

## Streszczenie

Zderzenia ultrarelatywistycznych ciężkich jonów stanowią podstawę do szerokiej gamy badań oddziaływań silnych, słabych i elektromagnetycznych. Pomiar opisany w tej rozprawie obejmuje procesy wywołane przez fotony w ultraperyferycznych zderzeniach ciężkich jonów. Analizowane są dane ze zderzeń jąder ołowiu przy energii 5.02 TeV na parę nukleonów zebrane przez detektor ATLAS na akceleratorze LHC w laboratorium CERN. Poruszającym się z relatywistyczną prędkością jonom towarzyszy pole elektromagnetyczne, które można również interpretować jako strumień fotonów. Dzięki temu, poza oddziaływaniem nukleon-nukleon obserwuje się także oddziaływania foton-nukleon oraz foton-foton. Te ostatnie stają się dominujące w zderzeniach ultraperyferycznych, kiedy odległość między oddziałującymi jądrami jest większa niż suma promieni tych jąder. Interakcje foton-foton zachodzą również w zderzeniach proton-proton, między polami elektromagnetycznymi ultrarelatywistycznych protonów. Jednak strumienie fotonów rosną w kwadracie wraz z liczbą atomową jonu,  $Z$ , co w przypadku oddziaływań foton-foton przekłada się na wzrost przekrojów czynnych na dany proces proporcjonalnie do  $Z^4$ . W związku z tym, ultraperyferyczne zderzenia ciężkich jonów umożliwiają pomiary rzadkich procesów, a także poszukiwanie nowych zjawisk i cząstek będących sygnałami tzw. Nowej Fizyki.

Ta rozprawa podsumowuje badania dotyczące ultraperyferycznych zderzeń ołów-ołów, w które znaczący wkład wniosła autorka tej pracy w trakcie studiów doktoranckich. W centrum zainteresowania rozprawy doktorskiej są dwa procesy: rozpraszanie foton-foton,  $\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma$ , oraz główne źródło tła dla tego procesu, czyli ekskluzywna produkcja par elektron-pozyton,  $\gamma\gamma \rightarrow e^+e^-$ . W Modelu Standardowym reakcja  $\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma$  jest dozwolona poprzez pętle z wirtualnymi naładowanymi fermionami lub bozonami  $W^\pm$ . Proces ten może również stanowić tło dla Nowej Fizyki, którego przykładem są rozpady cząstek typu aksjonów. Jego precyzyjne pomiary umożliwią zatem wyznaczenie nowych ograniczeń dla kilku procesów spoza Modelu Standardowego. Natomiast ekskluzywna produkcja par elektron-pozyton, będąca jednym z podstawowych procesów elektrodynamiki kwantowej, jest istotna jako pomiar referencyjny do wielu analiz wykorzystujących dane ze zderzeń ultraperyferycznych. Precyzyjne pomiary tego procesu pozwolą również na udoskonalenie symulacji Monte Carlo dla interakcji foton-foton, w szczególności modelowania strumieni fotonów towarzyszących naładowanym wiązkom jądrowym. Obserwacja par lepton-antylepton pochodzących z interakcji fotonów jest również możliwa w

przypadkach z równoczesnym oddziaływaniem hadronowym. Pomiarów procesów wywołanych przez fotony w takich przypadkach może stanowić nowe źródło badań nad plazmą kwarkowo-gluonową (ang. Quark-Gluon Plasma, QGP).

Przekroje czynne na procesy wywołane przez fotony w zderzeniach ultraperyferycznych maleją wraz ze wzrostem energii w centrum masy układu foton-foton. Energia poprzeczna fotonów/elektronów w stanie końcowym sięga kilkunastu/kilkudziesięciu GeV, przy czym spektrum jest zdominowane przez kontrybucję od cząstek o energiach kilku GeV. Stanowi to wyzwanie pomiarowe dla detektora ATLAS, który był projektowany i optymalizowany pod detekcję wysokoenergetycznych cząstek o pędzie poprzecznym powyżej 20 GeV. Cechą charakterystyczną rozpatrywanych procesów jest również mała akoplanarność układu fotonów/elektronów w stanie końcowym, co oznacza, że poruszają się one w przeciwnych kierunkach w kącie azymutalnym.

Istotnym elementem, niezbędnym do późniejszego przeprowadzenia badań było przygotowanie przez autorkę rozprawy wydajnego trygera, czyli algorytmu umożliwiającego wstępną selekcję przypadków w czasie rzeczywistym w trakcie zbierania danych przez eksperyment ATLAS. Ten etap wymagał przygotowania dedykowanej strategii, implementacji selekcji i jej optymalizacji zarówno na pierwszym, hardware'owym, poziomie, jak i na drugim, software'owym. Selekcja trygera jest ściśle dopasowana do poszukiwanych procesów: zapisywano przypadki o niskiej aktywności w centralnej części detektora, niewielkiej aktywności detektora śladów oraz bardzo niskiej aktywności w obszarze „do przodu”. Wielkie wyzwanie stanowiła niska energia cząstek w poszukiwanych procesach, będąca na granicy poziomu szumu elektroniki detektora. Dzięki optymalizacji selekcji, znacząco poprawiono wydajność trygera używanego w czasie zbierania danych ze zderzeń ołów-ołów w 2018 r. względem tego używanego w 2015 r.

W rozprawie przedstawione są wyniki pomiarów całkowitych oraz różniczkowych przekrojów czynnych na rozpraszanie foton-foton oraz ekskluzywną produkcję par elektron-pozyton. Przekroje czynne zbadane zostały w kilku zmiennych kinematycznych. Zaprezentowane wyniki porównane są z kilkoma przewidywaniami teoretycznymi dla badanych procesów.

Lipiec, 2022