



Ocena rozprawy doktorskiej Wiolety Rzęsy
Non-Identical Femtoscopy of Pairs Containing Deuteron
and Interaction Studies of Nucleons with Strange Matter

Recenzowana rozprawa przygotowana pod kierunkiem prof. dr hab. Adam Kisiela oraz dr hab. Georgy Kornakova prezentuje doświadczalne badania korelacji femtoskopowych, czyli korelacji par cząstek z małymi pędami względnymi, następujących układów: pion-deuteron, proton-deuteron, kaon-proton oraz kaon-deuteron. Cząstki produkowane były w zderzeniach jąder ołowiu przyspieszanych w Wielkim Zderzaczu Hadronów (LHC), a rejestrowane z pomocą układu detektorowego ALICE. Projekt doktorski był realizowany w ramach dużej międzynarodowej współpracy ALICE, w której Wioleta Rzęsa wraz z całą grupą z Politechniki Warszawskiej od lat uczestniczy.

Zawartość rozprawy

Rozprawa napisana w języku angielskim liczy 200 stron formatu zbliżonego do A5. Składa się poza krótką przedmową ze wstępu, czterech rozdziałów, zwięzłego podsumowania i spisu literatury. W tekście rozprawy znajdujemy także listę publikacji, do których doktorantka wniosła duży wkład, granty i nagrody, które uzyskała, a także listę jej wystąpień konferencyjnych.

Wstęp wprowadzający w problematykę rozprawy zaczyna się od objaśnienia, czym jest Model Standardowy cząstek elementarnych i chromodynamika kwantowa – teoria silnych oddziaływań. Dalej autorka pisze o oddziaływaniach hadronów, czyli cząstek, które właśnie silnie oddziałują, i o sposobach poznania natury tych oddziaływań. Kolejne fragmenty pokrótce przedstawiają fizykę zderzeń relatywistycznych jąder atomowych, podstawy femtoskopii, a także mechanizmy produkcji lekkich jąder atomowych, szczególnie deuteronów.

Następny rozdział 3 prezentuje eksperyment ALICE, a więc Wielki Zderzacz Hadronów (LHC) oraz niezwykle rozbudowany układ detekcyjny ALICE, składający się z licznych detektorów. Znajdujemy tutaj również skrótowy opis elementów układu, a również metody zbierania i procesowania danych doświadczalnych.

Rozdział 4 poświęcony jest temu, co, jak rozumiem, stanowiło główne zajęcie doktorantki, czyli złożonemu procesowi analizy zebranych eksperymentalnych danych. Autorka przedstawia kryteria wyboru przypadków oraz wyrafinowane metody wprowadzania rozlicznych poprawek, spowodowanych ograniczeniami układu detekcyjnego. Opisana jest tutaj także metoda numerycznego dopasowywania przewidywań teoretycznych do danych doświadczalnych.

Kolejny rozdział 5 jest sercem rozprawy – znajdujemy tutaj w kolejnych podrozdziałach uzyskane wyniki fizyczne dotyczące femtoskopowych korelacji w układach: pion-deuteron, proton-deuteron, kaon-proton oraz kaon-deuteron. Każdy podrozdział zaczyna się opisem stanu wiedzy na temat danego układu i teoretycznych przewidywań, a po prezentacji wyników znajdujemy ich zwykle szczegółową dyskusję i interpretację.

Przedostatni 6 rozdział rozprawy, po którym następuje jej podsumowanie, opisuje eksperymentalne niepewności różnego typu i oceny ich wielkości, które prowadzą do błędów, jakimi obciążone są uzyskane wyniki fizyczne.

Najważniejsze wyniki rozprawy

W przypadku wszystkich czterech badanych układów, a więc pion-deuteron, proton-deuteron, kaon-proton oraz kaon-deuteron, uzyskane zostały funkcje korelacji dla kilku klas centralności zderzeń. W układach z mezonem – pionem lub kaonem – wyznaczono funkcje korelacji zarówno dla mezonu dodatniego jak i ujemnego.

Wszystkie uzyskane funkcje korelacji porównano z przewidywaniami teoretycznymi, co pozwoliło przedstawić oceny wielkości źródła, z którego cząstki pochodziły. Przeanalizowano wielkość tych źródeł cząstek w funkcji centralności zderzenia i skonfrontowano otrzymane wyniki z rezultatami uzyskanymi z innych funkcji korelacji.

