

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Marcina Guzika

Measurements of diffractive dijets photoproduction with ZEUS detector at HERA

Praca doktorska Pana mgr. inż. Marcina Guzika składa się z 8 rozdziałów, 3 uzupełnień i liczy 99 stron. Rozprawa oparta jest na przeprowadzonej przez autora analizie danych z eksperymentu ZEUS z lat 2003 - 2007 (tzw. HERA II) ze zderzeń elektron (pozyton) - proton przy energii w układzie środka masy $\sqrt{s} = 318$ GeV i całkowitej świetlności około 372 pb^{-1} . Jest to pierwsza analiza danych z tego okresu dla dyfrakcyjnej fotoprodukcji dżetów. Wyniki jej nie zostały dotychczas opublikowane, ponieważ zgodnie z procedurami kolaboracji wymagana jest wcześniej druga, niezależna analiza. Pan mgr inż. Marcin Guzik był również współautorem innej analizy, która nie stanowi części rozprawy, dotyczącej ekskluzywnej produkcji par dżetów w oddziaływaniach głęboko nieelastycznych. Wyniki tej ostatniej analizy zostały wysłane do publikacji i w chwili obecnej są dostępne w bazie preprintów (ZEUS Collaboration (H. Abramowicz et al.) arXiv: 1505.05783 [hep-ex]). W tym miejscu można dodać, że zgodnie z danymi z bazy inSpire, Pan mgr inż. Marcin Guzik jest, w ramach kolaboracji ZEUS, współautorem 22 prac opublikowanych w recenzowanych czasopismach, takich jak JHEP, Phys. Rev. D, Phys. Lett. B, Nucl. Phys. B.

Głównym tematem pracy jest przeprowadzenie analizy danych z eksperymentu HERA II (detektor ZEUS) ze względu na dyfrakcyjną inkluzywną fotoprodukcję par dżetów.

Rozdział pierwszy zawiera wprowadzenie teoretyczne do rozważanego problemu. W szczególności autor opisuje podstawowe pojęcia dyfrakcji (miękkiej oraz twardej), fotoprodukcji - rozróżniając oddziaływanie bezpośrednie fotonu (ang. *direct photon*) oraz fotonu złożonego (ang. *resolved photon*). Wprowadza potrzebne zmienne kinematyczne oraz podstawowe wzory służące do opisu przekroju czynnego, odwołując się przy tym do pojęcia faktoryzacji QCD.

W rozdziale drugim autor przedstawia budowę detektora ZEUS i jego najważniejszych elementów, w tym centralnego detektora śladów (ang. Central Tracking Detector), detektora wierzchołka (ang. Micro Vertex Detector) oraz kalorymetru. Osobne podrozdziały poświęca opisowi pomiaru świetlności oraz triggerowi.

Krótki rozdział trzeci zawiera spis używanych do analizy generatorów Monte Carlo. Autor rozróżnia w nim poziom generacji przypadków wynikających z modeli fizycznych, a następnie programy Monte Carlo poziomu detektora, których zadaniem jest uwzględnienie szczegółowej budowy eksperymentu. W pracy poziom detektora został opisany pakietami MOZART oraz ZGANA (trigger). Generacja dyfrakcyjnych przypadków została oparta o generator RAPGAP z podziałem na cztery podprocesy: produkcję kwarków lekkich i ciężkich w fuzji bozon-gluon, oddziaływanie przez foton złożony oraz rozpraszanie Comptona w QCD. Proces hadronizacji opisano programem JETSET opartym na modelu Lund. Tło pochodzące od rozpraszania głęboko nieelastycznego opisano generatorem SATRAP, przypadki niedyfrakcyjne zasymulowano generatorem PYTHIA, zaś przypadki z dysocjacją protonu pochodzą z kombinacji generatorów RAPGAP i EP-

SOFT.

Rozdział czwarty został poświęcony rekonstrukcji przypadków, w tym określeniu trajektorii cząstek naładowanych, wierzchołków, oraz energii zdeponowanych w kalorymetrze (w analizie posłużono się rekonstrukcją EFO (ang. *Energy Flow Objects*)), które następnie można użyć do rekonstrukcji dżetów. W tym celu autor posłużył się inkluzywnym algorytmem k_T zaimplementowanym do pakietu FastJet otrzymując listę dżetów o zadanej energii poprzecznej, pseudospieszości oraz kącie azymutalnym. Analizę uzupełnia identyfikacja rozproszonego leptonu oraz opis rekonstrukcji zmiennych kinematycznych odpowiednich dla opisu dyfrakcyjnej fotoprodukcji.

