



UNIWERSYTET
WARSZAWSKI

Warszawa, 14 listopada 2023

dr hab. Katarzyna Grzelak
Wydział Fizyki
Uniwersytet Warszawski
ul. Pasteura 5
02-093 Warszawa

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr Jakuba Ryżki
pt. New approaches for searching for CP violation effects in the
 $\Xi_c^+ \rightarrow pK^-\pi^+$ decays in the LHCb experiment

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska wykonana w ramach dużej, międzynarodowej współpracy LHCb przy akceleratorze LHC. Dotyczy ona poszukiwań łamania przestrzenno-ładunkowej symetrii CP w trójciałowym rozpadzie powabnego barionu Ξ_c^+ : $\Xi_c^+ \rightarrow pK^-\pi^+$.

Wyniki pierwszych poszukiwań łamania symetrii CP w tym rozpadzie, w danych odpowiadających skalkowanej świetlności 3.0 fb^{-1} , zebranych przez eksperyment LHCb w latach 2011 i 2012 (Run 1) zostały opublikowane w 2020 roku ¹. W pracy doktorskiej autor zastosował nowe podejście do tych poszukiwań dla danych zebranych przez eksperyment LHCb w latach 2016, 2017 i 2018 (Run 2), które odpowiadają dwa razy większej skalkowanej świetlności, w przybliżeniu równej 6.0 fb^{-1} . Dzięki wprowadzonym modyfikacjom detektora LHCb, statystyka analizowanych przypadków jest kilka razy większa niż w okresie Run 1. Wyselekcjonowana próbka liczy ponad milion kandydatów na szukany rozpad barionu Ξ_c^+ .

Praca składa się z dziewięciu rozdziałów, jednego dodatku i spisu literatury. Zaczyna się od krótkiego podsumowania czym autor zajmował się w trakcie przygotowywania pracy doktorskiej i przedstawienia dorobku naukowego autora, w tym listy prezentacji na konferencjach i publikacji. Rozdział drugi wprowadza czytelnika do tematu łamania symetrii CP, demonstrowa teoretyczną wiedzę autora na temat tego zjawiska: mechanizmów łamania symetrii, oczekiwanej wielkości efektu w Modelu Standardowym i poza nim, a także motywacji kryjącej się za badaniem rozpadu powabnego barionu Ξ_c^+ . W tym rozdziale opisany jest także status badań łamania symetrii CP w rozpadach dziwnych, pięknych i powabnych mezonów, a także status poszukiwań łamania tej symetrii w rozpadach barionów. W rozdziale trzecim opisany jest eksperyment LHCb, jego podsystemy z uwzględnieniem układu wyzwalania, jak również zalety, które powodują, że jest i będzie znakomitym miejscem do badania rozpadów powabnych mezonów

¹LHCb Collaboration, Search for CP violation in $\Xi_c^+ \rightarrow pK^-\pi^+$ decays using model-independent techniques, Eur.Phys.J.C (2020) 80:986

i barionów. Przedstawione są tu także wyzwania związane z badanym stanem końcowym. W dalszych rozdziałach opisane zostały kolejne etapy analizy wykonane przez autora: przygotowanie danych, opis zastosowanych metod poszukiwań łamania symetrii CP, badanie ich czułości, jak również wyniki dla kontrolnego rozpadu Λ_c^+ i obszarów poza sygnałem dla rozpadu Ξ_c^+ . Spis literatury zawiera 74 pozycje dobrze dobrane do problematyki pracy.

Praca została bardzo elegancko skonstruowana: wszystkie rozdziały poza wprowadzeniem i podsumowaniem zaczynają się od krótkiego wprowadzenia co najważniejszego zostało w danym rozdziale opisane. Jest starannie zredagowana, praktycznie nie ma literówek i ma przejrzysty i logiczny układ. W kilku miejscach pojawiają się duże zestawy bardzo niewiele różniących się od siebie, roboczych rysunków (np. rozkłady z rozdziału 4.2 dla kolejnych lat zbierania danych), których ilość można było zredukować pokazując tylko przykładowe rozkłady, a w zamian bardziej szczegółowo omówić płynące z nich wnioski.

Zgodnie z tytułem, celem pracy było opracowanie nowego podejścia do poszukiwań łamania symetrii CP w rozpadach powabnych barionów $\Xi_c^+ \rightarrow pK^-\pi^+$ i ten cel został zrealizowany. Podjęta tematyka stanowi obecnie jeden z najważniejszych obszarów badań we współczesnej fizyce cząstek elementarnych, jako że łamanie symetrii CP jest jednym z warunków sformułowanych przez Andrieja Sacharowa², uznanych za niezbędne do wyjaśnienia dominacji materii nad antymaterią we współczesnym Wszechświecie.

