

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr Piotra Podlaskiego p.t.

„Study of charged hadron production with tof-dE/dx identification method in central Ar+Sc collisions in NA61/SHINE experiment at CERN”

Recenzowana rozprawa dotyczy pomiarów inkluzywnej produkcji pionów i kaonów naładowanych, oraz protonów i antyprotonów mierzonych w eksperymencie ze stałą tarczą NA61/SHINE, przeprowadzanym w laboratorium CERN przy akceleratorze SPS. Analizowana próbka danych zawiera zderzenia przyspieszanych jąder ^{40}Ar z tarczą zawierającą jądra ^{45}Sc dla sześciu energii wiązki: 13 A, 19 A, 30 A, 40 A, 75 A i 150 A GeV/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 oraz wyznaczenia parametru T rozkładu Boltzmana. Dane te stanowią kluczowe elementy sztanarowego programu fizycznego eksperymentu NA61/SHINE i szerzej pojętego programu badania diagramu fazowego materii oddziałującej silnie w obszarze dużych gęstości barionowych, gdzie istotne jest wykonanie analiz w funkcji energii zderzenia i rozmiaru zderzanych jąder. Podobne analizy dla innych zderzanych systemów były wykonane wcześniej, natomiast w tej rozprawie zaprezentowano po raz pierwszy dane dla systemu Ar+Sc w których użyto dodatkowo metody identyfikacji cząstek wykorzystującej jednocześnie detektory gazowe oraz detektory czasu przelotu. W tym sensie zaprezentowane wyniki są oryginalne i istotne.

Rozprawa napisana jest w języku angielskim i podzielona jest na 7 rozdziałów. Pierwsze trzy to część opisowa pracy, w pozostałych czterech zawarto opis wybranej próbki danych oraz jej analizy wykonanej w ramach pracy, a także dyskusję wyników tej analizy oraz wnioski i plany na przyszłość.

W rozdziale 1 omówiono podstawy Modelu Standardowego oraz Chromodynamiki Kwantowej (QCD), w tym zagadnień uwięzienia (confinement) oraz asymptotycznej swobody kwarków. Zwrócono uwagę na aspekty QCD istotne z punktu widzenia zderzeń ciężkich jonów, takie jak fazy materii silnie oddziałującej oraz charakter przemian fazowych pomiędzy nimi, przedstawiane w postaci diagramu fazowego. Wprowadzono też fundamentalne pojęcia dla fizyki zderzeń ciężkich jonów, takie jak zranione nukleony, czy etapy ewolucji zderzenia. W kontekście analizy danych w rozprawie zaprezentowano podstawowe modele ewolucji zderzenia oraz wymieniono obserwabla, które mogą być czułe na ewentualne przejścia fazowe i ich rodzaj, takie jak rozważane w zależności od energii zderzenia produkcja entropii, temperatura, czy produkcja dziwności. Pomiar inkluzywnej produkcji cząstek, prezentowany w tej rozprawie, pozwala na wyznaczenie tych wielkości. Podano przewidywania modelowe dla tych obserwabli dla zderzeń jonów średniego rozmiaru – analizowanych w pracy. Rozdział zamyka krótkie wprowadzenie do programu fizycznego eksperymentu NA61/SHINE w odniesieniu do omówionych powyżej zagadnień. Rozdział pokazuje, że Doktorant dobrze zna teoretyczne postawy techniki pomiarowej i rozumie jej szerszy kontekst. Rozdział zadowalająco uzasadnia podjęcie tematu badań wybranego w rozprawie. Na pochwałę zasługuje też umieszczenie na końcu rozdziału klarownej deklaracji Doktoranta opisującej jego osobisty wkład w działania kolaboracji NA61/SHINE. Przedstawiona przez Doktoranta lista prac, obejmująca zarówno zadania związane z obsługą detektora podczas zbierania danych, takie jak system wyzwalań dla eksperymentu jak i zadania związane z kalibracją i analizą danych wykazuje, że jego wkład był istotny, odpowiadający jego zaangażowaniu w projekt na stanowisku doktoranta.

