

Kraków, 14.11.2023

dr hab. inż. Ewa Stanecka
Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego
Polskiej Akademii Nauk

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Jakuba Ryżki p.t.

New approaches for searching for CP violation effects in the $\Xi_c^+ \rightarrow pK^- \pi^+$ decays in the LHCb experiment,

napisanej pod kierunkiem naukowym prof. dr hab. inż. Tomasza Szumlaka oraz dr. hab. Artura Uklei - promotora pomocniczego na Akademii Górniczo Hutniczej w Krakowie.

Postawę prawną recenzji pracy doktorskiej stanowi ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668). Według art. 187 tej ustawy rozprawa doktorska powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz prezentować ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie naukowej, a także potwierdzać umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Przy ocenie rozprawy doktorskiej mgr. Jakuba Ryżki, rozważam przede wszystkim przytoczone powyżej kryteria. Recenzja zakończona została konkluzją.

1. Tematyka Pracy

Tematem pracy doktoranta jest poszukiwanie łamania symetrii CP w rozpadach barionów powabnych, tłumionych przez kąt Cabibbo, na trzy hadrony $\Xi_c^+ \rightarrow pK^- \pi^+$, przy użyciu trzech różnych technik w sposób niezależny od modelu. Studia przeprowadzono na danych ze zderzeń proton-proton w akceleratorze LHC. Próbką analizowanych danych odpowiadająca całkowitej świetłości około $4 fb^{-1}$ zebrana została przez eksperyment LHCb na zderzaczu LHC przy energii środka masy zderzeń proton-proton 13 TeV, w latach 2016-2018. Łamanie symetrii CP w sektorze powabnym zostało po raz pierwszy zaobserwowane w roku 2018 przez eksperyment LHCb. Od tamtej pory współpraca LHCb kontynuuje intensywne analizy rozpadów cząstek powabnych, a temat podjęty przez doktoranta jest jednym z najważniejszych kierunków tych badań. Przewidywany przez Model Standardowy (MS) poziom łamania symetrii CP w sektorze powabnym wynosi 10^{-3} lub mniej. Ewentualny wkład od efektów tzw. Nowej Fizyki mógłby wzmocnić łamanie symetrii CP do poziomu 10^{-2} . Pomiar łamania symetrii CP w procesie rozważanym w rozprawie doktorskiej jest

zatem dobrym testem dla MS, ale również stwarza możliwość obserwacji ewentualnego wpływu efektów tzw. Nowej Fizyki.

Analogiczny pomiar dla procesu $\Xi_c^+ \rightarrow pK^- \pi^+$ został już wykonany przez eksperyment LHCb na mniejszej próbce danych zebranych w latach 2011-2012. Przeanalizowane dane były zgodne z hipotezą braku łamania symetrii CP.

Analiza przeprowadzona przed doktoranta na znacznie większej próbce nowych danych i przy użyciu bardziej czułych metod, kontynuuje rozpoczęte w eksperymencie LHCb studia.

2. Zawartość naukowa rozprawy

Rozdział pierwszy rozprawy mgr. Ryżki stanowi wprowadzenie do pracy z uzasadnieniem wyboru tematyki poruszanych badań. W rozdziale drugim przedstawiono kompaktowy opis teoretyczny zjawiska łamania symetrii CP (CPV), znane mechanizmy oraz oczekiwane wartości w Modelu Standardowym z uwzględnieniem procesów będących tematem głównym rozprawy. Opis ten, wraz z odnośnikami do literatury, pozwala czytelnikowi na zrozumienie podstaw teoretycznych prowadzonych badań oraz ich niewątpliwie nowatorski charakter.

W rozdziale trzecim następuje niezbędny w tego typu pracach zarys środowiska eksperymentalnego, w szczególności podzespołów eksperymentu LHCb kluczowych dla prowadzonych pomiarów. Następnie w obszernym rozdziale czwartym autor wprowadza nas w eksperymentalną kuchnię analizy - selekcję przypadków z rozpadami barionów Ξ_c^+ oraz Λ_c^+ do finalnej analizy. Zaprezentowano etapy prowadzące do optymalizacji procedury selekcji jak największej liczby przypadków sygnału przy możliwie największej redukcji przypadków tła. Szczegółowy opis parametrów dyskryminujących wraz z tabelkami i wykresami dla selekcji przypadków z barionami Ξ_c^+ może z powodzeniem stanowić przewodnik dla studentów robiących podobne analizy. Zweryfikowano stopień zanieczyszczenia próbki danych przez błędnie zrekonstruowane i zidentyfikowane cząstki. Sprawdzone próbki pod kątem rekonstrukcji więcej niż jednego kandydata na zdarzenie sygnału w przypadku. Szczegółowo zbadano wpływ asymetrii detektora na wykonywany pomiar oraz efekty asymetrii rekonstrukcji cząstek i antycząstek.

Dla porządku należałoby dodać zbiorczą tabelę cięć dla selekcji przypadków procesu kontrolnego $\Lambda_c^+ \rightarrow pK^- \pi^+$. Pewnym mankamentem w rozdziale czwartym jest brak przynajmniej skrótowej charakterystyki tła zarówno fizycznego jak i kombinatoryjnego rozpatrywanego w analizie.

Rozdział piąty stanowi bardzo syntetyczny opis trzech metod statystycznych używanych w pracy do poszukiwań łamania symetrii CP, są to z angielskiego: *binned S_{CP} method*, *Energy Test*, *unbinned KDE technique*. Pierwsza z metod była używana w analogicznym pomiarze przeprowadzonym na danych z pierwszego sezonu działania LHC - tzw. Run 1, natomiast druga nie była wcześniej stosowana w analizach rozpadów barionów. Warto zaznaczyć, że

użycie metody *unbinned KDE technique* jest zaproponowane po raz pierwszy w poszukiwaniach łamania symetrii CP.

