

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr Krzysztofa Janasa p.t.
**„Measurement of diffractive jets production in proton-proton collisions with ALFA detectors
in the ATLAS experiment”**

Recenzowana rozprawa dotyczy analizy produkcji dżetów w wybranych klasach procesów dyfrakcyjnych w zderzeniach proton-proton przy energii $\sqrt{s_{NN}} = 13$ TeV, rejestrowanych w eksperymencie ATLAS, a w szczególności z użyciem dedykowanego detektora ALFA. Jest on umieszczony symetrycznie po obu stronach punktu przecięcia wiązek LHC, w kierunku „do przodu”. Pomiar przeprowadzono dla pojedynczej oraz centralnej dyfrakcji, po raz pierwszy w eksperymencie ATLAS z użyciem detektora ALFA. Zmierzono całkowite przekroje czynne na produkcję dżetów dla pojedynczej oraz centralnej dyfrakcji. Dodatkowo wykonano też wybrane pomiary różniczkowych przekrojów czynnych w obu przypadkach. Wyniki porównano z przewidywaniami modeli PYTHIA 8, EPOS oraz Herwig. Przedstawione badania są unikatowe – wykonane po raz pierwszy z wykorzystaniem kombinacji detektorów ALFA oraz rekonstrukcji dżetów w obszarze centralnym ATLAS. Analiza została wykonana w całości, to znaczy nie tylko dokonano pomiaru, ale uwzględniono również wszystkie możliwe korekty oraz wyznaczono niepewności statystyczne i systematyczne. W tym sensie rozprawa jest istotnym wkładem do realizacji programu naukowego eksperymentu ATLAS.

Rozprawa napisana jest w języku angielskim i podzielona jest na 9 rozdziałów wraz z podsumowaniem oraz 1 załącznik („Appendix”). Pierwsze trzy rozdziały to część wprowadzająca i opisowa, w pozostałych sześciu zawarto opis analizy danych będącej istotą rozprawy i dyskusję wyników tej analizy.

Rozdział 1 rozpoczyna się od przedstawienia podstaw Modelu Standardowego, w tym kluczowych własności cząstek elementarnych, charakterystyki oddziaływania silnego, a także wynikających z nich procesów istotnych w pracy, to jest zjawiska hadronizacji oraz produkcji skolimowanych pęków cząstek, czyli tzw. dżetów (od ang. „jet”). Następnie omówione jest zagadnienie procesów dyfrakcyjnych. Precyzyjnie przedstawione są wszystkie zwyczajowo używane w tej dziedzinie wielkości i formalizm. Podane są przewidywania teorii Regge. Opisane są używane w pracy modele teoretyczne. Na zakończenie wymieniono uzyskane dotychczas przy energiach zderzeń LHC wyniki eksperymentalne dotyczące procesów dyfrakcyjnych. Rozdział pokazuje, że Autor dogłębnie przestudiował fizyczne podstawy prowadzonej analizy oraz dotychczasowy stan wiedzy. Ich przedstawienie jest kompletne i merytorycznie poprawne, oraz wystarcza do zrozumienia dalszych części rozprawy. Na pochwałę zasługuje staranność w przedstawieniu formalizmu zagadnienia.

Rozdział 2 opisuje narzędzie badawcze wykorzystywane w rozprawie, to znaczy kompleks

Wielkiego Zderzacza Hadronów (Large Hadron Collider – LHC) znajdujący się w laboratorium CERN oraz działający przy nim eksperyment ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS). ATLAS to ogromna międzynarodowa współpraca badawcza, w której skład wchodzi grupa z Akademii Górniczo-Hutniczej, w tym Autor rozprawy. Rozdział rozpoczyna się od podania podstawowych wielkości związanych z fizyką akceleratorową, które pozwalają na zdefiniowanie pojęcia świetlności, które jest kluczowe w wyznaczaniu wartości przekrojów czynnych. Wymienione i opisane są też najważniejsze elementy kompleksu zderzacza LHC. Następnie rozdział opisuje szczegółowo najważniejsze koncepcje i elementy układu detekcyjnego, to znaczy rozkład przestrzenny elementów detekcyjnych, detektor wewnętrzny (tzw. „Inner Detector”), układ kalorymetrów, spektrometr mionowy oraz system wyzwalania. Szczególnie istotny jest zestaw detektorów w kierunku „do przodu”, gdyż badania produkcji cząstek w tym regionie kinematycznym stanowią główny unikatowy wkład tej rozprawy do aktualnego stanu wiedzy. Opisano też podstawy algorytmu analizy danych, to znaczy problem rekonstrukcji torów i wierzchołków oraz identyfikację klastrów powiązanych z dżetami. Na zakończenie zidentyfikowano precyzyjnie wykorzystany w rozprawie zestaw danych oraz wybrane próbki symulacji Monte-Carlo, które zostały odpowiednio przetworzone przez oprogramowanie do symulacji odpowiedzi detektora. Autor rozprawy w sposób zwięzły przedstawia najważniejsze informacje o układzie detekcyjnym, w tym o jego właściwościach istotnych z punktu widzenia analizy przeprowadzonej w rozprawie, takich jak charakterystyka detektorów umieszczonych w kierunku „do przodu” oraz najważniejszych elementów układu odpowiedzialnych za rekonstrukcję dżetów. Zawartość rozdziału pokazuje, że Autor jest świadomy zalet i ograniczeń narzędzia badawczego jakim się posługuje, t.j. detektora ATLAS. Informacje przedstawione w rozdziale znacząco ułatwiają zrozumienie dalszych części rozprawy.