Rozdział 2 stanowi techniczny opis narzędzia badawczego użytego w pracy, to jest detektora NA61/SHINE oraz zestawu akceleratorów dostarczających do niego wiązkę. Opisano układ formujący i transportujący wiązkę oraz rodzaje użytych tarcz. Szczegółowo omówiono elementy układu detekcyjnego istotne dla analiz przeprowadzonych w pracy, takie jak detektory monitorujące wiązkę i system wyzwalania. Specjalną uwagę zwrócono na detektory pozwalające na śledzenie i identyfikację cząstek, czyli komory projekcji czasowej (Time Projection Chambers – TPCs) oraz detektory czasu przelotu (Time-of-Flight – TOF). Wyjaśniono ich zasadę działania, w tym pomiar jonizacji dla TPC oraz całkowitego czasu przelotu cząstek od punktu zderzenia do detektorów TOF, które są kluczowe dla procesu odróżniania od siebie pionów, kaonów i protonów. Centralność zderzenia mierzona jest z kolei przy pomocy Projectile Spectator Detector, a Small Acceptance Vertex Detector pozwala na precyzyjne wyznaczenie położenia wierzchołka zderzenia. Zawartość rozdziału daje przekonanie, że Doktorant posiadał dogłębną wiedzę i zrozumienie sposobu działania jego narzędzia badawczego. Dzięki temu mógł poprawnie oszacować niepewności systematyczne pomiarów. Treści zawarte w tym rozdziale są wystarczające do zrozumienia dalszej części rozprawy, a Doktorant w sposób właściwy odnosi się do nich w kolejnych rozdziałach przy dyskusji szczegółów analizy.

W rozdziale 3 skupiono się na procedurach obróbki danych eksperymentu NA61/SHINE. Omówiono kolejne etapy tzw. rekonstrukcji, to znaczy uzyskiwania użytecznych danych fizycznych z sygnałów odczytywanych z kolejnych elementów detekcyjnych. Istotnymi etapami tego procesu są między innymi: identyfikacja klastrów pochodzących z jonizacji wywołanej przez cząstki przemierzające TPC, identyfikacja śladów najpierw oddzielnie w poszczególnych detektorach, a następnie łączenie śladów pozostawionych przez tę samą cząstkę w kolejnych detektorach, rekonstrukcja pierwotnych i wtórnych wierzchołków, czy powiązanie ze sobą sygnałów pozostawionych w detektorze TOF z konkretną trajektorią określoną w detektorach śladowych. Informacje zawarte w tej części rozdziału pozwalają na zrozumienie koncepcji rekonstrukcji w NA61/SHINE i tego, jak jej poszczególne etapy mogą wpływać na niepewność pomiaru. Poprawna interpretacja tych danych wymaga jednak także realistycznego modelowania procesów rejestracji cząstek i zderzeń. Uzyskuje się to się poprzez generację zdarzeń w wybranych modelach, a następnie propagację cząstek przez model detektora i symulację jego odpowiedzi. Wykorzystuje się tu narzędzia Monte-Carlo, takie jak generator EPOS, czy pakiet GEANT4. Są to narzędzia dedykowane do tego celu i używane powszechnie w eksperymentach fizyki wysokich energii.

Rozdział 4 poświęcono ogólnej charakterystyce zbieranych danych. Opisano użytą wiązkę, jej profil oraz szczegóły jej rozkładu czasowego, który ma znaczenie przy wyborze czystej próbki danych. Omówiono tarcze eksperymentalne i procedurę wyzwalania akwizycji danych. 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 halo wiązki. Podsumowując w pierwszych czterech rozdziałach Doktorant wykazał się dogłębną znajomością teoretycznych i praktycznych podstaw analiz, które opisano w dalszej części pracy. Podał informacje wystarczające do zrozumienia dalszych części rozprawy. Wykazał również szczegółową wiedzę na temat technicznych aspektów budowy i działania detektora.

W dalszej części pracy opisana jest właściwa analiza danych wykonana na potrzeby rozprawy. Rozdział 5 rozpoczyna dyskusja zagadnienia akceptancji cząstek. Jest ono szczególnie skomplikowane ze względu na to, że zmienia się ona w zależności od rodzaju cząstki, jej ładunku oraz energii zderzenia. Celem pracy jest zastosowanie pomiarów z detektora TOF do identyfikacji cząstek, więc akceptancja jest dodatkowo ograniczona do obszaru w przestrzeni fazowej pęd – pęd poprzeczny odpowiadającemu cząstkom, które mogą potencjalnie do tych detektorów dotrzeć. Wypadkowa akceptancja jest więc widocznie ograniczona i w nietrywialny sposób różna dla każdej analizowanej cząstki i każdej energii zderzenia. Następnie opisana jest procedura wyboru zdarzeń nakierowana na minimalizację liczby przypadków tła. Analiza ogranicza się do produkcji cząstek w zderzeniach centralnych. Kryteria selekcji cząstek mają na celu wybór torów o zadowalającej jakości pomiaru trajektorii i charakterystyk pozwalających na identyfikację, to znaczy strat energii na jonizację w TPC oraz czasu przelotu w detektorze TOF. Oddzielny podrozdział poświęcony jest

szczegółowemu technicznemu opisowi procedury identyfikacji cząstek korzystającej z połączenia informacji z TPC i TOF. Została ona przedstawiona klarownie i dokładnie, potwierdzając znaczny wysiłek, jaki włożył Doktorant w jej zastosowanie. Rozdział zakończony jest dyskusją szeregu współczynników mających za zadanie skorygowanie zaburzeń zmierzonych rozkładów wywołanych przez efekty detektorowe, w tym w szczególności ograniczenia akceptancji opisane wcześniej. Na zakończenie przeprowadzono dyskusję procedury wyznaczenia niepewności systematycznych i statystycznych zmierzonych rozkładów. Podsumowując rozdział pokazuje szczegółowo szeroki zakres prac, które musiał wykonać Doktorant, aby uzyskać nietrywialne wyniki fizyczne. Wymagały one staranności i poświęcenia uwagi szczegółom analizy i wzajemnym zależnościom wielu czynników.

