

Recenzja rozprawy doktorskiej  
mgr Wiolety Rzęsy  
*Non-identical Femtoscopy of Pairs Containing Deuteron  
and Interaction Studies of Nucleons with Strange Matter*

Tematem rozprawy doktorskiej mgr Wiolety Rzęsy jest eksperymentalna analiza korelacji pędowych między parami cząstek emitowanych w relatywistycznych zderzeniach jądrowych. Badania prowadzone są w ramach współpracy ALICE na zderzaczach LHC w CERN-ie. Promotorami rozprawy są Adam Kisiel i Georgy Kornakov.

Korelacje femtoskopowe między nieidentycznymi cząstkami mogą być użyte do oszacowania rozmiaru obszaru emisji pary cząstek. W analizie bierze się pod uwagę wpływ oddziaływań w stanie końcowym między dwoma emitowanymi cząstkami. Dla pary cząstek, gdzie dobrze znane jest wzajemne oddziaływanie, otrzymujemy oszacowanie rozmiaru emisji na podstawie siły efektu oddziaływań w stanie końcowym. Korelacje femtoskopowe mogą też służyć do pomiaru parametrów oddziaływań. Jest to szczególnie ważne dla cząstek dziwnych, gdzie trudne jest przeprowadzenie bezpośrednich pomiarów dla rozpraszania i stanów związanych. Pomiar korelacji z deuteronom daje oszacowanie obszaru emisji dla deuteronów, co może pomóc w określeniu mechanizmu ich produkcji w relatywistycznych zderzeniach jądrowych.

Główna część rozprawy oparta jest na analizach eksperymentalnych współpracy ALICE. Wyniki jednej z tych analiz zostały już opublikowane w *Phys. Lett. B*. Wyniki dwóch analiz są przedmiotem przygotowywanych kolejnych publikacji współpracy ALICE. Analiza przedstawiona w rozprawie doktorskiej zawiera też wyniki dwóch prac, których doktorantka jest współautorką, a które nie są publikacjami grupy ALICE. Pani mgr Rzęsa przedstawiała wyniki grupy ALICE na konferencjach międzynarodowych, redagowała noty wewnętrzne eksperymentu ALICE dotyczące prowadzo-

nych analiz. Rozprawa jest napisana w języku angielskim. Zawartość i rozkład treści są dobrze rozplanowane. Pierwsze dwa rozdziały zawierają krótkie wprowadzenie do fizyki relatywistycznych zderzeń jądrowych oraz opis eksperymentów i podstawowych technik eksperymentalnych. Ta część dokumentuje dobrą znajomość tematyki relatywistycznych zderzeń jądrowych przez autorkę. Następne trzy rozdziały opisują w szczególności przeprowadzone analizy i ich wyniki. Tekst jest zrozumiały dla czytelnika, chociaż skorzystałby na korekcie językowej i stylistycznej.

Wszystkie przedstawione wyniki eksperymentalne dotyczą zderzeń Pb-Pb przy energii  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02\text{TeV}$ . W rozprawie zawarte są wyniki dla korelacji pion-deuteron, proton-deuteron, kaon-proton, kaon-deuteron. Rozdział 4 opisuje metody otrzymywania korelacji dwucząstkowych z danych eksperymentalnych. Autorka opisuje przyjęte warunki selekcji śladów, używane cięcia kinematyczne dla zidentyfikowanych cząstek i wreszcie konieczne poprawki. Poprawki oszacowane są z symulacji detektora, poprzez porównanie antydeuteronów z deuteronami, modelowanie niegausowości źródła, korelacji niefemtoskopowych i skończonej rozdzielczości pędowej pomiaru. Przyjęte założenia są uzasadnione ograniczeniami eksperymentalnymi. Metody korekty wyniku opierają się na obliczeniach modelowych. Jedyna wątpliwość dotyczy wyboru cięcia dla pędu poprzecznego kaonów w korelacjach kaon-proton (Rys. 4.1). Na rysunku widoczne są dwa przyczynki do rozkładu kaonów, nie jest jasne co to oznacza i dlaczego obszar powyżej  $0.45\text{GeV}/c$  jest odrzucony. W tekście zasugerowano, że mamy mieszankę dwóch źródeł. Jeżeli są dwa fizyczne źródła kaonów, to dlaczego jedno odrzucamy? W analizie ten przyczynek jest traktowany jedynie jako źródło błędu systematycznego.

W kolejnym rozdziale omówione są końcowe wyniki dla funkcji korelacji i rozmiaru źródła. Większość wyników dotyczy nowatorskich analiz dla korelacji z deuteronem. W oddziaływaniach pionów i deuteronów dominują oddziaływania elektrostatyczne dla  $\pi^+$ , dla  $\pi^-$  uwzględnione są też oddziaływania silne w modelu Lednickiego-Lyuboshitsa. Przyjęto modelową wartość parametrów oddziaływania, a w wyniku dopasowania do zmierzonej funkcji korelacji otrzymano rozmiar emisji dla pary pion-deuteron. Dla otrzymania rozmiaru źródła emisji dla deuteronów, konieczne jest określenie, poprzez ekstrapolację danych eksperymentalnych, rozmiaru źródła dla pionów o małych pędach. Procedura ekstrapolacji rozmiaru źródła pionów jest znaczącym przyczynkiem do błędu systematycznego dla rozmiaru źródła deuteronów.

