

Dr hab. inż. Hanna Paulina Zbroszczyk
Politechnika Warszawska

Warszawa, 12 sierpnia 2019 r.

Wydział Fizyki
ul. Koszykowa 75
00-662 Warszawa

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr Piotra Janusa
pod tytułem:
„Measurement of W boson production in Pb+Pb collisions
at 5.02 TeV with the ATLAS detector”

Rozprawa doktorska mgr Piotra Janusa została wykonana pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Mariusza Przybycienia na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Praca dotyczy eksperymentalnej analizy pomiaru produkcji bozonów W^\pm w zderzeniach Pb+Pb przy energii $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV w eksperymencie ATLAS przy Wielkim Zderzaczu Hadronów LHC w Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych w CERN. Analiza dotyczy pomiaru procesu $W^\pm \rightarrow l^\pm \nu$ w elektronowym i mionowym kanale rozpadu. Uważam, że badania przedstawione w prezentowanej pracy wnoszą istotny wkład w zrozumienie procesów produkcji bozonów W^\pm w zderzeniach ciężkich jonów.

Praca doktorska mgr Piotra Janusa jest napisana w języku angielskim, została poddana bardzo starannej edycji zarówno pod względem językowym, jak i graficznym. Praca składa się łącznie aż z 14 rozdziałów, 4 dodatków, a we wstępnej części pracy autor opisał swój znaczny i ambitny wkład w prace na rzecz eksperymentu ATLAS. Praca liczy łącznie 143 strony, z czego część czysto opisowa stanowi 123 strony.

Rozdział 1 jest rozdziałem wprowadzającym i zawiera opis Modelu Standardowego, w tym: elektrodynamiki kwantowej, chromodynamiki kwantowej i oddziaływań elektrostałych, struktury protonu, przekroju czynnego oddziałujących hadronów i produkcji bozonów W^\pm , omawia pokrótce funkcje rozkładu partonów, przejścia fazowe, wprowadza w terminologię

zderzeń jądrowych. Rozdział ten stanowi ogólne, ale poprawne wprowadzenie do tematyki pomiaru bozonów W^\pm . W rozdziale 2 znajduje się obszerny opis eksperymentu ATLAS, z uwzględnieniem LHC, detektora ATLAS (w tym stosowane układy odniesienia, zmienne kinematyczne), szczegółowo omawia budowę poszczególnych mniejszych systemów detektorowych: Inner Detector, stosowane kalorymetry, spektrometr mionowy, system wyzwalaczy i akwizycji danych. Uważam, iż ten rozbudowany rozdział dotyczący całego detektora ATLAS jest niezwykle istotny z punktu widzenia całościowego zrozumienia eksperymentalnego zagadnienia pomiaru bozonów W^\pm opisanego w dalszych rozdziałach pracy. Rozdział 3 omawia zestawy analizowanych danych, zarówno eksperymentalnych jak i pochodzących z symulacji Monte Carlo. Autor szczegółowo doprecyzował z jakich zestawów korzystał w trakcie swojej pracy, w jakich krotnościach oraz z jak zdefiniowanych klas centralności. Rozdział 4 to opis rekonstrukcji obiektów fizycznych, rozpoczyna się od opisu rekonstrukcji śladu cząstki w detektorze, gdzie mgr Piotr Janus wyszczególnia detale rekonstrukcji i identyfikacji leptonów: oddzielnie elektronów i mionów. Rozdział 5 omawia bardzo istotne w punktu widzenia prezentowanej analizy zagadnienie izolacji leptonów. Specyfika badanego problemu wymaga potraktowania indywidualnie zagadnienia izolacji mionów oraz elektronów. Rozdział 6 jest dedykowany szeregowi aspektów związanych z analizą leptonów (tutaj także problem został indywidualnie postawiony dla przypadku elektronów, jak i mionów): szeregu wydajności, rekonstrukcji, identyfikacji oraz izolacji - zarówno w danych eksperymentalnych, jak i tych pochodzących z symulacji. Kolejny rozdział opisuje zagadnienia pędu neutrin, niemierzonych przez detektor ATLAS. Estymacja tej wielkości jest możliwa dzięki zasadom zachowania pędu. Rozdział 8 przedstawia detale selekcji przypadków, oddzielne kryteria zostały zdefiniowane dla kanału rozpadu zawierającego miony, a oddzielne dla kanału leptonowego. Rozdział 9 jest poświęcony zagadnieniu pomiaru tła w kanale mionowym, tło pochodzi głównie z produkcji multi-dżetów oraz słabo oddziałujących bozonów (produkcja bozonu Z lub taonowy kanał rozpadu bozonów W). Autor wykonał bardzo szczegółowe obliczenia wszystkich rozważanych kanałów rozpadów we wszystkich 13 przedziałach centralności. Rozdział 10 indywidualnie traktuje zagadnienie pomiaru tła w kanale elektronowym, tu podobnie jak w przypadku kanału mionowego mierzone tło stanowi kontrybucję z produkowanych multi-dżetów oraz bozonów Z i W . Rozdział 11 to opis procedury pomiarowej. Autor wyszczególnia korekcje stosowane indywidualnie dla wszystkich przedziałów mierzonych wielkości (korekcje dotyczą omawianych wcześniej efektów związanych z wydajnością rekonstrukcji mierzonych leptonów,