Autor pracy opracował kolejne kroki analizy, z których pierwszym było wyselekcjonowanie próbek danych o jak najlepszej czystości, przy zachowaniu wysokiej efektywności selekcji. Dane o których mowa zebrane zostały w latach 2016, 2017 i 2018 i wstępnie wyselekcjonowane przez układ wyzwalania. W tekście pracy podane są tylko bardzo ogólne kryteria tej selekcji. W rozdziale 4.2, rysunki 7-22 przedstawiające rozkłady dla danych z zaznaczonymi wartościami cięć wprowadzonych na kolejnym etapie, w większości nie wyjaśniają przyczyn zastosowania takich a nie innych wartości cięć, ponieważ nie pokazują oczekiwanych rozkładów dla sygnału i tła.

Kolejna duża i ważna część pracy doktorskiej polegała na sprawdzeniu i wyeliminowaniu czynników, które mogłyby spowodować zniekształcenie końcowego wyniku, takich jak przypisanie innej masy którejś z trzech zrekonstruowanych cząstek i potencjalna asymetria wynikająca z budowy detektora lub różnicy w rekonstrukcji cząstek i antycząstek. W tej części autor zademonstrował znakomite, naukowe podejście do analizy fizycznej, w którym przeprowadzane są szczegółowe, często bardzo czasochłonne testy potwierdzające poprawność zastosowanych procedur.

Dalsza część pracy poświęcona jest opisowi metod poszukiwań efektów łamania symetrii CP w rozpadach powabnych barionów. Autor zastosował trzy różne metody: S_{CP} , ET (Energy Test) i technikę KDE (Kernel Density Estimation). Tylko pierwsza z nich została wcześniej użyta w analizie rozpadu Ξ_c^+ dla danych z okresu Run 1. Ostatnia, rozwijana przez autora nigdy wcześniej nie była stosowana do analiz takiego typu jak prezentowana w pracy. Wszystkie podejścia polegają na analizie wykresu Dalitza reprezentującego trzy-ciałowe rozpady powabnych mezonów.

W opisach metod zabrakło dydaktycznego wprowadzenia i wyjaśnienia pełnych podstaw, np. przy opisie metody S_{CP} wyjaśnienia skąd pochodzą zliczane antycząstki.

²A.D. Sakharov. Pisma Zh. Eksp. Theor. Fiz.. 5, 32 (1967)

Dla czytelnika byłoby też interesujące, gdyby w pracy pojawiły się pełne, nie podzielone na przedziały wykresy Dalitza dla badanych rozpadów Ξ_c^+ i Λ_c^+ .

Rozdział siódmy poświęcony jest sprawdzeniu czułości zastosowanych metod, co jest szczególnie ważne w sytuacji gdy oczekiwane naruszenie symetrii CP w sektorze kwarków powabnych w Modelu Standardowym powinno być bardzo małe, rzędu $10^{-4} - 10^{-3}$. W ostatnim rozdziale, poświęconym analizie danych przedstawione są wyniki dla kontrolnych procesów: rozpadów cząstki Λ_c^+ , gdzie nie powinno być łamania symetrii CP i obszarów poza sygnałem Ξ_c^+ (sidebands). Praca kończy się podsumowaniem, które oprócz uzyskanych wyników zawiera opis planów kontynuacji analizy i kroków niezbędnych do uzyskania dostępu do danych w obszarze sygnału i pokazania ostatecznych wyników dla rozpadów Ξ_c^+ .

Uwagi zawarte w recenzji dotyczą przede wszystkim sposobu zaprezentowania wyników i nie umniejszają wartości pracy.

Podsumowując, rozprawa doktorska zawiera opis kolejnych etapów nowego podejścia do poszukiwania łamania symetrii CP w rozpadach powabnych barionów $\Xi_c^+ \rightarrow pK^-\pi^+$ dla nowego, bardzo dużego zbioru danych z eksperymentu LHCb. Autor zdemontrował umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i dobre opanowanie warsztatu, poczynając od przygotowania danych, poprzez zastosowanie znanych i nowych technik do badania rozpadów powabnych barionów, poprzez badania czułości zastosowanych metod, a kończąc na uzyskaniu wyników dla kontrolnych próbek danych. Wykonana praca znajduje się w głównym nurcie działalności współpracy LHCb i będzie kontynuowana. Uważam, że recenzowana praca spełnia wymagania dotyczące rozpraw doktorskich i wnioskuję o dopuszczenie jej autora, mgr Jakuba Ryzkę do dalszych etapów postępowania doktorskiego.

Katarzyna Grzelak