W rozdziale piątym autor podaje kryteria służące selekcji interesujących danych oraz wytłumieniu procesów stanowiących tło. Rozróżnia przy tym selekcje na poziomie triggera, oraz selekcję przez szereg cięć kinematycznych - jakościowych oraz ukierunkowanych na: fotoprodukcję, przypadki 2-dżetowe oraz dyfrakcję. Dodatkowo wprowadza cięcia ograniczające liczbę przypadków pochodzących od promieniowania kosmicznego. Rozdział kończy krótka dyskusja oszacowania tła pozostałego po nałożeniu kryteriów selekcyjnych.

Rozdział szósty zawiera opis normalizacji i rewagowania Monte Carlo do opisu danych. Ustalono w nim względne wagi wkładów od oddziaływań przez foton bezpośredni i złożony, a następnie dokonano rewagowania uzgadniającego kształt danych w wybranych zmiennych kinematycznych z wynikami symulacji. Osobny podrozdział poświęcono oszacowaniu wkładu od zdarzeń z dysocjacją protonu. W wyniku przeprowadzonej procedury otrzymano zgodność pomiędzy symulacjami Monte Carlo a danymi.

Rozdział siódmy poświęcono rekonstrukcji przekrojów czynnych w różnych zmiennych kinematycznych na poziomie hadronowym. Podrozdziały wstępne zawierają informację na temat jakości rekonstrukcji zmiennych kinematycznych, w szczególności tak zwanej rozdzielczości zmiennych. Następnie opisano dwa sposoby dokonania procesu rekonstrukcji poziomu hadronowego: metodę akceptacji oraz tak zwaną Singular Value Decomposition (proces unfoldingu). Ostateczne wyniki uzyskane obydwoma metodami są ze sobą zgodne. W następnym podrozdziale przedstawiono oszacowanie systematycznych niepewności pomiarowych, które podsumowano w serii 19 wykresów. Ostatnie podrozdziały zawierają końcowy efekt analizy danych, czyli różniczkowe przekroje czynne w różnych zmiennych kinematycznych (w tym wykresy i tabele podwójnie różniczkowych przekrojów czynnych w Uzupełnieniu B) oraz porównanie wyników z danymi eksperymentu H1.

Pracę kończy pół stronicowy rozdział ósmy zawierający dwa wnioski: o zgodności pomiędzy obecną analizą a wynikami eksperymentu H1 oraz o nieco większym względnym wkładzie pochodzącym od oddziaływań przez foton złożony w stosunku do oddziaływania bezpośredniego, w porównaniu do poprzednich wyników z eksperymentu ZEUS. Niestety przeprowadzona analiza nie rzuca nowego światła na rozbieżność

w globalnym czynniku tłumienia występującą pomiędzy dotychczasowymi analizami danych z eksperymentów H1 i ZEUS. Przyczyną tego jest duża niepewność pomiarową wynikającą z tła pochodzącego od procesów z dysocjacją protonu.

Powyższe podsumowanie wskazuje jednoznacznie, że główny cel pracy jakim było wykonanie analizy danych z eksperymentu ZEUS, z okresu Hera II, został osiągnięty. Pan mgr inż. Marcin Guzik wykazał się umiejętnością przeprowadzenia pełnej procedury, począwszy od pierwszego etapu selekcji przypadków, przez normalizację i rewagowanie Monte Carlo, rekonstrukcję poziomu hadronowego i ostatecznie prezentację danych w postaci wykresów i tabel zawierających różniczkowe przekroje czynne. Wyniki tej pracy stanowią dobry punkt odniesienia przed wykonaniem drugiej, niezależnej analizy danych. Dodatkowo, co warto podkreślić, zagadnienie dyfrakcyjnej fotoprodukcji par dżetów jest interesujące z punktu widzenia badania granicy pomiędzy twardymi i miękkimi procesami w Chromodynamice Kwantowej. W szczególności, chodzi o nie wyjaśniony do końca problem faktoryzacji QCD dla wkładu od oddziaływania bezpośredniego fotonu.

