

Dr hab. Andrzej Siodmok, prof. UJ

09.09.2025, Kraków

Faculty of Physics, Astronomy and Applied Computer Science

Jagiellonian University

Ul. Łojasiewicza 11

30-348 Kraków

Poland

e-mail: andrzej.siodmok@uj.edu.pl



JAGIELLONIAN
UNIVERSITY
IN KRAKÓW

Faculty
of Physics,
Astronomy
and Applied
Computer Science

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr Patrycji Potępy

Pod tytułem:

“Observation of top-quark pair production in heavy-ion collisions in the ATLAS experiment at the LHC”.

Przygotowana pod kierunkiem:

Promotor: prof. dr hab. inż. Iwona Grabowska-Bołd

Promotor pomocniczy: Prof. Dr. Matthias Schott

Rozprawa doktorska mgr. Patrycji Potępy pt. “Observation of top-quark pair production in heavy-ion collisions in the ATLAS experiment at the LHC” koncentruje się na pomiarach produkcji par kwarków szczytowych $t\bar{t}$ w zderzeniach ciężkich jonów. Analiza przedstawiona w pracy objęła dane zebrane przez detektor ATLAS podczas drugiej kampanii zbierania danych (2015-2018) w Wielkim Zderzaczy Haronów w zderzeniach proton-ołów (p+Pb) przy energii środka masy $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$ TeV oraz w zderzeniach ołów-ołów (Pb+Pb) przy $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV. Kluczowym elementem metodologicznym opracowanym w rozprawie była optymalizacja identyfikacji elektronów, wykorzystywanych do rekonstrukcji rozpadów par kwarków szczytowych w kanałach jedno- i dwuleptonowych.

Rozprawa napisana jest w języku angielskim, liczy 153 strony i składa się z sześciu rozdziałów, po których znajduje się bogata, licząca 179 pozycji, bibliografia oraz trzyczęściowy dodatek.

ul. prof. Stanisława
Łojasiewicza 11

PL 30-348 Kraków

tel. +48(12) 664-48-90

fax +48(12) 664-49-05

e-mail:

wydzial.fais@uj.edu.pl

W rozdziale 1 autorka zwięźle i przejrzyście przedstawia zarys teoretyczny związany z tematyką omawianą w pracy. Pojawiają się tu jednak pewne nieścisłości, np. w Tabeli 1.1 stwierdzono, że oddziaływania słabe są przenoszone przez fotony o ograniczonym zasięgu, a oddziaływania elektromagnetyczne przez bozony W i Z o nieskończonym zasięgu. Z Rys. 1.6 autorka argumentuje, że prezentowane w pracy pomiary mają potencjał zmniejszenia niepewności funkcji struktury gluonu o ok. 10%. Jednak przedstawione na wykresie nPDF EPOS09 są już mocno przestarzałe – nie uwzględniają danych z LHC, przez co ich rozkłady gluonowe pozostają w dużej mierze nieograniczone eksperymentalnie. Warto byłoby zaprezentować analogiczny wykres dla bardziej współczesnych funkcji struktury nPDF, które już wykorzystują dane z LHC, co lepiej oddałoby realistyczny wpływ przedstawionych wyników na precyzję nPDF-ów. W rozdziale 1.4 autorka pisze: “Experimental results are in excellent agreement with the theoretical prediction based on the PDF4LHC21 PDF set”, co jest oczywiście istotną informacją, jednak należałoby tam dodać, że obliczenia te są rzędu NNLO+NNLL co jest równie ważne jak to jakie PDF zostały użyte.

W rozdziale 2 autorka w sposób jasny i zwięzły opisuje Wielki Zderzacz Hadronów oraz detektor ATLAS, ze szczególnym uwzględnieniem jego komponentów, które są istotne dla pomiarów eksperymentalnych omawianych w dalszej części pracy. Z drobniejszych niedociągnięć należy wskazać brak definicji symbolu m w równaniu (2.3). W podrozdziale 2.3, dotyczącym świetłości, autorka pisze: “Of the data collected during Run 2, 1.9 nb^{-1} of Pb+Pb collisions and 165 nb^{-1} of p+Pb collisions are validated to be of good quality for physics measurements”. Ciekawym uzupełnieniem byłoby zdefiniowanie, jakie warunki muszą być spełnione, aby dane zostały uznane za odpowiedniej dobrej jakości. Ostatnia część rozdziału poświęcona jest opisowi zderzeń ciężkich jonów w tym klas centralności, które definiowane są przy użyciu modelu Glaubera.

