

Dr hab. inż. Hanna Paulina Zbroszczyk, prof. PW
Politechnika Warszawska

Warszawa, 14 października 2022 r.

Wydział Fizyki

ul. Koszykowa 75

00-662 Warszawa

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr Agnieszki Ogrodnik

pod tytułem:

„Measurement of photon-induced processes in heavy-ion collisions with the ATLAS detector”

Rozprawa doktorska mgr Agnieszki Ogrodnik została wykonana pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Iwony Grabowskiej-Bołd na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Praca dotyczy eksperymentalnej analizy procesów wywołanych przez fotony w ultraperyferycznych 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. Poruszającym się z relatywistycznymi prędkościami jonami towarzyszy pole elektromagnetyczne, które może być traktowane jako strumień fotonów. Dzięki temu możliwe jest badanie oddziaływań nukleon-foton oraz foton-foton. W przypadku zderzeń ultraperyferycznych, kiedy odległość między jądrami w momencie zderzenia przekracza sumę tych promieni, oddziaływania foton-foton są dominującymi. Oddziaływania takie mogą być badane także w przypadku zderzeń dwóch protonów, nie mniej ze względu na rosnącą liczbę strumieni fotonów w zależności od liczby atomowej jądra, przekrój czynny na rozważany proces zmienia się proporcjonalnie do Z^4 . To tłumaczy dlaczego właśnie zderzenia ciężkich jonów są wybierane w celu badania rzadkich procesów wywołanych przez fotony. Autorka w swojej rozprawie skupiła się na dwóch procesach: rozpraszanie foton-foton ($\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma$) oraz ekskluzywna produkcja par elektron-pozyton

($\gamma\gamma \rightarrow e^+e^-$). Uważam, że badania przedstawione w prezentowanej pracy wnoszą istotny wkład w zrozumienie procesów wywołanych przez fotony.

Praca doktorska mgr Agnieszki Ogrodnik jest napisana w języku angielskim, została poddana starannej edycji zarówno pod względem językowym, jak i graficznym. Praca składa się łącznie z 7 rozdziałów, streszczenia w języku polskim oraz angielskim oraz spisu literatury. Praca liczy łącznie 128 strony, z czego część czysto opisowa stanowi 111 stron.

W Rozdziale 1, będącym wstępem, autorka opisała swój znaczący wkład w prace na rzecz eksperymentu ATLAS. Autorka deklaruje współudział w 4 istotnych kolaboracyjnych publikacjach. 4 materiały konferencyjne (proceedingsy) oraz 10 prezentacji wygłoszonych w trakcie krajowych i międzynarodowych konferencji są niewątpliwym dowodem na istotne zaangażowanie autorki w prace kolaboracyjne. Rozdział 2 stanowi teoretyczny wstęp i zawiera opis Modelu Standardowego, zderzeń ciężkich jonów, fizyki dwufotonowych reakcji rejestrowanych przy ultraperyferycznych zderzeniach ciężkich jonów, modelowania oddziaływań dwufotonowych przy pomocy generatora STARLIGHT oraz SUPERCHIC, ekskluzywnej produkcji par leptonów, rozpraszania światła na świetle. Rozdział ten stanowi ogólne, ale poprawne wprowadzenie do tematyki pomiaru procesów związanych z fotonami. W rozdziale 3 znajduje się opis eksperymentu ATLAS, z uwzględnieniem LHC, detektora ATLAS, procesu identyfikacji i rekonstrukcji elektronów i fotonów. Uważam, iż ten rozdział dotyczący detektora ATLAS, a zwłaszcza z punktu widzenia poszczególnych zespołów detektorowych mógłby być bardziej rozbudowany, co pomogłoby lepiej zrozumieć istotę pomiaru procesów indukowanych fotonami opisanych w dalszych rozdziałach pracy. Rozdział 4 szczegółowo opisuje zagadnienie trygera (algorytmu umożliwiającego wstępną selekcję przypadków w czasie rzeczywistym w trakcie zbierania danych), które w analizie mgr Agnieszki Ogrodnik jest niezwykle ważne ze względu na dużą liczbę przypadków zderzeń Pb+Pb spośród których należało wybrać te nadające się do przeprowadzanej analizy. Etap ten wymagał przygotowania strategii oraz jej implementacji i optymalizacji zarówno na poziomie sprzętowym, jak i z punktu widzenia oprogramowania (hardware i software). Zapisywane były przypadki o niskiej aktywności detektora śladów oraz bardzo niskiej aktywności w obszarze „do przodu”. Trudnością była niska energia cząstek będąca porównywalną z poziomem szumu elektroniki detektora. Autorka opisała pokrótce system trygera w eksperymencie ATLAS, po czym przeszła do zagadnień optymalizacyjnych rejestracji przypadków zawierających pary di-leptonowe i di-fotonowe. Istotnym zagadnieniem był pomiar wydajności trygera. Rozdział 5 opisuje ekskluzywną produkcję par elektron-pozyton. Stanowi on

