

Recenzja rozprawy doktorskiej Yasira Ali
Feasibility studies for open charm measurements
with NA61/SHINE experiment at CERN-SPS

Przedmiotem recenzowanej rozprawy jest zbadanie możliwości rejestracji mezonów D^0 , poprzez rejestrację hadronowych produktów rozpadu: kaonu i pionu, w eksperymencie NA61/SHINE. W pierwszej części recenzji podane zostaną uwagi dotyczące aktualności i znaczenia podjętej tematyki fizycznej oraz adekwatności metody eksperymentalnej do realizacji założonego celu. Następnie omówiona będzie treść pracy, a w konkluzjach powiedziane zostanie, czy zdaniem recenzenta cel został osiągnięty.

Zderzenia ciężkich jonów w obszarze energii relatywistycznych badane są głównie w celu eksploracji diagramu fazowego oraz obserwacji i analizy własności przejścia od stanu materii hadronowej do nowego stanu materii – plazmy kwarkowo-gluonowej. W ciągu wielu lat tych badań zmieniała się jednak interpretacja różnych obserwowanych efektów z punktu widzenia ich jako sygnałów przejścia fazowego. Jest to wynikiem zarówno złożoności badanego procesu, jak i tego, że większość pomiarów odnosi się do końcowych produktów reakcji, na charakterystyki których wpływało wiele czynników w czasie rozwoju procesu zderzenia. Dlatego szczególnie ważne jest, by pomiary dotyczyły takich cząstek, które niosą możliwie jednoznaczne informacje o mechanizmach ich produkcji i emisji.

Cząstki zawierające w swym składzie ciężkie kwarki stanowią dobrą sondę do badania pierwszych stadiów reakcji. Szczególnie cenna jest możliwość równoczesnego pomiaru cząstek o ukrytym i odkrytym powabie, bowiem efekt tłumienia pierwszych powiązany jest ze zwiększoną produkcją drugich. Pomiary neutralnych mezonów D , zawierających w swym składzie kwark powabny, możliwe są poprzez analizę naładowanych produktów ich rozpadu: pionu i kaonu. Krótki czas życia mezonu D^0 sprawia jednak, że punkt rozpadu odległy jest o dziesiąte części milimetra od punktu zderzenia i jednoznaczna identyfikacja wierzchołka wtórnego nie jest zadaniem prostym.

Eksperyment NA61/SHINE jest jednym z kilku, które poświęcone są badaniu zderzeń ciężkich jonów w obszarze energii relatywistycznych. Jest szczególnie użyteczny do eksploracji diagramu fazowego, bowiem posiada możliwości pomiarów zarówno dla różnych energii zderzenia, jak i dla różnych mas zderzających się jąder. Zapewnienie możliwości pomiarów mezonów D w tym eksperymencie byłoby ważnym krokiem naprzód w eksperymentalnych badaniach zderzeń ciężkich jonów. **Dlatego należy stwierdzić, że przedmiot badań podjętych w tej pracy dotyczy aktualnych zagadnień fizyki, a eksperyment NA61/SHINE jest adekwatnym sposobem realizacji założonego celu.**

Praca liczy 85 stron, zawiera 92 pozycje literatury oraz jeden załącznik. Wstęp stanowi klasyczne wprowadzenie w tematykę zderzeń relatywistycznych ciężkich jonów, z użyciem takich pojęć, jak: swoboda asymptotyczna, uwięzienie kwarków, przejście fazowe do stanu plazmy kwarkowo-gluonowej, diagram fazowy, temperatura krytyczna, potencjał barionowy oraz innych pojęć które charakteryzują zjawiska poszukiwane/badane zarówno od strony eksperymentalnej, jak i teoretycznej. Zamieszczono rysunki obrazujące diagram fazowy oraz

rozwój procesu zderzenia w czasie i przestrzeni. Zaznaczono obszary gazu hadronowego i plazmy kwarkowo-gluonowej oraz linie odpowiadające chemicznemu i termicznemu wymrożeniu. Wyróżniono dwa scenariusze: z kreacją i bez kreacji plazmy. Zwrócono uwagę na relacje pomiędzy chemicznym i termicznym wymrożeniem wspominając model krakowski, gdzie oba te procesy występują równocześnie. Wstęp kończy się konkluzją, że eksploracja diagramu fazowego odpowiada energiom akceleratora SPS, a szczególnie wartościowe informacje można uzyskać badając rzadkie procesy, jak te z produkcją cząstek zawierających ciężkie kwarki których przykładem są mezony D.