ich identyfikacją, zagadnieniem izolacji, rozdzielczości, itp), wprowadza metodologię mierzonych wielkości. Mgr Piotr Janus włożył bardzo dużo wysiłku w opis całej procedury pomiarowej. Świadczy to o rzetelności wykonanej pracy, gdzie został uwzględniony każdy z możliwych aspektów. Tak dokładnie wykonana analiza podkreśla wiarygodność uzyskanych wyników. Rozdział 12 jest poświęcony omówieniu systematycznych niepewności pomiarów ze szczegółowym uwzględnieniem wszystkich przyczynków. Całkowita niepewność systematyczna została indywidualnie wyznaczona w funkcji pseudospieszości, jak i średniej liczby uczestników reakcji. Skrupulatność tego opisu wywarła na mnie bardzo duże wrażenie. Lektura rozdziałów 3-12 tego świadczy o biegłym posługiwaniu się oprogramowaniem, o wysokiej solidności przeprowadzonej analizy, wykonaniu wielu czasochłonnych testów. Ponieważ większość kryteriów selekcji obiektów fizycznych jest charakterystycznymi dla danego eksperymentu, ocenę poprawności analizy opisaną przez osobę nieuczestniczącą w danym eksperymencie należy oprzeć o opis zaprezentowany przez mgr Piotra Janusa. Nie mniej autor uwzględnił typowe kryteria istniejące przy analizie eksperymentalnej, włączając szeroką dyskusję cięć, szereg poprawek. Rozdziały 13 i 14 to najważniejsze elementy pracy, zawierają bowiem wyniki końcowe oraz ich dyskusję. Przestrzeń fazowa pomiarów została ograniczona przez składową poprzeczną pędu leptonu jako $p_T^l > 25$ GeV oraz jego pseudospieszość $|\eta_l| < 2.5$, pęd poprzeczny neutrino $p_T^\nu > 25$ GeV oraz masę poprzeczną układu lepton-neutrino $m_T > 40$ GeV. Jak zostało wspomniane wcześniej, wszystkie pomiary były wykonywane oddzielnie dla kanału elektronowego, jak i mionowego, zostały też przedstawione jako wyniki połączone. Autor przedstawił rozkłady wszystkich kandydatów bozonów W^\pm w funkcji pseudospieszości leptonu, pędu poprzecznego leptonu, masy poprzecznej oraz poprzecznej składowej pędu p_T^{miss} . Wyniki właściwe dotyczą bozonów W^\pm bez kontrybucji tła. Autor przedstawia znormalizowane rozkłady, skorygowane ze względu na zmierzone tło, efekty detektorowe w funkcji bezwzględnej pseudospieszości elektronu lub mionu, jak również w funkcji średniej liczny nukleonów biorących udział w zderzeniu (partycypantów). W rozdziale tym autor także poświęca miejsce na porównanie zmierzonych obserwabli z przewidywaniami modeli teoretycznych. Uzyskany wynik pomiaru jest zgodny z przewidywaniami teoretycznymi, które uwzględniają efekt izospinowy z wykorzystaniem parametryzacji CT14NLO funkcji PDF, podczas kiedy wyniki uzyskane przy pomocy innych parametryzacji (EPPS16 i nCTEQ15 funkcji PDF) zaniżają uzyskane rozkłady o ok. 10-20%. Z uzyskanych wyników udało się także zmierzyć asymetrię ładunkową będącą wynikiem efektu izospinowego. W pracy są

