

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Daniela Wielanka pt. „Analiza możliwości pomiarów femtoskopowych NICA-MPD na podstawie wyników eksperymentu STAR”

Zgodnie z przewidywaniami teoretycznymi, opartymi, o teorie oddziaływań silnych, chromodynamikę kwantową, w zderzeniach jądrowych przy najwyższych energiach dostępnych w eksperymentach przy akceleratorze RHIC w BNL jak również przy akceleratorze LHC w CERN występują korzystne warunki na wytworzenie plazmy kwarkowo gluonowej (QGP). Wyniki eksperymentalne wskazują, że w tych oddziaływaniach tworzona jest silnie sprzężona QGP zachowująca się jak prawie idealna ciecz. Jednym z najważniejszych narzędzi używanych do poznania własności niezwykłego stanu QGP, jest pomiar parametrów femtoskopowych pozwalający na badanie czasoprzestrzennych charakterystyk źródła emisji cząstek. Rozprawa doktorska mgr. inż. Daniela Wielanka skupia się na pomiarach parametrów femtoskopowych w oddziaływaniach jonów złota w eksperymencie STAR przy akceleratorze RHIC oraz w przyszłym eksperymencie MPD przy obecnie budowanym akceleratorze NICA w Dubnej w Rosji. W szczególności, w rozprawie doktorskiej badano korelacje dwucząstkowe przy odpowiednio niskiej energii wiązki, pozwalającej na „sondowanie” diagramu fazowego QCD w zakresie dużych wartości potencjału chemicznego. Badanie te mają duży potencjał dostarczenia istotnych informacji o przejściu fazowym QGP-gaz hadronowy oraz o punkcie krytycznym na diagramie fazowym QCD, który wciąż jest daleki od pełnego zrozumienia.

Rozprawa doktorska liczy 176 stron i jest napisana w języku polskim, co jest godne pochwały. Składa się ze streszczenia, 8-miu rozdziałów, 3-ch dodatków oraz bibliografii zawierającej 102 poz.

Rozdział 1 to wstęp do fizyki ciężkich jonów, w którym przedstawiono opis modelu standardowego, diagram fazowy materii QCD, poglądowy przebieg zderzenia jądrowego przy wysokich energiach oraz wybrane analizy. Przedstawiono również najważniejsze definicje i podstawowe zmienne fizyczne używane w następnych rozdziałach. Ze względu na szeroki zakres materiału związanego z fizyką ciężkich jonów nie jest możliwe opisanie wszystkich najważniejszych zagadnień z tej dziedziny w jednym krótkim rozdziale. Uważam, że selekcja tematyki dokonana przez Autora, a także uproszczone opisy dobrze pasują do tematu rozprawy doktorskiej. W podrozdziale 1.3 przedstawiającym poglądowy przebieg zderzenia jądrowego, zabrakło mi porównania dwóch scenariuszów zderzenia ciężkich jonów, z wytworzeniem QGP i bez niej, które są przedstawione na rys. 1.5.

Rozdział 2 jest poświęcony metodzie femtoskopii korelacyjnej używanej w rozprawie doktorskiej. W przystępny sposób przedstawiono fizyczne podstawy oraz założenia prowadzące do jedno- i trój-wymiarowych funkcji korelacji, oraz omówiono wpływ silnych i elektromagnetycznych oddziaływań na jej kształt. Następnie Autor przedstawia funkcję korelacji w parametryzacji Bertscha-Pratta w układach współrzędnych LCMS i PRF, oraz omawia interpretację fizyczną parametrów femtoskopowych. Interesujące stwierdzenia są zawarte w podrozdziale 2.5, w którym rozważane są dodatkowe efekty fizyczne, poza statystyką kwantową, istotnie wpływające na postać funkcji korelacji, tj. kolektywna ekspansja, zasada zachowania energii i pędu, czy rozpad rezonansów. Pouczające dla czytelnika byłoby, poparcie tych rozważań przykładami zaczerpniętymi z literatury. Pod koniec rozdziału 2 podano definicję eksperymentalnej funkcji korelacji (wzór 2.23). Oczekiwałbym bardziej szczegółowej/technicznej definicji tej ważnej funkcji. Pomimo tych drobnych uwag uważam, że Autor dobrze przedstawił metodę femtoskopii korelacyjnej oraz jej różne aspekty.

Rozdział 3 zawiera informacje o detektorze STAR. W rozdziale tym przedstawiono sub-detektory eksperymentu STAR istotne dla rezultatów zaprezentowanych w rozprawie. W szczególności omówiono budowę komory projekcji czasowej (TPC) i licznika czasu przelotu (ToF) oraz przedstawiono niektóre ich charakterystyki ważne w pomiarach femtoskopowych, w tym wydajność rekonstrukcji pionów, rozdzielczość pędową, identyfikację cząstek oraz rozdzielczość położenia wierzchołka zderzenia.