Analiza układów K^-p , K^-d i K^+d pozwoliła wyznaczyć, co szczególnie cenne, długości rozpraszania cząstek, które w przypadku ujemnych mezonów są wielkościami zespolonymi. Wyznaczone długości rozpraszania skonfrontowano z przewidywaniami teoretycznymi.

Ocena rozprawy

Rozprawę doktorską Wiolety Rzęsy oceniam bardzo wysoko. Uzyskano w niej oryginalne, wręcz pionierskie wyniki doświadczalne o dużej wartości poznawczej. Jakkolwiek wyniki te są autorstwa wielkiego międzynarodowego zespołu realizującego eksperyment ALICE, kluczowy wkład doktorantki w ich otrzymanie nie budzi wątpliwości.

Godne podkreślenia jest zaangażowanie mgr Rzęsy nie tylko w uzyskanie i analizę danych doświadczalnych, ale również w ich porównanie z przewidywaniami teoretycznymi. Wioleta Rzęsa jest współautorką dwóch prac teoretycznych, których rezultaty pomogły zinterpretować uzyskane wyniki doświadczalne.

Oceniana rozprawy ma klarowną strukturę, jest jasno napisana, wyczerpująco odnosi się do źródeł, wskazując na dobrą orientację doktorantki w dziedzinie prowadzonych badań. Rozprawa jest starannie przygotowana, niewiele w niej znalazłem literówek.

Dodam jeszcze, że moja dobra ocena dokonań Wiolety Rzęsy nie jest jedynie efektem lektury jej rozprawy, lecz także jej konferencyjnych wykładów, które miałem okazję wysłuchać, a także rozmów z panią Rzęsą odbytych na tych konferencjach, a dotyczących różnych aspektów jej pracy.

Zastrzeżenia i uwagi krytyczne

Zacznę od zastrzeżenia dotyczącego wszystkich analiz korelacji hadron-deuteron, które są prowadzona jedynie w podejściu dwuciałowym. Właściwsze, w moim przekonaniu, a przynajmniej stanowiące ważne uzupełnienie, byłoby zastosowanie podejścia trójciałowego, które przechodzi w dwuciałowe, jeśli przyjąć, co jest uzasadnione

w przypadku dużych źródeł, że funkcja falowa układu trzech cząstek faktoryzuje się na funkcję falową deuteronu i funkcję falową ruchu hadronu względem deuteronu, zgodnie ze wzorem (18) z mojej pracy, która w rozprawie jest cytowana pod numerem [121]. Obliczenia funkcji korelacji są wówczas dokładnie takie same jak w podejściu dwuciałowym, jedynie promień (gaussowskiego) źródła nukleonów różni się o czynnik $\sqrt{4/3}$ w stosunku do źródła występującego w podejściu dwuciałowym. Pojawia się jednak jedna zasadnicza różnica – otrzymana funkcja korelacji nie wymaga znajomości funkcji źródła deuteronu. Do wyznaczenia funkcji korelacji potrzebne są funkcje źródła danego hadronu i nukleonu.

W przypadku korelacji proton-deuteron funkcja korelacji jest zatem określona jedynie przez funkcję źródła nukleonów, która jest dobrze znana dzięki wielokrotnie prowadzonym pomiarom korelacji proton-proton. W podejściu trójciałowym ze wspomnianą powyżej faktoryzacją nie pojawia się więc problem określenia funkcji źródła deuteronów, którą w podejściu dwuciałowym trzeba wyznaczyć, dopasowując krzywą teoretyczną do funkcji korelacji proton-deuteron. Oznacza to, że w opisie teoretycznym pojawia się wolny parametr.

Przedstawiona kwestia jest istotna ze względu na wskazanie mechanizmu produkcji deuteronów w zderzeniach relatywistycznych jonów, a więc problem, do którego autorka kilkakrotnie nawiązuje w rozprawie. Odtworzenie funkcji korelacji proton-deuteron z pomocą dobrze znanych funkcji źródła nukleonów i parametrów rozpraszania proton-deuteron, a więc bez żadnych parametrów swobodnych, byłoby ważkim wskazaniem, że deuterony powstają na skutek oddziaływań w stanie końcowym zderzenia, czyli zgodnie z mechanizmem koalescencji. Dodam jeszcze, że wykonanie takiej analizy wymagałoby jedynie kosmetycznych zmian w obliczeniach funkcji korelacji.