przedstawione przewidywane, zgodne ze skalowaniem wartości funkcji przekrywania $\langle T_{AA} \rangle$ (wyznaczonej z modelu Glaubera) wyniki produkcji bozonów W^+ oraz W^- dla zderzeń centralnych, podczas gdy w zakresie $N_{part} < 200$ został zaobserwowany systematyczny wzrost produkcji bozonów W^\pm w porównaniu do przewidywań teoretycznych. Największą różnicę (nadmiar w liczebności 1.7 odchylenia standardowego) został zaobserwowany dla najbardziej peryferyjnych zderzeń. Porównanie znormalizowanej produkcji dla parametrów geometrycznych wyznaczonych dla dwóch wersji modelu Glaubera pokazuje, że wyniki modelu w wersji v3.2 są bardziej zgodne z pomiarami., z tymże różnice pomiędzy dwoma parametryzacjami są mniejsze niż precyzja pomiaru. Zbadany został także wpływ efektu skórki neutronowej, został on oszacowany z wykorzystaniem osobnych rozkładów radialnych protonów i neutronów dostarczonych przed model Glaubera w wersji v3.2. Oszacowany efekt jest na poziomie -1.4% (1%) dla bozonów $W^+(W^-)$ w stosunku do przewidywań, które zakładają jednorodny stosunek protonów do neutronów. Precyzja tego pomiaru jest jednak niewystarczająca do potwierdzenia wpływu efektu od skórki neutronowej.

Praca jest napisana niezwykle starannie. Każdy etap analizy został skrupulatnie opisany, co świadczy o bardzo wysokiej jakości uzyskanych wyników, a co za tym związane - potwierdza jej wiarygodność. W moim odczuciu praca stanowi dowód na dojrzałość mgr Piotra Janusa.

W pracy znajdują się drobne uchybienia. Poniżej przytaczam tylko niektóre z nich, wszystkie są bowiem marginalne i nie umniejszają wartości merytorycznej pracy

- Autor konsekwentnie w pracy stosuje wielkość $c=1$, nie wspomina jednak o tym w pracy.

- W opisie Modelu Standardowego zabrakło mi stwierdzenia, iż pozostawił on pewne niewiadome.

- W Tabeli 1 zostały przedstawione charakterystyki leptonów i kwarków, brak jest referencji skąd autor czerpie dane, jak również brak jest niepewności prezentowanych wielkości. Ponadto mgr Piotr Janus niefortunnie opisuje masy leptonów i kwarków w jednostkach GeV, które zbyt zaokrąglają prezentowane wielkości. Brak jest także konsekwencji w zapisie wartości liczbowych co do liczby cyfr znaczących. W kolejnych tabelach (na przykład w Tabeli 5) brak spójności w zapisie precyzji wartości liczbowych, niektóre wielkości autor zaokrąglił z dokładnością do jednego miejsca dziesiętnego, niektóre do dwóch, inne do trzech.

- Rysunek 5 przedstawia diagram fazowy QCD, mimo, że jest schematyczny, to jednak zabrakło wskazania w jakim obszarze diagramu fazowego należałoby się spodziewać pomiarów eksperymentu ATLAS.

- W pracy są pojedyncze literówki, np. w ostatnim paragrafie rozdziału 2.1 powinno być „keep” zamiast „keeps”.

- Ogólnie nie mam zastrzeżeń do jakości rysunków, widać, że autor włożył wiele wysiłku w ich przygotowanie. W moim odczuciu Rysunek 9 zawiera zbyt małą czcionkę opisującą komponenty LHC, warto byłoby umieścić powiększony rysunek, nawet za cenę odwrócenia orientacji jednej strony z pionowej na poziomą.

Podsumowując, uważam że rozprawa doktorska mgr Piotra Janusa zawiera oryginalne i ciekawe wyniki poszerzające naszą wiedzę o produkcji bozonów W^\pm . Jako, że rozprawa spełnia wszelkie formalne wymogi stawiane pracom doktorskim wnoszę o dopuszczenie do jej publicznej obrony.

Henryk Brodsky