podsumowanie tej produkcji zarejestrowanej w trakcie 2018 roku. Pani mgr Agnieszka Ogrodnik była odpowiedzialna nie tylko za studium odpowiedniego trygera, ale za cały proces optymalizacji przy selekcji przypadków, ewaluację wpływu mierzonego tła. Zostały opisane analizowane dane eksperymentalne, jak również próbki symulacji Monte Carlo. Autorka przedstawiła proces rekonstrukcji i identyfikacji elektronów wraz z analizą wydajności rekonstrukcji i identyfikacji. W kolejnym podrozdziale znajduje się opis charakterystyki przypadków, ich selekcji, studium wpływu tła. Mgr Agnieszka Ogrodnik opisała pokrótce niepewności systematyczne oraz proces analizy danych, poruszony jest też problem różniczkowego przekroju czynnego. Bardzo istotnym elementem pracy było oszacowanie niepewności systematycznych. Autorka skupiła się na przedstawieniu ich w kontekście rekonstrukcji i identyfikacji elektronów oraz oddzielnie, z perspektywy oszacowanego tła. Uważam, że wartościowe byłoby zestawienie całego studium systematyki w jednym miejscu, w postaci tabel z opisem procentowej kontrybucji każdego z przyczynków. Autorka wykonała ogromną pracę, ale i bardzo obszerną, rozbudowaną, całościową dyskusja wszystkich niepewności z pewnością pozwoliłoby na łatwiejsze poruszanie się po detalach bardzo kompleksowej analizy. Rozdział 6 dotyczy przypadków rozpraszania światła na świetle: selekcji przypadków di-fotonowych, przekroju czynnego, poszukiwania axion-like particles (ALP). Rozdział 7 stanowi podsumowanie oraz opis perspektyw na przyszłość.

Praca jest napisana starannie. Każdy etap analizy został szczegółowo opisany, co świadczy o bardzo wysokiej jakości uzyskanych wyników, a co za tym idzie - potwierdza jej wiarygodność. W moim odczuciu praca stanowi dowód na dojrzałość mgr Agnieszki Ogrodnik. W przedstawionej mi do recenzji pracy doktorskiej mgr Agnieszka Ogrodnik dowiodła, że studia ultraperyferycznych zderzeń ciężkich jonów stanowią bardzo dobre narzędzie do badania wielu procesów wywołanych przez fotony. Autorka skupiła się na dwóch wybranych przypadkach: produkcji par elektron-pozyton oraz rozpraszania światła na świetle. W przypadku di-elektronowej produkcji zmierzony przekrój czynny wyniósł 1.72 nb^{-1} z ultraperyferycznych zderzeń Pb+Pb przy energii $\sqrt{s_{NN}} = 5.02 \text{ TeV}$, a w przypadku procesów rozpraszania światła na świetle 2.2 nb^{-1} także z ultraperyferycznych zderzeń Pb+Pb przy energii $\sqrt{s_{NN}} = 5.02 \text{ TeV}$. Trudność stanowiło mierzone tło, inne rozpady prowadzące do rejestrowania par elektron-pozyton (Upsilon). Oszacowanie tła miało miejsce przy pomocy generatorów MC: STARLIGHT oraz SUPERCHIC. W pracy pojawili się też opis

perspektyw na przyszłość (Run-3, 2022-2024), który niewątpliwie przyniesie nowe możliwości dla badań ultraperyferycznych zderzeń ciężkich jonów. Spis literatury stanowi 119 pozycji.

W pracy znajdują się drobne uchybienia. Poniżej przytaczam tylko niektóre z nich, wszystkie są bowiem marginalne i nie umniejszają wartości merytorycznej pracy. W moim odczuciu, jak wspomniałam wcześniej z pewnością bardziej szczegółowy opis poszczególnych detektorów pomógłby lepiej zrozumieć złożoność analizy przeprowadzonej przez mgr Agnieszkę Ogrodnik. Uważam także, że zebranie w jednym rozdziale wszystkich przyczynków odnoszących się do całościowej niepewności systematycznej (w postaci tabel oraz procentowego odniesienia się do poszczególnych punktów mierzonych charakterystyk oraz wyznaczanych wielkości) ułatwiłby całościowe zrozumienie. Na przejrzystość pracy niewątpliwie wpłynęłoby pozytywnie większe wersje rysunków: 2.1, 2.2, 3.2, 3.4, 5.3-5.10, 5.40, 5.46, 5.51-5.54. Rysunki 5.34-5.36 są natomiast w moim odczuciu za duże.

Podsumowując, uważam że rozprawa doktorska mgr Agnieszki Ogrodnik zawiera oryginalne i ciekawe wyniki poszerzające naszą wiedzę o procesach wywołanych fotonami. Jako, że rozprawa spełnia wszelkie formalne wymogi stawiane pracom doktorskim wnoszę o dopuszczenie do jej publicznej obrony.

Heimie Zbrozajka