Pomimo dobrej ogólnej oceny, nasuwa się kilka uwag krytycznych w odniesieniu do samej rozprawy. Pierwsza część pracy, mająca na celu wprowadzenie teoretyczne do rozważanego przedmiotu jest niestety bardzo pobieżna. Co więcej, część stwierdzeń jest nieściśła i może zostać źle zrozumiana przez osoby nie zajmujące się tą tematyką. Przykładowo, pod koniec drugiego akapitu na stronie 3 autor stwierdza, że "...perturbative expansion $F_2(x, Q^2)$ can be expanded up to terms of the form $\alpha_s^n \log^m Q^2 \dots$, with $m < n$ ". Po pierwsze wartości m i n mogą być równe (wiodące logarytmy), po drugie zaś równania DGLAP, które są opisane w następnym rozdziale, powstają w wyniku wysumowania wkładów od wiodących logarytmów do nieskończonego rzędu, nie tylko do rzędu n . Autor bardzo ogólnikowo traktuje również problem faktoryzacji w QCD. W żaden sposób nie wynika z tekstu, dla jakich procesów istnieją twierdzenia w ramach QCD, a dla jakich są to tylko hipotezy. Szczególnie razi brak jasnej dyskusji problemu faktoryzacji w dyfrakcyjnej produkcji par dżetów, która jest tematem rozprawy. Autor co prawda opisuje wkłady od oddziaływania przez foton bezpośredni i złożony, ale całość dyskusji nie jest umiejscowiona w kontekście faktoryzacji. Inną sprawą jest brak odnośników do literatury, np. przy wzorze na przekrój czynny na stronie 11 lub przy diagramach z rysunku 1.10. Czy należy rozumieć, że jest to oryginalny wkład autora?

W rozprawie brakuje również rozszerzonej dyskusji dotyczącej rekonstrukcji dżetów. Autor używa inkluzywnego algorytmu k_T zaimplementowanego w pakiecie FastJet. Jednocześnie jednak na poziomie triggera występuje inny algorytm dżetowy EUCELL. Nasuwa się więc pytanie, jak dobór różnych algorytmów może wpływać na wyniki pomiarów? Innym zagadnieniem jest kształt dżetów na płaszczyźnie kąt azymutalny - pospieszność. Algorytm k_T prowadzi zazwyczaj do nieregularnych kształtów, co powoduje trudności z odejmowaniem tła. Jest to jeden z problemów występujących w zderzaczach hadronów. Czy

w przypadku rozważanych w tej rozprawie procesów zderzeń elektron - proton również występuje podobny problem? Czy można powtórzyć analizę przy użyciu algorytmów typu $anti-k_T$, które prowadzą do znacznie regularniejszych kształtów?

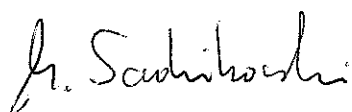
Następna krótka uwaga dotyczy rozdziału rewagowania Monte Carlo, który został opisany bardzo pobieżnie. Przykładowo, rewagowanie sygnału w zmiennych $x_T, z_{\mathbb{P}}$ zostało podsumowane jednym zdaniem. Trudno uznać to za wystarczający opis w rozprawie doktorskiej.

W tym miejscu chciałbym zauważyć, że rozprawa doktorska ma na celu nie tylko przedstawienie wyników uzyskanych w dotychczasowej pracy ale również ma nieść ze sobą walor dydaktyczny. W mojej opinii niniejsza rozprawa zyskałaby na wartości, gdyby autor poświęcił więcej miejsca na omówienie ogólnych zasad przeprowadzania analizy danych eksperymentalnych. Osobny rozdział wprowadzający i porządkujący kolejne kroki ułatwiłby czytanie pracy, szczególnie przyszłym doktorantom stawiających pierwsze kroki w dziedzinie fizyki eksperymentalnej cząstek elementarnych. Z tego samego powodu uważam, że brakuje uzupełnienia podającego najważniejsze z punktu widzenia rozprawy cechy generatora RAPGAP.

Na zakończenie wspomnę, że w pracy znajdują się pewne drobne usterki. Wymienię przykładowo: w pierwszym wzorze na stronie 9 powinna być w mianowniku wielkość Q^4 nie Q^2 , w pierwszym wzorze na stronie 34 czteropęd protonu P powinien występować tylko raz, czy też na stronie 39 powinno być "lower cut", nie zaś "lover cut".

Podsumowując stwierdzam, że powyższe uwagi krytyczne nie umniejszają zasadniczej wartości rozprawy doktorskiej i wnoszę o dopuszczenie Pana mgr. inż. Marcina Guzika do dalszego etapu postępowania doktorskiego.

Kraków, 07.09.2015



prof. dr hab. Mariusz Sadzikowski