W rozdziale 6 cała praca opisana w poprzednich rozdziałach uwieńczona jest prezentacją ostatecznych wyników dla dwuwymiarowych (w funkcji pędu poprzecznego oraz pospieszności) rozkładów jednocząstkowych produkcji naładowanych pionów, naładowanych kaonów i (anty-)protonów, w funkcji energii zderzenia dla reakcji Ar+Sc. Porównano je z wynikami podobnych analiz korzystających jedynie z identyfikacji w TPC. Porównanie pokazuje po pierwsze doskonałą zgodność obu analiz, a po drugie znaczące rozszerzenie dostępnej przestrzeni fazowej wynikające z zastosowanej w rozprawie metody identyfikacji tof-dE/dx. Posługując się dodatkowymi założeniami uzyskano rozkłady w funkcji pędu poprzecznego oraz gęstość cząstek na jednostkę pospieszności w obszarze centralnym dla wszystkich energii zderzenia dla kaonów i protonów, oraz czterech energii dla antyprotonów. Te dane, wraz z parametrem dopasowania T rozkładu Boltzmana do tych rozkładów pozwalają na przedstawienie właściwych wyników fizycznych analizy. W przypadku zależności parametru T od energii zderzenia widoczne jest, że system Ar+Sc zachowuje się wyraźnie różnie od systemów małych (p+p i Be+Be), za to podobnie do systemów dużych (Au+Au, Pb+Pb). Stosunek produkcji kaonów dodatnich do pionów dodatnich także wyraźnie różni się od tego obserwowanego dla małych systemów. Z drugiej strony choć wartość bezwzględna tego stosunku jest porównywalna do wartości dla systemów dużych, nie występuje tu charakterystyczny dla nich tzw. „horn”, czyli wyraźny pik i niemonotoniczna zależność tego stosunku od energii. Następnie pokazane są dokładne porównania otrzymanych rozkładów i przewidywań modelowych, z którego wynika, że żaden z zaproponowanych modeli (EPOS, PHSD i SMASH) nie opisuje danych w sposób satysfakcjonujący. Podsumowując, wyniki uzyskane w rozprawie stanowią ważny element szerszego programu badawczego eksperymentu NA61/SHINE, polegającego na przeprowadzeniu analizy produkcji cząstek w funkcji energii zderzenia i rozmiaru zderzanych jąder. Stawiają one nowe wyzwania przed modelami teoretycznymi, i pozwolą być może na lepsze poznanie diagramu fazowego materii jądrowej.

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

W rozprawie zamieszczono 3 dodatki. W pierwszym zdefiniowano użyte w pracy wielkości oraz opisano standardowy układ odniesienia w eksperymencie. Dodatek B opisuje planowaną rozbudowę i zwiększenie możliwości pomiarowych eksperymentu w kolejnej sesji zbierania danych. W dodatku C zebrano w postaci tabel wartości liczbowe wszystkich zmierzonych krotności, wraz z podaniem niepewności statystycznych i systematycznych.

W rozprawie przedstawione są unikatowe wyniki analizy, które w bezpośredni sposób wpisują się w główny nurt programu fizycznego eksperymentu NA61/SHINE, to znaczy są naukowo istotne. Skomplikowana analiza została przeprowadzona uważnie i starannie. Należy podkreślić, że została ona przeprowadzona w całości, to znaczy uzyskano w pełni skorygowane ostateczne wyniki, które następnie zostały bezpośrednio porównane z przewidywaniami modelowymi. Wszystko wskazuje więc na to, że wyniki te powinny zostać opublikowane w czasopiśmie naukowym, w rozprawie brak jednak informacji na temat tego czy taka publikacja istnieje, lub jest planowana. Doktorant jest współautorem wielu publikacji eksperymentu NA61/SHINE, w tym publikacji [70] dotyczącej analiz produkcji pionów w zderzeniach Ar+Sc. Była to jednak analiza wykorzystująca jedynie identyfikację w TPC. Nie ulega wątpliwości, że Doktorant spełnia wymogi stawiane doktorantom dotyczące liczby publikacji w znaczących

czasopismach naukowych. Mimo iż analiza została przeprowadzona w ramach dużej międzynarodowej współpracy badawczej, nie ulega wątpliwości, że indywidualny wkład Doktoranta był ważny i wyraźnie zdefiniowany.