Szczegółowemu omówieniu motywacji fizycznej podejmowanej pracy poświęcony jest rozdział drugi. Zwykle zakłada się, że produkcja ciężkich kwarków następuje w pierwszej fazie reakcji, kiedy mamy do czynienia ze środowiskiem partonowym. Oddziaływania rzadziej produkowanych ciężkich kwarków w tym środowisku prowadzą do tłumienia produkcji cząstek J/ψ w skład których wchodzi kwark i antykwark powabny, a wzmocnienia produkcji cząstek o powabie odkrytym jak mezony D, w skład których wchodzi też lżejsze kwarki. Z drugiej strony, modele statystyczne, które nieźle opisują dane doświadczalne, zakładają produkcję mezonów J/ψ zgodnie z dostępną przestrzenią fazową, a oddziaływania na późniejszym etapie hadronizacji mogą stanowić alternatywne wyjaśnienie tłumienia J/ψ . Pewnej informacji o produkcji mezonów D mogą dostarczyć dane dotyczące pomiarów układów leptonowych, np. wzmocnienie produkcji di-mionów zaobserwowane w eksperymencie NA60 można powiązać ze wzrostem produkcji mezonów o odkrytym powabie. Wszystkie te różnice w wynikach pomiarów i ich interpretacji wskazują na potrzebę uzyskania danych pochodzących z bezpośrednich pomiarów produkcji cząstek o ukrytym i odkrytym powabie wykonanych w tych samych warunkach eksperymentalnych. Jest to argument za podjęciem tematu, któremu poświęcona jest omawiana rozprawa.

Następny rozdział poświęcony jest opisowi eksperymentu NA61/SHINE (SPS Heavy Ion and Neutrino Experiment). Układ pomiarowy eksperymentu jest modyfikacją i rozszerzeniem detektora eksperymentu NA49. Program eksperymentalny jest bardzo bogaty i dotyczy analiz dla całego szeregu zderzających się jąder i dla wielu energii zderzenia w zakresie (13-158) GeV na nukleon. Opisana jest konstrukcja i działanie poszczególnych elementów układu detekcyjnego oraz pokrótce sposoby rekonstrukcji trajektorii cząstek i metody ich identyfikacji.

Kolejny rozdział przedstawia szczegóły wykonanych symulacji komputerowych. Obliczenia wykonano z użyciem modelu AMPT (A Multi-Phase Transport model), który jest hybrydowym modelem włączającym elementy pochodzące z kilku modeli odpowiadających kolejnym fazom przebiegu reakcji: warunki początkowe określone zgodnie z modelem HIJING, oddziaływania partonów według modelu ZPC, proces hadronizacji w ramach modelu „Lund String Fragmentation”, rozpraszanie hadronów w końcowym stadium reakcji zgodne z relatywistycznym modelem transportu ART. Wybór modelu nie ma tu jednak zasadniczego znaczenia, bo w pracy nie chodzi o porównanie wyników eksperymentalnych z przewidywaniami określonych teorii fizycznych, ale o zbadanie, czy wyniki te będą możliwe do uzyskania w realnych warunkach eksperymentalnych. Ważne jest więc, aby model w realistyczny sposób oceniał prawdopodobieństwo produkcji mezonów D^0 i w tym celu wybrano takie modele, które dobrze opisują dostępne dane doświadczalne.

