

2019 -03- 07 *MBiuk.*dr hab. inż. Adam Kisiel, prof. uczelni
Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki

Warszawa, 6.03.2019

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Magdaleny Kuich p.t.
„Kaon production in mid-rapidity in Be+Be collisions at the CERN SPS”

Recenzowana rozprawa dotyczy pomiarów inkluzywnej produkcji kaonów naładowanych, mierzonych w eksperymencie ze stałą tarczą NA61/SHINE, przeprowadzanym w laboratorium CERN przy akceleratorze SPS. Analizowana próbka danych zawiera zderzenia przyspieszanych jąder ${}^7\text{Be}$ z tarczą zawierającą jądra ${}^9\text{Be}$ dla czterech energii wiązki: 30 A, 40 A, 75 A i 150 AGeV/c. Uzyskano rozkłady krotności cząstek w funkcji pospieszności (rapidity) oraz pędu poprzecznego dla tych energii zderzenia, co pozwoliło również na oszacowanie całkowitej krotności mezonów wyprodukowanych w tych zderzeniach. Analiza jest kluczowym elementem sztandarowego programu fizycznego eksperymentu NA61/SHINE i szerzej pojętego programu badania diagramu fazowego materii oddziałującej silnie w obszarze dużych gęstości barionowych. Przedstawione wyniki są unikalne w tym sensie, że podobne analizy dla zderzeń jonów Be nie były dotąd przeprowadzane. W tym sensie są ona istotnym wkładem do badań nad zachowaniem systemu tworzonego w zderzeniach jonów.

Rozprawa napisana jest w języku angielskim i podzielona jest na 7 rozdziałów. Pierwsze cztery to część opisowa pracy, w pozostałych trzech zawarto opis analizy danych wykonanych w ramach pracy i dyskusję wyników tej analizy oraz wnioski i plany na przyszłość.

Rozdział 1 przedstawia wprowadzenie do Modelu Standardowego, a w szczególności tematyki zderzeń ciężkich jonów. Skupiono się na omówieniu diagramu fazowego materii oddziałującej silnie i wyjaśniono w jaki sposób program eksperymentu NA61/SHINE może posłużyć do eksperymentalnej eksploracji tego diagramu. Problem przejścia fazowego pomiędzy materią hadronową a plazmą kwarkowo-gluonową jest fundamentalnym aspektem tych rozważań. Produkcja kaonów badana w rozprawie jest jedną z kluczowych obserwacji, która pozwala na jakościowe i ilościowe badanie tej przemiany. Rozdział pokazuje, że doktorantka starannie przestudiowała teoretyczne podstawy techniki pomiarowej i zna jej szerszy kontekst. Rozdział zadowalająco uzasadnia podjęcie tego tematu badań. Na pochwałę zasługuje też umieszczenie na końcu rozdziału jasnej deklaracji doktorantki opisującej jej osobisty wkład w działania kolaboracji NA61/SHINE. Określenie takiego wkładu w kolaboracjach składających się z ponad setki członków jest często problematyczne. Przedstawiona przez doktorantkę lista zadań, obejmująca zarówno zadania związane z techniczną obsługą detektora, takie jak system gazowy dla detektorów TPC jak i zadania związane z kalibracją i analizą danych wykazuje, że jej wkład był unikalny i istotny, odpowiadający jej zaangażowaniu w projekt na stanowisku doktoranta.

Rozdział 2 stanowi techniczny opis układu eksperymentalnego użytego w pracy, to jest detektora NA61/SHINE oraz jego elementów i konfiguracji w różnych okresach zbierania danych. Opisano kompleks akceleracyjny, rodzaje użytych tarcz, system dostarczania wiązki oraz system wyzwalania akwizycji danych. Następnie skoncentrowano się na opisie detektorów służących do rejestracji śladów pozostawionych przez cząstki, to jest różnego rodzaju komór projekcji czasowej i detektorów czasu przelotu, wraz z magnesami generującymi pole magnetyczne wewnątrz wybranych detektorów. Uwagę zwraca szczegółowy opis komór projekcji czasowej wraz z ich systemem gazowym, świadczący o dogłębnym zrozumieniu zasady działania detektora. Pozwala ono na poprawne oszacowanie niepewności systematycznych pomiarów oraz na eliminację potencjalnie niebezpiecznych efektów detektorowych. Opisano procedurę identyfikacji cząstek, która jest kluczowa dla analiz kaonów, które stanowią tylko niewielki procent produkowanych cząstek. Bez efektywnej identyfikacji pomiar ich produkcji nie byłby możliwy. Omówienie w tym rozdziale jest wystarczające do zrozumienia dalszej części rozprawy i przekonuje o znaczącej wiedzy Autorki o urządzaniu badawczym, którego użyła do uzyskania wyników opisanych w rozprawie.