Niektóre elementy rozprawy wymagają dodatkowego wyjaśnienia:

Na rysunku 2.9 przedstawiono przykładowy histogram depozycji energii z jonizacji w TPC zmierzonych dla klastrów przypisanych do pojedynczej trajektorii, jako ilustrację procedury odrzucania klastrów o największych wartościach depozycji energii. W tekście rozprawy w dyskusji tej procedury napisano, że odrzucane jest 50% klastrów danej trajektorii o najwyższych depozycjach energii. Wydaje się, że jest to wartość zbyt wysoka, a w szczególności jest ona niezgodna z samą ilustracją.

Na rysunku 5.5 przedstawiono schematycznie wybór próbek zderzeń najbardziej centralnych stanowiących 10% wszystkich zderzeń, które są utożsamiane ze zderzeniami w których zarejestrowano największą depozycję energii w detektorze PSD. Czy w procedurze wyboru uwzględniana jest wydajność rejestracji detektora PSD, a w szczególności jej potencjalna zależność od centralności?

Na stronie 49 stwierdzono: „... the maximal bias on the final result introduced by the centrality selection is estimated to be less than ...”. Jest to stwierdzenie nieprecyzyjne. Nie wiadomo do czego odnosi się wyrażenie „wynik końcowy” („final result”) i w jaki sposób mógłby on być zaburzony przez wybór centralności, stąd nie można też ocenić, czy rzeczywiście ten wpływ jest mniejszy niż pozostałe niepewności.

W tabeli 6.4 na stronie 79 przedstawiono, użyte później n.p. na rysunku 6.19, wartości parametru dopasowania T dla rozkładów kaonów ujemnych i dodatnich w funkcji energii zderzenia. Jednak w dyskusji nie przedstawiono interpretacji tych zależności. Dlaczego wartość ta zmienia się z energią zderzenia? Czy należy ją traktować po prostu jako temperaturę (w domyśle – temperaturę systemu, z którego emitowane są cząstki)? Jeśli tak, to dlaczego jest różna dla dwóch rodzajów kaonów? Jeśli nie, to jakie jest znaczenie zależności na rysunku 6.19? Inaczej mówiąc – jakie jest nasze rozumienie znaczenia fizycznego parametru dopasowania T ?

Na rysunku 6.21 pokazano, że rozkłady pędu poprzecznego dla kaonów znacząco różnią się pomiędzy danymi, a przewidywaniami z trzech modeli. Jednak na rysunku 6.22 porównano całkowitą produkcję kaonów dla pospieszności w pobliżu zera, która jest całą z rozkładów pędu poprzecznego, z przewidywaniami modelowymi. Takie porównanie wydaje się bezzasadne, biorąc pod uwagę niezgodność samych rozkładów pędowych.

W porównaniu danych modelowych i wyników eksperymentalnych ograniczono się jedynie do suchego wymienienia różnic i podobieństw rozkładów. Nie wnosi to wiele do dyskusji – czytelnik sam może te porównania wykonać patrząc na rysunki. Przykładem może być rysunek 6.24 (ale podobne uwagi można mieć do wszystkich zależności omówionych w rozdziale 6.6). Widać na nim wyraźnie, iż jeden z modeli, PHSD, znacznie lepiej odtwarza zależność parametru nachylenia od energii zderzenia, podczas gdy przewidywania modeli EPOS i SMASH znacząco odbiegają od pomiarów. W tekście rozprawy jedynie zauważono ten fakt, bez wyciągnięcia jakichkolwiek wniosków, czy zaproponowania hipotezy, w jaki sposób te rozbieżności potencjalnie wynikają z różnic w fizycznych procesach uwzględnionych w samych modelach. Dane zaprezentowane na rysunku 6.24 i ogólnie w sekcji 6.6 stanowią istotę wyników rozprawy i czytelnik ma nadzieję, że wynika z nich nietrywialny wniosek fizyczny. Jednak w tekście rozprawy brakuje jego jasnego sformułowania.

W rozprawie sporadycznie występują błędy językowe i literówki (np. „amaunt” zamiast „amount”, czy „spices” zamiast „species”).

Wymienione uchybienia nie wpływają jednak negatywnie na odbiór pracy. Jest ona przygotowana starannie od strony edytorskiej. Rysunki są duże i czytelne oraz jasno opisane. Podział na rozdziały i wybór materiałów zawartych w dodatkach jest logiczny. Dzięki temu

rozprawa w sposób wystarczający i klarowny prezentuje wyniki analizy i w sposób poprawny je interpretuje.

Podsumowując uważam, że recenzowana rozprawa mgr Piotra Podlaskiego spełnia wymagania stawiane przed rozprawami doktorskimi i wnoszę o dopuszczenie Autora do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Adam Kisiel