Rozdział 3 autorka poświęciła omówieniu tak zwanej wydajności elektronów w zderzeniach p+Pb, jak i Pb+Pb. Opracowana przez doktorantkę optymalizacja identyfikacji elektronów jest kluczowym narzędziem, wykorzystywany w dalszej części pracy do detekcji rozpadów par kwarków szczytowych w kanałach jedno- i dwuleptonowych. Współczynniki skalujące dla elektronów najpierw zostały wyznaczone w zderzeniach p+Pb, a następnie identyfikacja elektronów została także zoptymalizowana dla zderzeń Pb+Pb. Warto podkreślić, iż ta część pracy była zadaniem kwalifikującym doktorantki w eksperymencie ATLAS i została zintegrowana z oprogramowaniem eksperymentu, a obecnie stanowi podstawowe narzędzie w trzeciej kampanii zbierania danych (2022–2026). Tekst rozdziału napisany jest bardzo



JAGIELLONIAN
UNIVERSITY
IN KRAKOW

Faculty
of Physics,
Astronomy
and Applied
Computer Science

przejrzyscie, jednak można by go uzupełnić o kilka dodatkowych informacji. Przykładowo naiwnie równanie 3.2.2 można by skrócić do $N_{\text{trig}}/N_{\text{clus}}$, warto wyjaśnić, dlaczego się tak nie robi? Na stronie 32 przydałoby się dokładniejsze opisanie sposobu szacowania wkładu tła z użyciem metod opartych na danych i odejmowania go z rozkładów przy użyciu szablonów (templates). Nie znalazłem także dokładnej definicji kryteriów identyfikacji oznaczonych jako: VeryLoose, Loose, Medium, and Tight. W kilku miejscach (np. str. 41) autorka podaje, że niepewności metod są zdominowane przez błędy statystyczne – interesujące byłoby zrozumienie, czy i w jaki sposób planowane jest ich zmniejszenie w przyszłych badaniach ATLAS-a. W rozdziale tym opisano również generację przypadków Monte Carlo i jeśli dobrze rozumiałem Powheg wraz z Pythia 8 zostały użyte do generacji sygnału, a następnie nałożone na efekty symulacji zdarzeń Pb+Pb wygenerowane przez inny generator HIJING. Wydaje się to na dość uproszczony sposób symulacji, gdzie brakuje korelacji między procesem sygnału, a tłem. Nie jest to oczywiście zarzut do metodologii pracy (najpewniej jest to obecnie jedna z najdokładniejszych dostępnych metod) jednak zastanawiam się czy takie proste nałożenie dwóch osobnych przypadków nie powoduje jakiś dodatkowych niepewności? Na wielu rysunkach w tym rozdziale pojawia się oznaczenie JF17 (np. rys. 3.15, 3.16, 3.17, 3.18) natomiast nigdzie nie zostało wyjaśnione co to dokładnie oznacza. Na rys. 3.17 widoczna jest także interesująca obserwacja: sygnał wydaje się znacznie silniej zależny od centralności niż tło (JF17). Czy istnieje intuicyjne wyjaśnienie tego efektu? W rozdziale 3.3.4 użyty został tylko proces $Z \rightarrow e^+e^-$, jaki był powód pominięcia $J/\psi \rightarrow e^+e^-$? W podrozdziale 3.3.7 autorka zauważa, że dla punktów HIMedium i HITight wydajność w obszarze przejściowym detektora i przy dużych $|\eta|$ spada do 33% (50%). Czy może to stanowić ograniczenie dla niektórych pomiarów w ATLAS-ie?

W rozdziale 4 autorka przedstawiła pomiar całkowitego przekroju czynnego $t\bar{t}$ w zderzeniach p+Pb z niepewnością względną 9%, co obecnie stanowi najdokładniejszy pomiar w zderzeniach ciężkich jonów. Istotność sygnału przekroczyła 5 odchyleń standardowych, co zaowocowało pierwszą obserwacją produkcji $t\bar{t}$ w kanale dwuleptonowym. Rozdział jest opisany z wielką starannością, szczegółowymi informacjami o symulacjach Monte Carlo potrzebnymi do przeprowadzenia pomiaru, a także dokładnym opisem niepewności systematycznych. W rozdziale tym wyznaczono również współczynnik modyfikacji R_{pPb} , który w granicach błędów jest równy 1. Czy taki wynik był spodziewany, czy też jest pewnym zaskoczeniem, zwłaszcza w kontekście niektórych prognoz teoretycznych z Tabeli 4.7? W podrozdziale 4.5.2 interesujące byłoby doprecyzowanie w jaki sposób był usuwany “underlying event”. Ponieważ “underlying event” potrafi fluktuować od jednego przypadku do drugiego to naiwne odejmowanie jego średniej wartości

ul. prof. Stanisława
Łojasiewicza 11
PL 30-348 Kraków
tel. +48(12) 664-48-90
fax +48(12) 664-49-05
e-mail:
wydzial.fais@uj.edu.pl

może prowadzić do znacznych niedokładności w opisie dżetów (np. małe różnice w odjęciu kontrybucji z “underlying event” może spowodować znaczną zmianę kształtu dystrybucji pędu poprzecznego dżetu). Zastanawiające jest też to co się dzieje, jeśli w równaniach 4.7 i 4.8 mianownik jest równy zeru (czyli $\epsilon_r = \epsilon_f$)?