Rozdział 4 dotyczy technik pomiarowych używanych do wyznaczania funkcji korelacji oraz parametrów femtoskopowych w eksperymencie STAR. We wstępie do tego rozdziału zaznaczono, że efekty detektorowe mają istotny wpływ na ocenę znacznych niepewności systematycznych pomiaru parametrów femtoskopowych. W dalszej części tego rozdziału omówiono poprawkę dla funkcji korelacji na czystość korelowanych par, oddziaływania szczałkowe oraz na rozdzielczość pędową rekonstruowanych cząstek. Omówiono także efekty „merging-u” i „splitting-u” przy rekonstrukcji torów cząstek, których uwzględnienie jest istotnie przy pomiarach femtoskopowych. W podrozdziale 4.3, Autor zaprezentował wyniki analizy czystości dla wyselekcjonowanej próbki cząstek Λ dla oddziaływań jonów złota przy energii $\sqrt{s_{NN}} = 62.4$ GeV. Pozwoliło mu to stwierdzić, że użycie informacji z detektora ToF ma mały wpływ na czystość rekonstruowanej próbki cząstek Λ . Materiał przedstawiony w rozdz. 4 bardzo dobrze wpisuje się w całość rozprawy doktorskiej i jest istotny dla zrozumienia niepewności systematycznych pomiarów femtoskopowych w eksperymencie STAR, a także eksperymencie MPD, który ma podobną budowę do eksperymentu STAR.

Rozdział 5 zawiera podstawowe informacje o akceleratorze NICA. Omówiono budowę niektórych elementów detektora MPD, w tym sub-detektor TPC, ToF, kalorymetr oraz fast forward detektor wchodzący w skład systemu wyzwalania. W podrozdziale 5.4 znajduje się również opis oprogramowania używanego w eksperymencie MPD, bazującego na środowisku fairROOT rozwiniętym w ośrodku GSI w Darmstadt.

Rozdział 6 jest poświęcony modelowi zderzeń jądrowych, który został użyty do uzyskania przewidywań dla oddziaływań Au+Au przy energiach akceleratora NICA, oraz do przeprowadzenia analizy optymalizacji rekonstrukcji parametrów femtoskopowych w eksperymencie MPD. Na początku rozdziału Autor przedstawia krotności π^\pm , K^\pm , p , \bar{p} , Λ i $\bar{\Lambda}$ uzyskane przy pomocy generatora UrQMD dla oddziaływań Au+Au, w zakresie energii od $\sqrt{s_{NN}} = 4$ GeV do 11 GeV oraz dokonuje porównania produkcji cząstek w UrQMD z rezultatami eksperymentu STAR. W dalszej części rozprawy dokonano również porównania rozkładów p_T dla π^\pm , K^\pm , p , \bar{p} z generatora UrQMD z rozkładami eksperymentu STAR dla energii $\sqrt{s_{NN}} = 11.5$ GeV. Przewidywania UrQMD wskazują na znaczne odstępstwa w stosunku do danych eksperymentalnych. Jak słusznie Autor zauważył część niezgodności może pochodzić od uproszczonego sposobu wyboru przedziałów centralności. Następnie opisany jest bardziej zaawansowany model hybrydowy vHLL+UrQMD. Dla tego modelu uzyskano rozkłady p_T dla π^\pm , K^\pm , p , \bar{p} , rozkłady czasu wymrażania QGP oraz parametry femtoskopowe dla par identycznych pionów i kaonów. Rozkłady p_T oraz parametry femtoskopowe dla identycznych pionów zostały porównane z danymi eksperymentu STAR dla oddziaływań Au+Au. Wykorzystując model hybrydowy, badano wpływ przejścia fazowego ciecz-gaz hadronowy pierwszego rodzaju oraz przejścia crossover na mierzone obserwable. Jak słusznie Autor zauważa zgodnie z przedstawionymi rezultatami, typ przejścia fazowego ma niewielki wpływ na stosunek R_{out}/R_{side} w porównaniu z niepewnościami pomiarowymi. W rozdziale 6 zaprezentowano również funkcję emisji dla identycznych pionów uzyskaną przy pomocy modelu hybrydowego dla oddziaływań Au+Au przy energii $\sqrt{s_{NN}} = 11.5$ GeV. Funkcji emisji nie udało się opisać funkcją gaussowską w zakresie dużych promieni femtoskopowych. Czy możliwe byłoby porównanie przewidywań modelu vHLL i eksperymentalnej funkcji emisji, np. zaprezentowanej w publikacji [95]? Przewidywania na czas wymrażania oraz parametry femtoskopowe zamieszczone

w rozprawie doktorskiej zostały przedstawione w publikacji Phys. Rev. C 96 (2017) 024911, w której mgr inż. Daniel Wielanek jest współautorem.