Rozdział 3 to szczegółowy opis podsystemu eksperymentu ATLAS dedykowanego do pomiarów cząstek rozproszonych pod małymi kątami – zestawu detektorów ALFA. Jest on oparty o detektory typu Roman Pots, zbudowane w technice włókien scyntylacyjnych. Opisane są wszystkie ważne aspekty tego detektora, poczynając od konwencji nazewnictwa, przez procedurę rekonstrukcji torów i jej wydajność, wyznaczanie współczynników opisujących transport i kinematykę rozproszonych protonów, aż po rozważania na temat akceptancji geometrycznej i zakresu zmiennej poprzecznej do wiązki użytecznego do pomiarów. Opis jest szczegółowy i zawiera kluczowe merytorycznie informacje na temat detektora ALFA, który jest najważniejszym narzędziem, na którym opiera się cała analiza przeprowadzona w pracy. Autor udowadnia, że w szczegółach rozumie fizykę i techniczne aspekty działania tego detektora, co jest niezbędne przy poprawnej analizie danych oraz oszacowaniu niepewności opisanych w dalszej części pracy.

Detektory ALFA mają za zadanie zmierzyć kąt rozpraszania protonów rzędu miliradianów. Wymaga to niezwykle precyzyjnego pozycjonowania elementów czułych detektora. Rozdział 4 poświęcony jest szczegółowemu omówieniu procedury precyzyjnego wyznaczania rzeczywistego położenia każdego z elementów detekcyjnych, czyli tzw. „alignment”. Używane są tutaj dedykowane do tego zadania elementy układu – ALFA Overlapping Detectors („ALFA ODS”) oraz procedura oparta o zrekonstruowane trajektorie. Możliwe jest wyznaczenie pozycji poziomej i pionowej oraz obrotu każdego z elementów detekcyjnych. Uzyskano zadowalającą dokładność wyznaczenia położenia detektora oraz oszacowano, jaki jest wpływ niepewności wyznaczenia tego położenia na niepewność pomiarów pochodnych. Procedurę opracowano także w oparciu o

symulacje Monte-Carlo odpowiedzi detektora. Opis analizy ukazuje znaczny nakład pracy, który musiał zostać włożony w przeprowadzenie tej skomplikowanej procedury eksperymentalnej. Nie ulega też wątpliwości, że Autor bardzo dogłębnie zapoznał się ze specyfiką używanego przez niego detektora. W sposób bezpośredni i na bardzo zaawansowanym poziomie włączył się także w rzeczywistą obsługę działającego zestawu pomiarowego.

W rozdziale 5 rozpoczyna się opis korekcji zastosowanych do danych eksperymentalnych. Jako pierwsze omówione zostały poprawki do obserwabli dotyczących dżetów zrekonstruowanych w centralnych detektorach ATLAS. Są to poprawki na wydajność wyzwalania zbierania danych, efekty usuwania niepożądanych sygnałów z próbki dżetów oraz efektywność rekonstrukcji dżetów. Następnie omówiona jest kalibracja pomiaru wartości energii dżetów, oparta w dużej mierze na symulacjach Monte-Carlo. Opracowano procedurę wyznaczania rozdzielczości pomiaru energii oraz wyznaczania absolutnej skali energii. Wyniki analizy zostały przedstawione w formie wielu wykresów zarówno współczynników użytych do poprawek jak i wartości niepewności poszczególnych obserwabli. Ten rozdział pokazuje kolejny znaczący element analizy, który, chociaż jest w swojej naturze bardzo techniczny, to jest także konieczny do uzyskania ostatecznego poprawnego wyniku fizycznego.