Następnym elementem modelowania i oceny jest możliwość przypisania zarejestrowanych mezonów K oraz pi cząstkom pierwotnym, czyli mezonom D^0 . Długość rozpadu rzędu dziesiątych części milimetra wymaga bardzo precyzyjnego detektora wierzchołkowego. W celu modelowania propagacji cząstek w przestrzeni i materiale detektora zastosowano pakiet

GEANT4, w który wpisano przyszły detektor wierzchołkowy ze wszystkimi założonymi detalami jego planowanej struktury. Analizowano gęstość śladów na powierzchni poszczególnych warstw detektora wierzchołkowego, szczególnie warstwy pierwszej, gdzie gęstość śladów będzie największa. Określono też niezbędne rozmiary detektora. Ważnym zagadnieniem jest także odporność detektora na uszkodzenia radiacyjne wskutek znacznej dawki deponowanej podczas długotrwałej pracy. Temu zagadnieniu poświęcony jest także oddzielny dodatek.

Rekonstrukcja śladów i identyfikacja poszukiwanego mezonu D^0 , to zasadniczy element rozwiązania problemu. Trzeba nie tylko zrekonstruować ślady w detektorze wierzchołkowym, ale także powiązać je z tymi, zarejestrowanymi w TPC, aby określić ich pędy i je zidentyfikować. Celem ostatecznym jest identyfikacja mezonu D^0 i eliminacja ogromnego tła kombinatorycznego. W algorytmie wyznaczania trajektorii posłużono się transformacją Hougha, co jest właściwą techniką dla znalezienia najlepszych prostych łączących punkty na poszczególnych warstwach detektora wierzchołkowego. Z kolei do redukcji tła zastosowano cięcia zarówno dla charakterystyk jednocząstkowych, jak i dla rekonstruowanej cząstki. W rezultacie uzyskano radykalne zmniejszenie tła o wiele rzędów wielkości przy nieznacznym zmniejszeniu sygnału. Opisano także wyniki analizy dokładności wyznaczania położenia punktów na powierzchni czynnej detektora uzyskując bardzo dobre wyniki rzędu dwóch mikrometrów.

W dyskusji rezultatów i podsumowaniu pokazano, że z użyciem detektora wierzchołkowego w analizowanej wersji możliwa jest rejestracja mezonów D^0 w kanale rozpadu na pion i kaon. Rozpatrzono dwa przypadki: z identyfikacją produktów rozpadu i bez identyfikacji. W pierwszym przypadku uzyskano bardzo silną redukcję tła, w drugim wynik jest znacznie gorszy. Ocenę wykonano dla zderzeń jąder ołowiu i dwóch energii: maksymalnej tj. 158 GeV na nukleon oraz dla 40 A GeV. Wykonano też analizę dla zderzeń jąder argonu przy 158 A GeV.

Wyznaczono stosunek sygnału do tła, oraz wydajność rejestracji. Końcowy wniosek zawiera stwierdzenie, że rejestracja mezonów D^0 poprzez analizę rozpadu w kanale pion-kaon, jest wykonalna przy uzupełnieniu układu pomiarowego o precyzyjny detektor wierzchołkowy.

Jeden element pozostawia niewielki znak zapytania. Wydaje się, że parametry geometryczne detektora wierzchołkowego: pozycje poszczególnych elementów - odległość od tarczy i odległości wzajemne, przyjęto w analizach „ad hoc”, jako z góry zadane. Nie sprawdzono, czy inna konfiguracja byłaby korzystniejsza. Dla przykładu - w detektorze „Heavy Flavor Tracker” eksperymentu STAR przyjęto zwiększające się odległości wzajemne, a pierwszy element umieszczono bardzo blisko osi wiązek (punktu zderzenia). Może warto przed rozpoczęciem konstrukcji detektora wierzchołkowego, wybrać optymalne wartości... Uwaga ta nie zmienia jednak ogólnie pozytywnej opinii o całości przeprowadzonych w tej pracy analiz.

Podsumowując stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa spełnia wszystkie wymagania stawiane w przewodach doktorskich i wnoszę o dopuszczenie jej autora do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Jan Pluta