

## Streszczenie pracy doktorskiej pt. "Measurement of the diffractive central exclusive production in the STAR experiment at RHIC and the ATLAS experiment at LHC".

Pośród procesów fizycznych badanych w dwóch działających obecnie zderzaczach protonów: Zderzacza Relatywistycznych Ciężkich Jonów (ang. RHIC) oraz Wielkiego Zderzacza Hadronów (ang. LHC), można wyróżnić oddziaływania dyfrakcyjne, które przy dostępnych energiach zderzeń w układzie środka masy zachodzą przede wszystkim poprzez wymianę singletu kolorowego zwanego Pomeronom. Procesy dyfrakcyjne dzieli się na elastyczne rozpraszanie, a także pojedynczą, podwójną oraz centralną dyfrakcję. Ta ostatnia zachodzi poprzez podwójną wymianę Pomeronu (ang. DIPE), mającą miejsce, gdy obie z oddziałujących cząstek ze zderzanych wiązek (lub tarczy) emitują Pomerony i rozpraszają się pod niewielkimi kątami. Obiektem uformowanym przez oddziałujące Pomerony jest neutralny stan  $X$ , zaś cząstki wiązek zostają wzbudzone, dysocjują lub zachowują swój stan. W przypadku, gdy wszystkie cząstki stanu  $X$  są wyraźnie odseparowane od cząstek wiązek lub produktów ich fragmentacji, mówi się o centralnej produkcji ekskluzywnej (ang. CEP), co zapisuje się jako  $B_1 + B_2 \rightarrow B_1 + X + B_2$ .

Niniejsza rozprawa zawiera opis badań dyfrakcyjnej centralnej produkcji ekskluzywnej opracowanych na podstawie danych ze zderzeń proton-proton z jednoczesnym pomiarem protonów rozproszonych "do przodu". Proces zmierzono w ramach eksperymentu STAR na zderzaczu RHIC oraz eksperymentu ATLAS na zderzaczu LHC przy energiach zderzeń proton-proton w układzie środka masy równych odpowiednio 200 GeV i 13 TeV. Jest to pierwszy pomiar procesu CEP przy tak wysokich energiach zderzeń z jednoczesną detekcją cząstek wiązek rozproszonych w kierunku "do przodu". Było to możliwe dzięki wyspecjalizowanym detektorom umieszczonym we wnękach zintegrowanych z elementami zderzacza, nazywanych rzymskimi garnkami (ang. Roman Pot), które umożliwiają znaczne zbliżenie detektorów do wiązek, a dzięki temu detekcję cząstek rozproszonych pod niewielkimi kątami. Pozwala to wykazać ekskluzywność mierzonego procesu poprzez balans całkowitego pędu układu mierzonych cząstek, inaczej niż w przypadku eksperymentów nieposiadających omawianych detektorów, które wnioskuje o ekskluzywności na podstawie dwóch przerw w pospieszności.

Praca rozpoczyna się od wstępu zawierającego teoretyczne podstawy wymagane do prześledzenia toku opisywanych badań. Przedstawiony został tu opis dyfrakcyjnej CEP rozwinięty w języku teorii Regge, a także generatory przypadków implementujące różne modele procesu, wykorzystujące do tego metody Monte Carlo (MC). Kolejne dwie części zawierają dokładny opis analiz przeprowadzonych w ramach eksperymentu STAR i ATLAS. Składa się na nie przedstawienie układu detekcyjnego oraz technik eksperymentalnych wykorzystanych przy zbieraniu danych, rekonstrukcji przypadków i analizie fizycznej. Techniki te są koncepcyjnie podobne, lecz pomimo analizy tego samego procesu fizycznego w dwóch eksperymentach, niezbędna była ich adaptacja do tych dwóch niezależnych pomiarów. Wynika to bezpośrednio z odmiennych warunków eksperymentalnych występujących przy detektorze STAR i ATLAS. W ostatniej części pracy dyskutowane są wyniki obu analiz oraz przedstawione zostają płynące z nich konkluzje.

Zasadniczym wynikiem przeprowadzonych analiz fizycznych są przekroje czynne na proces dyfrakcyjnej CEP układów zidentyfikowanych hadronów,  $p + p \rightarrow p + X + p$ , gdzie  $X = \pi^+\pi^-, K^+K^-, p\bar{p}$  (eksperyment STAR), oraz  $X = \pi^+\pi^-, 2\pi^+2\pi^-, 3\pi^+3\pi^-, 4\pi^+4\pi^-$  (eksperyment ATLAS), zmierzone w ograniczonym obszarze przestrzeni fazowej (ang. fiducial cross sections) określonym na kinematycznych wielkościach opisujących stan centralny i protony

rozproszone "do przodu", odpowiadającym geometrycznemu pokryciu systemów pomiarowych w eksperymencie STAR i ATLAS. Uzyskana precyzja pomiaru jest kilkukrotnie wyższa od tej osiągniętej w pomiarze CEP z detekcją rozproszonych cząstek wiązki przy dotychczasowej najwyższej energii zderzeń, wykonanej przez eksperymenty AFS oraz SFM przy zderzaczu ISR. Pomiar centralnego stanu  $4\pi^+4\pi^-$  w eksperymencie ATLAS jest prawdopodobnie jedynym pomiarem stanu centralnego o tak dużej krotności w procesie CEP.