W rozdziale 6 zajęto się oszacowaniem i próbą usunięcia z próbki zderzeń będących tłem dla procesów interesujących. W tym celu użyto wybranych korelacji pomiędzy pomiarami w detektorach centralnych oraz w detektorze ALFA. Procedury usuwają znaczną część tła będącego przypadkową koincydencją kilku zdarzeń, lub wynikającą z błędnej klasyfikacji typu zdarzenia. W rozdziale bardzo uważnie przeanalizowano wszystkie możliwe topologie i źródła przypadków będących tłem. Porównano też dane z symulacjami Monte-Carlo w trzech generatorach: Pythia, EPOS i Herwig. Wynika z nich, że tło jest znaczącym, ale nie dominującym źródłem zmierzonych zdarzeń, co pozwala liczyć na przeprowadzenie miarodajnego pomiaru. Jednocześnie jednak żaden z modeli nie opisuje danych w zadowalający sposób, co może wynikać zarówno z niedoskonałości opisu procesów tła, jak i procesów poświadanych.

Rozdział 7 zawiera już opis pierwszego etapu analizy danych, to znaczy wyznaczenie kryteriów wyboru odpowiednich zderzeń, określenie optymalnych zakresów przedziałów pomiarowych w zmiennych kinematycznych oraz zastosowanie procedury rozwikłania rozkładów (ang. „unfolding”). Szczególnie istotna i skomplikowana jest procedura rozwikłania rozkładów mająca na celu odtworzenie rozkładów rzeczywistych na podstawie rozkładów zmierzonych, gdy pomiar obarczony jest niepewnością wynikającą z ograniczonej rozdzielczości oraz akceptancji. Jest to iteracyjna procedura statystyczna, która została precyzyjnie skalibrowana przy pomocy symulacji Monte-Carlo, w których skład wchodziło zarówno modelowanie samego procesu fizycznego, jak i modelowanie odpowiedzi detektora, wraz z wszystkimi jego fizycznymi ograniczeniami. Wyznaczono parametry procedury rozwikłania, takie jak liczba iteracji, które są wystarczające do uzyskania zadowalających wyników. Ten rozdział jest kolejnym dowodem na to, że Autor rozprawy posiadał dogłębną specjalistyczną wiedzę z wielu dziedzin, w tym z zaawansowanej analizy statystycznej, która była potrzebna do uzyskania ostatecznego wyniku.

Rozdział 8 poświęcony jest kluczowemu etapowi analizy danych, to znaczy wyznaczeniu niepewności systematycznych. Poprawne przeprowadzenie tego procesu determinuje, czy opisana analiza może być wykorzystana do testowania hipotezy badawczej. Szczegółowo opisano sposób oszacowania i podano wartości niepewności systematycznych dla procedury wyzwalania dżetów,

kalibracji i wydajności rekonstrukcji dżetów, niepewności związanych z samym detektorem ALFA oraz z procedurą rozwikłania. Rozdział zakończony jest analizą istotności poszczególnych źródeł niepewności oraz podaniem ich ostatecznego rozmiaru. Okazuje się, że są one w większości przypadków rzędu 20%, co jest wartością pozwalającą na dalszą analizę wyników. Rozdział podsumowuje wyniki ogromnej ilości pracy włożonej przez Autora w doprowadzenie jego analizy do etapu, w którym uzyskane wyniki mogą być z odpowiednią dozą ufności porównywane z przewidywaniami.

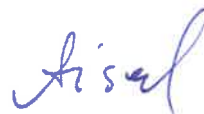
Rozdział 9 to ostateczne zwięźczenie analizy będącej istotą rozprawy, to znaczy przedstawienie wyników pomiarów przekrojów czynnych wraz z odpowiednimi niepewnościami. Najpierw omówione są różniczkowe przekroje czynne w funkcji relatywnej straty energii protonu oraz transferu czteropędu, a także całkowity przekrój czynny na produkcję dżetów w procesach pojedynczej dyfrakcji. Otrzymane wartości porównane są z modelami i z dostępnymi danymi eksperymentalnymi. Poprzez procedurę przeskalowania danych modelowych uzyskano także relatywny wkład procesów pojedynczej dyfrakcji w danych. Uzyskano także wyniki dotyczące produkcji di-dżetów w procesach centralnej dyfrakcji. Podjęto także próbę oszacowania produkcji ekskluzywnych di-dżetów. Rozprawę uzupełnia kompletna biografia, składająca się ze 110 pozycji oraz dodatek podający wyniki pozycjonowania detektora ALFA.

