich realizacji. Dużo miejsca poświęcono metodzie łańcuchów Markowa używanej do znalezienia prawdopodobieństwa *posteriori* parametrów uciążliwości. Na szczególną uwagę zasługuje duża liczba testów zgodności obu metod które zostały detalicznie opisane w tekście, oraz dodatku A.6. Uwagi: rysunki wymagają trochę dodatkowej pracy edytorskiej, np. legenda na rysunkach 5.5 wychodzi poza ramkę.

Rozdział szósty przedstawia wyniki pełnej analizy oscylacji. W początkowych podrozdziałach 6.1 – 6.5 przedstawiono wynik dopasowań modelu oczekiwanej liczby zdarzeń dla detektora ND280 i jego wpływ na niepewności oczekiwanych rozkładów w detektorze Super-Kamiokande. Na serii rysunków przedstawiono wartości parametrów uciążliwości z ich początkowymi wartościami oraz niepewnościami wraz z wartościami wynikającymi z dopasowania do danych z detektora ND280. Dopasowania wykonano dla kontrolnej próbki danych uzyskanych z symulacji Monte Carlo przy nominalnych

wartościach parametrów – tzw. zbiór Asimova, oraz do rzeczywistych danych. Rozdział ten zawiera wyczerpującą dyskusję uzyskanych wyników w szczególności parametrów których wartość znacznie zmieniła się w wyniku dopasowania do danych. Podrozdział 6.5 przedstawia wyniki pełnego dopasowania do modelu opisującego oczekiwane liczby przypadków w obu detektorach: ND280 oraz Super-Kamiokande, wraz z uzyskanymi wartościami parametrów oscylacji. Uwagi: niektóre rysunki wymagają trochę dodatkowej pracy edytorskiej.

Rozdział szósty zawiera wyniki opublikowanej analizy do której Autor wniósł istotny wkład, ale praca zawiera także interesujące spojrzenie w przyszłość – rozdział siódmy. Rozdział ten zawiera opis analizy poświęconej kinematyce protonu rejestrowanego w detektorze ND280. Uwzględnienie rozkładów pędu protonu i jego kierunku obok parametrów mionów które są używane w standardowej analizie może pomóc w zredukowaniu niepewności systematycznych które wpływają na kinematykę protonu w stanie kobrźcowym. Przedstawiono tu też oczekiwaną precyzję wyznaczania omawianych parametrów z użyciem ulepszonej wersji detektora ND280. Uwagi: rysunki...

Tekst pracy zamyka się podsumowaniem, gdzie streszczono główne osiągnięcia Autora. Autor porównuje w tym miejscu wyniki uzyskane w eksperymencie T2K z wynikami uzyskanymi w eksperymentach NouA i SK.

Podsumowanie

Rozprawa Pana Kamila Skwarczyńskiego przedstawia solidną pracę doświadczalną. Autor wykazał się doskonałą znajomością metodologii nowoczesnej analizy danych. Wszystkie wymienione powyżej uchybienia dotyczą jedynie formy wizualnej rysunków - uznaję je za pomniejsze kwestie redakcyjne. Istotnych uchybień merytorycznych nie znalazłem. Uchybienia redakcyjne jednak nie umniejszają naukowej wartości rozprawy, wobec czego uważam że **praca w pełni spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim i stawiam wniosek o dopuszczenie mgr Kamila Skwarczyńskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego**. Dodatkowo poziom komplikacji analizy którą przeprowadził Autor i staranność z jaką przeprowadził testy poprawności swoich wyników sprawiają, że **wnoszę o wyróżnienie pracy**.

Artur
Kalinowski