W rozdziale 5 autorka przedstawiła analizę produkcji par $t\bar{t}$ w dwuleptonowym kanale rozpadu w zderzeniach Pb+Pb, gdzie osiągnięto pomiar całkowitego przekroju czynnego z niepewnością 31%, co stanowi najdokładniejszy tego typu pomiar w zderzeniach Pb+Pb. Zarejestrowana istotność sygnału wyniosła 5.0 odchyżeń standardowych, co oznacza pierwszą obserwację produkcji $t\bar{t}$ w zderzeniach ołów-ołów. Analiza została przedstawiona szczegółowo i wyczerpująco. W podrozdziale 5.3 autorka pisze, że w symulacjach zaniedbano oddziaływania z QGP – czy takie uproszczenie nie wiąże się z dodatkowymi niepewnościami? Pomiar jest ograniczony statystycznie, bazując jedynie na 94 przypadkach w kanale elektron mion, inne kanały dwuleptonowe mają znacznie większe statystyki. Czy rozważano ich alternatywne wykorzystanie (inne niż w prezentowanej pracy) w celu zmniejszenia błędów statystycznych? Na wielu rysunkach np. Fig. 5.5 procesy tła są niewidoczne czy to znaczy, że są zaniedbywalnie małe?

W rozdziale 6 doktorantka podsumowuje rozprawę oraz wskazuje kolejne kierunki kontynuacji badań przedstawionych w pracy.

Wnioski końcowe

Od strony kompozycyjno-edytorskiej praca jest na bardzo dobrym poziomie z jasnym podziałem na rozdziały, podrozdziały i dodatek, z przejrzystymi diagramami, wykresami i tabelami, wyczerpującymi referencjami oraz właściwym doбором czcionek.

Merytorycznie niniejsza praca jest na wyróżniającym się poziomie. Autorka trafnie przedstawił cele podjętych badań, a postawione w rozprawie zadania zakończyły się sukcesem prowadząc do nowych i w chwili obecnej najdokładniejszych pomiarów eksperymentalnych dla procesu $t\bar{t}$ w zderzeniach ciężkich jonów. Wyniki tych prac zostały opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych takich jak Journal of High Energy Physics czy Physical Review Letters i kładą ważne fundamenty pod dalsze zrozumienie właściwości materii. Wkład autorki w przedstawione pomiary został dokładnie opisany na początku pracy i świadczy o jej kluczowej roli w ich realizację, a także dowodzi umiejętności samodzielnego prowadzenia prac naukowych przez doktorantkę.



JAGIELLONIAN
UNIVERSITY
IN KRAKOW

Pani Potępa prezentowała wyniki swoich badań na wielu międzynarodowych konferencjach, a także uczestniczyła w trzech grantach NCN, w tym w jednym jako kierownik projektu. Dodatkowo, warto podkreślić, że doktorat Pani Potępy prowadzony był we współpracy międzynarodowej z Uniwersytetem w Mainz, co było dodatkowym wyzwaniem i pokazuje, iż Pani Potępa potrafi doskonale pracować w różnych grupach badawczych zarówno w kraju jak i za granicą.

Faculty
of Physics,
Astronomy
and Applied
Computer Science

Podsumowując moim zdaniem rozprawa z naddatkiem spełnia wszystkie zarówno zwyczajowe, jak i ustawowe (art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późn. Zm.)) wymagania stawiane pracom doktorskim. W związku z powyższym, w oparciu o przedstawione argumenty, wnioskuję o dopuszczenie mgr. Patrycji Potępy do dalszych etapów postępowania w procedurze nadania stopnia doktora w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne.

Biorąc pod uwagę wkład wniesiony przez doktorantkę w badania opisane w rozprawie do rozwoju fizyki, a w szczególności wiodącą rolę w najdokładniejszym dotychczas pomiarze przekroju czynnego $t\bar{t}$ w zderzeniach $p+Pb$ oraz w pierwszej obserwacji procesu $t\bar{t}$ w zderzeniach $Pb+Pb$, zaliczam rozprawę do kategorii wybitnie dobrych i zasługujących na wyróżnienie. Tym samym wnioskuję o uznanie rozprawy doktorskiej Pani Patrycji Potępy za wyróżniającą się.

Dr hab. Andrzej Siódмок, prof. UJ

ul. prof. Stanisława
Łojasiewicza 11
PL 30-348 Kraków
tel. +48(12) 664-48-90
fax +48(12) 664-49-05
e-mail:
wydzial.fais@uj.edu.pl