Przekroje czynne fiducial zostały porównane z dostępnymi modelami kontinuum (nierezonansowej CEP), spośród których żaden nie opisuje poprawnie otrzymanych punktów pomiarowych w każdym z badanych kanałów reakcji. Wskazuje to na znaczący wkład składowej rezonansowej, implikując również niepomijalny wpływ kwantowych efektów interferencyjnych pomiędzy różnymi mechanizmami produkcji.

Różniczkowe przekroje czynne w funkcji masy niezmienniczej centralnie wyprodukowanej pary  $\pi^+\pi^-$  ekstrapolowano do lorentzowsko-niezmienniczego obszaru przestrzeni fazowej umożliwiając dekompozycję na część nierezonansową i rezonansową, jak również identyfikację zaobserwowanych stanów rezonansowych. Są nimi mezony skalarnie  $f_0(980)$  i  $f_0(1500)$ , a także mezon tensorowy  $f_2(1270)$ . Brak jest świadectwa produkcji mezonów wektorowych jak np.  $\rho(770)$ , co potwierdza dominację podwójnej wymiany  $\mathbb{P}$ omeronu w CEP przy badanych energiach zderzeń i w dostępnym obszarze kinematycznym. Istnieje z kolei znaczące wskazanie na produkcję stanu  $f_0(500)$ , rezonansu w okolicach masy 1370 MeV - potencjalnie mezonu  $f_0(1370)$ , oraz rezonansu o masie około 2.3 GeV.

Z przeprowadzonego dopasowania założonego modelu do ekstrapolowanego przekroju czynnego w funkcji masy niezmienniczej pary  $\pi^+\pi^-$  otrzymano parametry rezonansów: całkowity przekrój czynny na produkcję rezonansu w badanym kanale oraz przesunięcie fazowe amplitudy na produkcję rezonansu, jak również w kilku przypadkach masę i szerokość rezonansu. Obserwuje się silną zależność przekroju czynnego na produkcję rezonansów od separacji azymutalnej protonów rozproszonych "do przodu", co odpowiada kątowni zderzenia dwóch oddziałujących  $\mathbb{P}$ omeronów w układzie laboratoryjnym w płaszczyźnie prostopadłej do zderzających się wiązek. W takiej konfiguracji względny pęd  $\mathbb{P}$ omeronów jest zredukowany, co w połączeniu z podstawową reprezentacją chromodynamiczną  $\mathbb{P}$ omeronu w postaci kolorowo-neutralnej kombinacji dwóch gluonów, może wskazywać - w przypadku wzmocnienia produkcji w takiej konfiguracji - na istnienie komponenty gluonowej w stanie rezonansowym, a nawet całkowicie gluonowej naturze takiego stanu (stan związany gluonów, ang. glueball). Jednym z rezonansów w przypadku którego zaobserwowano opisaną zależność jest  $f_0(1500)$ , powszechnie wskazywany jako potencjalny glueball o najniższej masie.

Wyodrębniony wkład do przekroju czynnego na proces CEP od produkcji nierezonansowej został porównany z dedykowanymi modelami kontinuum. Z porównania wynikają ograniczenia na pewne parametry tych modeli związane z czynnikami postaci mezonów (ang. form factors) i efektami absorpcyjnymi, powiązanimi z prawdopodobieństwem zachowania przerwy w pospieszności (ang. rapidity gap survival probability) w stanie końcowym.

W przypadku różniczkowego przekroju czynnego w funkcji masy niezmienniczej centralnie wyprodukowanego stanu  $2\pi^+2\pi^-$  zidentyfikowano osiowo-wektorowy mezon  $f_1(1285)$ . Wyznaczono wycalkowane przekroje czynne na produkcję tego rezonansu w dostępnym obszarze przestrzeni fazowej, osobno dla dwóch zakresów kąta azymutalnego pomiędzy rozproszonymi protonami wiązki. Przekrój czynny fiducial na produkcję rezonansu okazał się nie zależeć od wspomnianego kąta.

Detekcja protonów rozproszonych "do przodu" umożliwiła rekonstrukcję wielkości  $t$  będącej kwadratem przekazu czteropędu w wierzchołku protonowym, a w konsekwencji, w przypadku produkcji stanów  $\pi^+\pi^-$  i  $2\pi^+2\pi^-$ , dopasowanie funkcji wykładniczej do podwójnie-różniczkowego przekroju czynnego w funkcji  $t_1$  i  $t_2$ . W przypadku CEP par  $\pi^+\pi^-$  wartość parametru nachylenia rozkładu wykładniczego zmienia się istotnie w zakresie badanych mas niezmienniczych stanu centralnego, jak również zależy od kąta azymutalnego pomiędzy rozproszonymi protonami wiązki.

Oczekuje się, że otrzymane wyniki nałożą silne ograniczenia na parametry modeli DIPE w wysokoenergetycznych oddziaływaniach cząstek.