Analiza korelacji proton-deuteron jest trudniejsza, ze względu na silne oddziaływa-

nia. Metoda Lednickiego-Lyuboshitsa nie jest wystarczająca, co widać z porównania do pełnego rozwiązania równania Schrödingera dla układu proton-deuteron (obliczenia modelowe są częścią publikacji, której doktorantka jest współautorką). Jednak w rozważanym zakresie kinematycznym oba podejścia dają podobne wyniki. Końcowe wyniki eksperymentalne dla rozmiaru źródła są otrzymane z przybliżonego modelu Lednickiego-Lyuboshitsa. Innym modelem użytym w rozprawie jest rozwiązanie trójciałowe, pełniej opisujące układ trzech nukleonów w oddziaływaniu proton-deuteron. Oba modele mogą opisać wyniki eksperymentalne przy odpowiednim doborze parametrów źródła. Autorka twierdzi, że podejścia dwu- i trójciałowe dają podobne wyniki dla funkcji korelacji w zderzeniach jądrowych, inaczej niż dla oddziaływań zderzeń proton-proton. Wydaje się jednak, że pełny model trójciałowy jest ogólniejszy. Autorka analizy eksperymentalnej nie stawia wniosków co do mechanizmu produkcji deuteronów. Czy jednak te wyniki nie wskazują na słuszność modelu koalescencyjnego, który jest uproszczonym opisem pełnej dynamiki układu trójciałowego?

Analiza korelacji kaon-proton służy do określenia parametrów oddziaływania kaon-proton. Dopasowano model Lednickiego-Lyuboshitsa do eksperymentalnej funkcji korelacji. Otrzymane rozmiary źródła są spójne z wcześniejszymi wynikami otrzymanymi dla femtoskopii protonów i femtoskopii protonów z osobna. Oszacowana część rzeczywista i urojona długości rozpraszania  $K^-p$  są zgodne z modelami teoretycznymi. Funkcja korelacji kaon-proton może być też opisana za pomocą modelu uwzględniającego kanały sprzężone w oddziaływaniu kaon-proton (tzw. model Kyoto). Na Rys. 5.26 nie jest jasne dla którego modelu podane są rozmiary źródła. Zmierzone korelacje kaon-deuteron są głównie analizowane w modelu Lednickiego-Lyuboshitsa. Dopasowane parametry oddziaływania  $K^+$  i  $K^-$  z deuteronami są w zgodności z istniejącymi oszacowaniami teoretycznymi. Również w tym przypadku można zmierzyć rozmiar źródła emisji pary kaon-deuteron.

Sprawdzenie skalowania rozmiaru źródła z masą poprzeczną nie jest oczywiste dla korelacji par nieidentycznych. Dla pary różnych cząstek nie ma jednoznacznego przepisu na określenie masy efektywnej pary. Różne wzory dają sprzeczne wyniki. Natomiast rozmiar źródła deuteronów, otrzymany po odjęciu rozmiaru źródła drugiej cząstki, nie skaluje się z masą poprzeczną, tak jak dla innych cząstek. Czy oznacza to, że mechanizm produkcji deuteronów jest inny niż prostych hadronów i dlatego ich rozmiar jest większy?

Rozprawa doktorska Pani mgr Wiolety Rzęsy zawiera szereg nowych i bardzo in-

interesujących wyników eksperymentalnych. Przeprowadzono analizę dla kilku par nieidentycznych cząstek i antycząstek. Pomiary pozwoliły na określenie rozmiaru źródła emisji dla deuteronów. Innym ciekawym wynikiem jest otrzymanie parametrów oddziaływania efektywnego kaon-proton i kaon-deuteron. Z pełnym przekonaniem mogę stwierdzić, że te wyniki stanowią kompletną analizę istotnego i aktualnego problemu naukowego w dziedzinie fizyki zderzeń ciężkich jonów. Doktorantka miała zasadniczy wkład w analizach eksperymentalnych i w przygotowanie końcowych wyników. Opracowanie tych wyników potwierdza specjalistyczną wiedzę doktorantki w technikach eksperymentalnej fizyki wysokich energii.

Wyniki naukowe otrzymane przez Panią Wioletę Rzęsę są ciekawe, są wynikiem analizy i opracowania zaawansowanego problemu badawczego. Doktorantka wykazała się odpowiednią wiedzą i osiągnięciami. Stwierdzam, że przedstawiona rozprawa spełnia wszystkie wymagania ustawowe stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie mgr Wioletę Rzęsę do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska Pani Wiolety Rzęsy zawiera szereg ciekawych, nowatorskich wyników naukowych. Na wyszczególnienie zasługują unikalne analizy korelacji hadronów z deuteronami. Ranga otrzymanych nowych wyników eksperymentalnych upoważnia mnie do zgłoszenia wniosku o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pani mgr Wiolety Rzęsy.

Piotr Bożek