W rozdziale 3 opisano procedury i oprogramowanie służące do rekonstrukcji danych

eksperymentalnych oraz danych pochodzących z symulacji Monte-Carlo. Istotnym elementem tej procedury jest zagadnienie kalibracji. Doktorantka miała znaczący wkład w opracowanie procedur kalibracyjnych w NA61, w szczególności dedykowanych systemom gazowym w detektorach TPC i TOF. Opracowała też urządzenie do monitorowania prędkości dryfu w detektorze TPC, co stanowi ważny element kontrolowania parametrów pomiarowych detektora. Prace te są bardziej szczegółowo opisane w Dodatku D. Te zadania techniczne są bezpośrednio związane z analizą danych przedstawionych w kolejnych rozdziałach, gdyż istotnie wpływają na niepewności systematyczne otrzymanych krotności. Opisano też użyte model Monte-Carlo EPOS, HIJING i UrQMD oraz zestaw procedur symulujących odpowiedź detektora. Szczegóły tej procedury umieszczono w Dodatku C.

Rozdział 4 poświęcono ogólnej charakteryzacji zbieranych danych, t.j. opisowi wiązki, tarczy eksperymentalnej oraz wynikającej z nich procedury wyzwalania. Uzasadniono użycie konkretnych procedur wyzwalania oraz pokazano w jaki sposób pozwalają one na poprawny wybór tylko interesujących zderzeń oraz znaczącą redukcję tła pochodzącego np. od zderzeń z cząstkami spoza wiązki („off-beam particles”) czy zderzeń z jądrami innymi niż jądra Be. Monitorowany jest również przestrzenny profil wiązki. Uwzględnienie w.w. efektów jest istotne w dalszej analizie danych, a poprawne przeprowadzenie procedur eliminacji tła pozwala na zmniejszenie niepewności systematycznych ostatecznego wyniku. Podsumowując w pierwszych czterech rozdziałach doktorantka wykazała się dogłębną znajomością teoretycznych podstaw analiz, które wykonywała. Podała informacje wystarczające do zrozumienia dalszych części rozprawy. Niezależnie wykazała również szczegółową wiedzę na temat technicznych aspektów budowy i działania detektora, którego użyła w swojej pracy. Ten aspekt jest również niezbędny do świadomego i poprawnego przeprowadzenia analizy i wyciągnięcia poprawnych wniosków fizycznych.

Od rozdziału 5 rozpoczyna się opis właściwych analiz eksperymentalnych, będących istotą pracy. Najpierw omówiono selekcję próbki zdarzeń (events) oraz połączoną z nią kategoryzację zderzeń ze względu na centralność. W pracy analizowano zderzenia w przedziale centralności od 0 do 20%. Następnie skupiono się na procedurach dotyczących wyboru poszczególnych zrekonstruowanych torów, opartych o informacje z detektorów TPC i TOF. Wybrane tory o zadowalającej jakości poddano procedurze identyfikacji. Wyjaśniono tzw. „metodę identity”, która pozwala określić rozkłady pędowe cząstek na podstawie eksperymentalnie wyznaczonych zestawów prawdopodobieństw dla każdej cząstki, na to, że jest to cząstka konkretnego typu (elektron, pion, kaon, proton). Dalej podano zastosowane korekcje do rozkładów, wykonane w wybranych zakresach pędu poprzecznego i pospieszności. Ostatecznym rezultatem tych procedur jest wyznaczenie niepewności systematycznych dla tych rozkładów.

W rozdziale 6 omówiono końcowe wyniki, to jest rozkłady krotności naładowanych hadronów w przedziałach pędu poprzecznego i pospieszności. Podano je dla sześciu typów hadronów, czyli π^+ , π^- , K^+ , K^- , protonów i antyprotonów. Dla kaonów naładowanych wyznaczono rozkłady pędów poprzecznych dla czterech energii zderzenia, z ostatecznymi wartościami niepewności systematycznych i statystycznych. Otrzymane wyniki są następnie użyte do wyciągnięcia kluczowych wniosków fizycznych, to znaczy to zbadania sygnatur przejścia fazowego (tzw. „kink” i „horn” w stosunkach krotności pionów i kaonów w funkcji energii i zderzanego systemu). Dane ze zderzeń Be+Be są jakościowo podobne raczej do zderzeń p+p niż do zderzeń ciężkich jonów, co sugeruje, że nie dochodzi w nich do powstania dużego systemu oddziałującego silnie. Dane porównano również z przewidywaniami modeli zderzeń, a zgodność wydaje się najlepsza dla modelu UrQMD.