Rozprawa doktorska opisuje bardzo skomplikowaną i zaawansowaną analizę, zarówno pod względem technicznego opanowania specjalistycznego detektora ALFA, jak i merytorycznie poprawnej skomplikowanej analizy danych dotyczących produkcji dżetów w procesach dyfrakcyjnych. Przeprowadzona analiza jest kompletna, to znaczy zawiera pełny opis metodologii badań, zarówno eksperymentalnej jak i dotyczącej obróbki danych oraz interpretacji teoretycznej. Wyniki są przedstawione wraz z dokładnie zbadaną niepewnością statystyczną i systematyczną. Większość uzyskanych wyników jest unikatowa na skalę światową, to znaczy nie była uzyskana nigdy wcześniej i byłaby trudna do uzyskania w jakimkolwiek innym eksperymencie.

Praca jest przygotowana starannie od strony edytorskiej. Rysunki są duże i czytelne oraz jasno opisane. W tekście rozprawy znajdują się pewne drobne niedociągnięcia, które pokrótce wymienię. Na stronie 28 w opisie detektora TRT nie wspomniano o podstawowym zjawisku, które jest w nim wykorzystywane to znaczy tzw. „promieniowaniu przejścia” – od którego bierze się sama nazwa detektora (Transition Radiation Detector). To właśnie to promieniowanie pozwala na identyfikację elektronów – która jest wspomniana w pracy, ale bez wyjaśnienia skąd ta zdolność detektora się bierze. Na stronie 31 nieprecyzyjnie napisano, że włókna WLS „wykrywają” światło (detect). Tymczasem one jedynie to światło transportują, a za detekcję odpowiadają dopiero fotopowielacze. Na stronie 33 pojawiło się stwierdzenie, że klastry mogą zostać utworzone z komórek o „ujemnej energii”. Pojęcie „ujemnej energii” jest zapewne żargonem odnoszącym się tylko do tej konkretnej procedury, ale jest ono niezrozumiałe bez szerszego wyjaśnienia. Rysunek 3.9 jest nieczytelny, nawet w kolorowym wydruku, ze względu na to, że użyto w nim tych samych symboli, z bardzo podobnymi kolorami do oznaczenia różnych wielkości. Na początku podrozdziału 5.4.1 wyraźnie wystąpiły problemy edytorskie w opisie wejść do algorytmu rekonstrukcji dżetów, przez co jest on niezrozumiały. W opisie wyników z rys. 7.17, 7.18 pojawia się informacja, że optymalną liczbą iteracji w procesie rozwikłania jest jeden. W opisie rysunków 7.19 do 7.21 podano, że ta liczba jest „zgodna z poprzednią analizą”, natomiast w legendzie w.w. wykresów podana jest liczba trzy, co wydaje się być niezgodne z poprzednim stwierdzeniem. W

rozdziale 1 często błędnie pisane jest angielskie słowo „weak” (tu dotyczące oddziaływań słabych) jako „week” (z ang. „tydzień”). W pracy zawarte jest bardzo wiele wyników istotnych fizycznie, których opracowanie merytoryczne, jak i graficzne nie budzi zastrzeżeń i ma jakość nadającą się do publikacji. Jednak wszystkie one są opatrzone dopiskiem „ATLAS internal”, co pozwala przypuszczać, że nie zostały opublikowane. Otwartym pozostaje więc pytanie, jakie są perspektywy na zawarcie wyników rozprawy w oficjalnej publikacji eksperymentu ATLAS. Wymienione powyżej uwagi nie zmieniają jednak jednoznacznie pozytywnej oceny przedstawionej rozprawy.

Rozprawa przedstawia unikatowe, nietrywialne wyniki produkcji dżetów w zjawiskach dyfrakcyjnych, do których uzyskania konieczne było połączenie znacząco różnych technicznie analiz danych z detektora ALFA oraz z detektorów centralnych ATLAS. Uzyskano nietrywialne i unikatowe na skalę światową wyniki. Podkreślić należy bardzo duży nakład pracy potrzebny do uzyskania tych wyników. Istotne jest również, że cała działalność Autora odbywała się w ramach dużej, prestiżowej międzynarodowej kolaboracji eksperymentalnej działającej w wiodącym światowym laboratorium naukowym CERN. Podsumowując uważam, że recenzowana rozprawa mgr Krzysztofa Janasa spełnia niezbędne wymagania stawiane przed rozprawami doktorskimi i wnoszę o dopuszczenie Autora do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



prof. dr hab. inż. Adam Kisiel