Rozdział 7 dotyczy analizy możliwości wykonania pomiarów femtoskopowych w eksperymencie MPD w oparciu o model vHLL+UrQMD. Autor przedstawia niektóre charakterystyki rekonstrukcji torów π^+ , K^+ , p w tym pędowną zdolność rozdzielczą detektora TPC, wydajność oraz czystość rekonstrukcji. Zastanawiające jest, dlaczego liczba zdublowanych cząstek osiąga maksimum, np. dla pionów dla liczby klastrów $\cong 12$? Wykorzystując powyższe symulacje analizowano również zdolność identyfikacji dla π^\pm , K^\pm , p , \bar{p} w TPC oraz w ToF. Badania te pozwoliły określić optymalne kryteria selekcji torów cząstek. W podrozdziale 7.2 dokładnie przeanalizowano wpływ efektu „pseudosplitingu” na funkcję korelacji. Badania te pozwoliły na częściowe wyeliminowanie tego efektu poprzez wprowadzenie dodatkowego cięcia na ΔDCA . W podrozdziale 7.3 szczegółowo przedstawiono możliwości pomiaru parametrów femtoskopowych dla jednowymiarowej i trójwymiarowej funkcji korelacji dla par identycznych pionów w oparciu o symulacje dla centralnych oddziaływań jonów złota o energii $\sqrt{s_{NN}} = 11$ GeV. Wyznaczono parametry femtoskopowe, w tym R_{out} , R_{side} , R_{long} w funkcji masy poprzecznej pary pionów oraz zaproponowano źródła niepewności systematycznych. W ramach oszacowanych niepewności, uzyskano zgodność pomiędzy wartościami zrekonstruowanych promieni femtoskopowych, a promieniami użytymi do opisu źródła cząstek w symulacjach, mimo iż w wyniku rekonstrukcji uzyskuje się zaniżone wartości promieni femtoskopowych. Interesującym byłoby poznać przyczynę tej rozbieżności oraz jak wygląda rekonstrukcja innych obserwabli, np. współczynnika niekoherencji? Wyniki analizy przeprowadzonej dla pionów posłużyły Autorowi do oszacowania liczby zderzeń Au+Au o energii $\sqrt{s_{NN}} = 11.5$ GeV potrzebnych do pomiarów funkcji korelacji dla K^+K^+ i pp , a także do oszacowania czasu zabrania tych danych w detektorze MPD. Uważam, że Autor z powodzeniem osiągnął cel jakim było przeprowadzenie analizy możliwości wykonania pomiarów parametrów femtoskopowych w eksperymencie MPD. Z rezultatów przedstawionych w tym rozdziale jasno wynika, że detektor MDP będzie bardzo dobrym detektorem dla badań femtoskopowych.

Rozdział 8 zawiera podsumowanie i wnioski końcowe. Wyniki dotyczące pomiarów parametrów femtoskopowych w eksperymencie STAR oraz MPD uważam za szczególnie interesujące. Symulacje oparte o model hybrydowym oraz dane eksperymentalne STAR pozwoliły Autorowi stwierdzić, że wpływ rodzaju przemiany fazowej na zmierzone promienie femtoskopowe jest niewielki. W eksperymencie MPD planowane jest zebranie dużej ilości danych eksperymentalnych, co przyczyni się do wysokiej precyzji pomiarów, w tym zapewne do zwiększenia precyzji pomiaru parametrów femtoskopowych. W oparciu o symulacje detektora MPD mgr inż. Daniel Wielanek przeprowadził pełną analizę niepewności systematycznych tych parametrów dla identycznych pionów stwierdzając, że wyznaczona precyzja pomiarów femtoskopowych jest porównywalna do precyzji uzyskiwanej w eksperymencie STAR. Oczywiście są to przewidywania, ostateczna analiza niepewności pomiarowych będzie oparta o dane doświadczalne, które nie zawsze są wiernie odtwarzane przez symulacje. Uważam, że przeprowadzona analiza niepewności systematycznych jest bardzo pouczająca i wartościowa, a zarazem świadczy o bardzo dobrej znajomości tematyki.

Tekst rozprawy doktorskiej przeczytałem z przyjemnością. Poruszane zagadnienia, cel pracy oraz rezultaty są opisane w przejrzysty sposób. W niektórych przypadkach oczekiwałbym bardziej wyczerpującego opisu rysunków, równań oraz użytych wielkości fizycznych. Kilka rysunków pozostaje bez odnośnika w tekście rozprawy, są też rysunki pozbawione komentarza. Należy pochwalić Autora za wyczerpujący spis literatury. Te redakcyjne potknięcia nie umniejszają jednak wartości merytorycznej rozprawy.

Podsumowując, uważam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska w pełni spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim. Wnoszę o dopuszczenie mgr. inż. Daniela Wielanka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Adam Trzypień