

Fizyka cząstek elementarnych stanowi niesamowity łącznik między dwoma, na pierwszy rzut oka skrajnie różnymi zagadnieniami fizyki: mechaniką kwantową oraz badaniem początków Wszechświata. Poprzez badanie podstawowych interakcji i procesów, rządzonych prawami mechaniki kwantowej, pomaga odpowiedzieć na fundamentalne pytania: jak powstawał i jak jest zbudowany otaczający nas świat? Teorią, która obejmuje większość dotychczasowych odkryć z zakresu fizyki cząstek elementarnych jest Model Standardowy. Opisuje on świat jako cząstki materii - fermiony, oraz oddziaływania między nimi, przenoszone przez cząstki zwane bozonami.

Głównym narzędziem pracy fizyków cząstek elementarnych są akceleratory, przyspieszające przeciwbieżne wiązki cząstek do relatywistycznych prędkości, czyli bliskich prędkości światła. Rozpędzone cząstki są następnie zderzane, w wyniku czego produkowane są nowe cząstki. Zadaniem fizyków jest analiza tych produktów, by odkryć jakie interakcje i procesy miały miejsce. Obecnie największym akceleratorem jest Wielki Zderzacz Hadronów (ang. Large Hadron Collider, LHC) umożliwiający zderzenia protonów oraz jąder ołowiu. Szczególnie interesujące są zderzenia ciężkich jonów, które otwierają możliwość badania plazmy kwarkowo-gluonowej (ang. Quark-Gluon Plasma, QGP), czyli stanu materii jaki przypuszczalnie był obecny we Wszechświecie w ułamku sekundy po Wielkim Wybuchu. Poruszającym się z relatywistyczną prędkością jonom towarzyszy pole elektromagnetyczne, które można również interpretować jako wiązkę fotonów. Dzięki temu, poza silnym oddziaływaniem nukleonów (protonów i neutronów) obserwuje się także oddziaływania elektromagnetyczne. Te ostatnie stają się dominujące w zderzeniach ultraperyferycznych, kiedy odległość między oddziałującymi jądrami jest większa niż suma promieni tych jąder.

W rozprawie doktorskiej analizowane są dwa procesy: rozpraszanie foton-foton oraz główne źródło tła dla tego procesu, czyli ekskluzywna produkcja par elektron-pozyton. Proces rozpraszania foton-foton jest interesujący jako podstawowy, ale bardzo rzadki efekt elektrodynamiki kwantowej. Dodatkowo może on również stanowić tło dla tzw. Nowej Fizyki, czyli procesów wykraczających poza Model Standardowy. Ekskluzywna produkcja par elektron-pozyton również stanowi jeden z podstawowych procesów elektrodynamiki kwantowej, a jej pomiar jest istotny jako pomiar referencyjny do wielu analiz wykorzystujących dane ze zderzeń ultraperyferycznych. Porównanie z pomiarem referencyjnym umożliwia poprawę precyzji poprzez zmniejszenie wpływu niepewności systematycznych. Obserwacja par elektron-pozyton pochodzących z interakcji fotonów jest również możliwa w przypadkach z równoczesnym oddziaływaniem silnym między nukleonami. Pomiary procesów wywołanych przez fotony w takich przypadkach mogą stanowić nowe podejście do badań nad QGP.

W pracy analizowane będą dane ze zderzeń ołów-ołów przy energii 5.02 TeV na parę nukleonów zebrane przez detektor ATLAS na LHC. Przy użyciu tych danych możliwa była pierwsza bezpośrednia obserwacja rozpraszania foton-foton ($\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma$) dokonana przez eksperyment ATLAS w 2019 roku. Wnioskodawczyni była częścią niewielkiej grupy wewnątrz Współpracy ATLAS, która pracowała nad analizą danych w tym pomiarze. Na LHC, przekrój czynny na ten proces jest rzędu kilkudziesięciu nb, a energia poprzeczna fotonów w stanie końcowym sięga kilkunastu GeV, przy czym dla większości z nich jest to kilka GeV. Ekskluzywnie produkowane elektrony i pozytony również mają energie tego rzędu. Stanowi to wyzwanie pomiarowe dla detektora ATLAS, który był projektowany i optymalizowany pod detekcję wysokoenergetycznych cząstek. W efekcie sygnał poszukiwanych cząstek jest na granicy szumu elektroniki detektora. Techniki pomiarowe oraz analizy danych zostaną zoptymalizowane pod kątem tego zakresu energetycznego. W wyniku pracy wyznaczone zostaną przekroje czynne dla obu analizowanych procesów.