Rozdział szósty zawiera ważną i nowatorską kontrybucję autora, a mianowicie optymalizację techniki KDE do pomiaru symetrii CP. Optymalizacja została przeprowadzona przy użyciu próbek Monte Carlo z tzw. *Toy MC generator*. Co prawda na tym etapie czytelnik nie wie jeszcze co to jest *Toy MC generator*, jednak łatwo może nadrobić ten brak skacząc do rozdziału 7. W tymże rozdziale doktorant przedstawia studia czułości każdej z proponowanych metod pomiaru łamania symetrii CPV. Próbki MC, tzw. *toy sample*, z wprowadzonymi różnymi poziomami łamania symetrii CP zostały użyte do porównania czułości metod S_{CP} oraz *Energy Test*. Okazuje się, że obie metody mają podobną czułość, która pozwala na obserwację asymetrii CP rzędu 2 % i więcej.

W rozdziale ósmym wszystkie trzy metody są weryfikowane na próbce kontrolnej danych eksperymentalnych zawierających przypadki Λ_c^+ oraz przypadki poza oknem masowym barionu Ξ_c^+ ($\pm 20 \text{ MeV}/c^2$), czyli w rejonie, gdzie zgodnie z przewidywaniami Modelu Standardowego CPV jest tożsamy z zerem. Zgodnie z oczekiwaniami, nie stwierdzono sygnału łamania symetrii CP.

Ostatni, dziewiąty rozdział stanowi wniosek do pracy. Zabrakło mi w nich szerszego komentarza i odniesienia otrzymanych wyników do analizy przeprowadzonej na danych z Run 1. Czy otrzymane czułości metod są porównywalne? Czy miałyby sens ponowna analiza danych z Run 1 z użyciem metod zoptymalizowanych przez doktoranta w pracy doktorskiej?

Zgodnie ze strategią eksperymentu LHCb, przed zastosowaniem opracowywanych metod na pełnej próbce danych eksperymentalnych, muszą one zostać zweryfikowane na tzw. próbce kontrolnej, która z definicji nie zawiera poszukiwanego sygnału. Dopiero po zaakceptowaniu tak przygotowanej analizy przez kolaborację LHCb pełne dane zostaną ujawnione i będzie możliwy ostateczny pomiar efektów łamania symetrii CP (lub ich braku) w procesie $\Xi_c^+ \rightarrow pK^-\pi^+$. Szkoda, że nie udało się to przed zakończeniem rozprawy pana mgr. Jakuba Ryżki. Z niecierpliwością będę czekać na publikację ostatecznych wyników.

3. Struktura i forma rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mieści się na 107 stronach, zawiera streszczenie, dziewięć rozdziałów, jeden załącznik oraz bibliografię liczącą siedemdziesiąt cztery pozycje. Została napisana w języku angielskim. Struktura pracy jest dość zwięzła, szczególnie rozdziały 1,2,3 stanowiące wprowadzenie do tematyki napisane są skrótowo, aczkolwiek wystarczająco aby czytelnik nabył ogólnego obrazu zagadnienia. Rozdziały dotyczące prac wykonanych przez doktoranta zawierają wiele cennych szczegółów i mogą służyć jako swoisty przewodnik przez prowadzoną analizę.

Przy niezaprzeczalnie dużej wartości merytorycznej i naukowej przedstawionej rozprawy, nie da się niestety zignorować uchybień edytorskich i językowych manuskryptu. Większość z nich, jak literówki, powtórzenia czy niezgrabności stylistyczne, nie utrudnia czytania i

zrozumienia rozprawy. Jednak dodanie kilku udogodnień mogłoby ułatwić poruszanie się po tekście, np. lista użytych skrótów wraz ich rozwinięciami, czy spis rysunków i tabel. Czasami można odnieść wrażenie, że rozprawa jest przeznaczona głównie dla uczestników współpracy LHCb, gdyż autor odwołuje się do nazw algorytmów czy pakietów, bez wyjaśniania ich działania, co może nie być jasne dla pobocznych czytelników, (np. na str.21- *MIGRAD algorithm*, *MINUIT package*) lub stosuje skróty bez ich rozwijania np. HLT. Rysunek 79 na str. 94 jest nieczytelny na wydruku, w wersji elektronicznej można go odczytać po powiększeniu do 250%.

4. Konkluzja

Rozprawa doktorska mgr. Jakuba Ryzki dotyczy poszukiwania efektów łamania symetrii CP w trzyciałowych rozpadach barionów powabnych $\Xi_c^+ \rightarrow pK^- \pi^+$, produkowanych bezpośrednio w zderzeniach proton-proton w akceleratorze LHC i zebranych przez eksperyment LHCb podczas drugiego sezonu zbierania danych - Run 2. Pomiary te są niezwykle ważne i mogą rzucić nowe światło na poszukiwania efektów tzw. Nowej Fizyki. Adekwatne metody analizy zostały opracowane przez doktoranta przy użyciu trzech różnych technik niezależnych od modelu. Autor zaprezentował nowatorskie podejście do tego typu pomiarów i wykazał samodzielność w prowadzeniu badań naukowych. Rozprawa świadczy o szerokiej wiedzy ogólnej doktoranta i umiejętności zastosowania tej wiedzy w prowadzonych badaniach.

Stwierdzam, że przedstawiona praca spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim i wnioskuję do Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie o dopuszczenie pana magistra Jakuba Ryzki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Ewa Stanecka