W ostatnim rozdziale umieszczono wnioski z analiz oraz plany na przyszłość.

Podsumowując w rozprawie przedstawione są unikalne wyniki starannie przeprowadzonej zaawansowanej metodologicznie analizy eksperymentalnej. Została ona wykonana w funkcji energii zderzenia oraz centralności. Uzyskano rozkład krotności naładowanych kaonów zarówno w funkcji pędu poprzecznego jak i pseudopospieszności. Zadanie postawione w rozprawie zostało więc wykonane w zadowalającym stopniu. Analiza jest kompletna, t.j. określono wszelkie niepewności w niej występujące. Podkreślić należy staranny opis oszacowanych niepewności systematycznych, wynikający z dogłębnej wiedzy doktorantki na temat używanego narzędzia badawczego, czyli detektora NA61/SHINE. Dane porównano z innymi dostępnymi wynikami, np. dla innych zderzanych systemów, a z tego porównania wyciągnięto nietrywialne wnioski. Podobnie

wykonano porównanie z przewidywaniami modelowymi. Analiza jest na tyle zaawansowana, że została zatwierdzona jako wynik „Preliminary”, to jest taki, który może być pokazywany na konferencjach naukowych. Wskazane jednak byłoby, by została ona opublikowana jako praca kolaboracji NA61/SHINE. W rozprawie brak jednak informacji czy taka publikacja powstaje. Doktorantka jest współautorką szeregu publikacji eksperymentalnych NA61/SHINE, co wynika z jej znaczącego wkładu w opracowanie tych wyników. Jest on dodatkowo udokumentowany przez fakt, że Autorka wygłaszała w imieniu kolaboracji prezentacje na międzynarodowych konferencjach naukowych, zawierające wyniki opisane w rozprawie.

W przedstawionych w rozprawie wynikach pewne kwestie wymagają dodatkowego wyjaśnienia:

Nie podano uzasadnienia, dlaczego analiza wykonywana była tylko w wąskim zakresie centralności od 0 do 20%.

W opisie wyboru torów pojawia się pojęcie „Wrong Side Tracks”, jednak dla czytelnika nie jest jasne, jaki może być mechanizm ich powstawania. Nie wiadomo też, czy Rys. 5.12 ilustrujący ten przypadek pochodzi z rzeczywistych danych, czy z symulacji.

Nie jest dostatecznie wyjaśnione co przedstawia Rys. 5.21, np. czy dana cząstka jest umieszczana w tym wykresie raz, czy 3 razy (oddzielnie dla hipotezy, że jest pionem, kaonem, czy protonem). Brak omówienia rysunku nie pozwala na ocenę, czy przedstawia on oczekiwane rozkłady, czy raczej sygnalizuje problemy w analizie.

W omówieniu wyników zauważono, że model UrQMD najlepiej opisuje otrzymane rozkłady pędu poprzecznego kaonów zaś przewidywania modelu EPOS znacząco odbiegają od rozkładów jednocząstkowych, oddzielnie dla K^+ i K^- . Natomiast przy liczeniu stosunku krotności model EPOS wydaje się być najlepiej zgodny z danymi. Jednak przy braku zgodności rozkładów jednocząstkowych, zgodność stosunków krotności może być jedynie przypadkowa i nie należy jej przypisywać dużego znaczenia.

We wnioskach w rozdziale 7 najpierw stwierdza się, że wyniki ze zderzeń Be+Be przypominają te z binarnych zderzeń p+p. Jednak już w kolejnym akapicie interpretowane są one przy założeniu występowania dla kaonów efektów kolektywnych (przepływów). Efekty takie są jednak zwykle spodziewane tylko w zderzeniach ciężkich jonów, i nie obserwuje się ich w zderzeniach p+p. Tak więc te dwa stwierdzenia umieszczone w sąsiednich akapitach wydają się być sprzeczne.

W rozprawie znajduje się też kilka drobnych uchybień, które wymienię.

Na Rys. 5.18 przy użytej skali barwnej większość kategorii wydajności ma bardzo podobny kolor, stąd rysunek jest praktycznie nieczytelny.

Sporadycznie występujące błędy językowe i literówki.

Praca jest przygotowana starannie od strony edytorskiej. Rysunki są duże i czytelne oraz jasno opisane. Wymienione uchybienia nie wpływają negatywnie na odbiór pracy. Dzięki temu rozprawa w sposób wystarczający i klarowny prezentuje wyniki analizy i w sposób poprawny je interpretuje.

Podsumowując uważam, że recenzowana rozprawa mgr inż. Magdaleny Kuich spełnia wymagania stawiane przed rozprawami doktorskimi i wnoszę o dopuszczenie Autorki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Adam Kisiel