Moje najpoważniejsze wątpliwości budzi rozdział 5.5, w którym rozważane jest tzw. skalowanie w masie poprzecznej promienia źródła w przypadku korelacji cząstek nieidentycznych. Trzy rozważane wybory masy skalującej nie mają, jak mi się zdaje, teoretycznego uzasadnienia. Myślę natomiast, że wyjaśnienie problemu jest w istocie zawarte w przytoczonym w rozprawie wzorze (2.6).

Niech cząstki typu a pochodzą z gaussowskiego źródła o promieniu R_a , a cząstki typu b ze źródła o promieniu R_b . (Dokładniej, średni promień kwadratowy jednocząstkowego źródła wynosi, odpowiednio, $\sqrt{3}R_a$ lub $\sqrt{3}R_b$.) Promień tzw. źródła względnego, gdy badamy korelacje cząstek a i b wynosi $R_{ab} = \sqrt{R_a^2 + R_b^2}$, co właśnie jest wzorem (2.6) w rozprawie. Skalowanie w masie poprzecznej promienia źródła jest cechą określonego typu cząstek, a więc a lub b . Oznacza to, że promień R_a jest funkcją masy poprzecznej cząstki a , czyli $\sqrt{m_a^2 + p_{\perp a}^2}$, gdzie m_a jest masą spoczynkową cząstki a , a $p_{\perp a}$ jej pędem poprzecznym. Wzór (2.6) rozprawy jednoznacznie określa zależność promienia R_{ab} od promieni R_a i R_b , a tym samym zależność od mas i pędów poprzecznych cząstek a i b . Nie ma tu więc miejsca, jak myślę, na spekulowanie, a wprowadzone pojęcie średniego pędu poprzecznego dwóch cząstek o bardzo różnych masach wydaje mi się mało fizycznie uzasadnione.

Przechodząc do mniej istotnych kwestii, jest w rozprawie trochę niepoprawnych bądź niefortunnych stwierdzeń. Pozwolę sobie wskazać kilka ważniejszych przykładów.

Stała sprzężenia QCD zależy od skali pędowej nie dlatego, że QCD jest teorią nieAbelową, jak napisano na stronie 6, lecz dlatego, że teoria wymaga renormalizacji. W elektrodynamice kwantowej, która jest teorią Abelową, stała sprzężenia zależy skali pędowej, choć w przeciwieństwie do QCD, stała sprzężenia rośnie, a nie maleje wraz ze wzrostem pędu.

Nie jest prawdą, jak autorka pisze na stronie 10, że eksperymenty rozproszeniowe z pociskiem i tarczą są ograniczone do cząstek naładowanych. Tak jest faktycznie w przypadku wiązek pierwotnych. Wykorzystując natomiast tzw. wiązki wtórne można badać rozpraszanie cząstek neutralnych. W ten sposób uzyskano moc danych dotyczących rozpraszania neutronów na protonach.

Gdy mówimy o nierównowagowej fazie zderzenia, jak na stronie 14, nie należy posługiwać się pojęciem temperatury, które odnosi się do stanów równowagi termodynamicznej. Można natomiast mówić o gęstości energii.

Straty energii nawet w jednorodnym ośrodku nie są liniową funkcją drogi przebytej przez tracący energię parton, o czym mowa na stronie 17. Radiacyjne straty energii, odgrywające kluczową rolę w zjawisku tłumienia dżetów, zależą od drogi w przybliżeniu kwadratowo.

Parametr zderzenia to nie jest odległość między środkami zderzających się cząstek, jak napisano na stronie 18. Jeśli tak to formułować, to trzeba dodać, że jest to odległość między środkami zderzających się cząstek w momencie ich maksymalnego zbliżenia się do siebie. Podobnie niefortunne jest określenie osi y stosowanego układu współrzędnych. Oś tę definiuje się jako prostopadłą do płaszczyzny reakcji. Prostopadłość do osi wiązki jest niewystarczająca.

Nie jest prawdą, o czym mowa na stronie 22, że jednowymiarowa funkcja źródła zakłada jednoczesną emisję cząstek. Jednowymiarowość oznacza, że promień źródła jest wielkością efektywną i określa odległość między emitowanymi cząstkami, wynikającą z odległości między punktami emisji, a także przebytej drogi cząstki, która jest wcześniej wyemitowana.

Podjęcie statystyczne nie wymaga, by protony i deuterony były produkowane niezależnie od siebie, jak napisano na stronie 37. To jest kwestia sformułowania modelu. Stosując zespół kanoniczny, nie zaś wielki kanoniczny, można wprowadzić zachowanie ładunku barionowego i wówczas produkcja protonów nie jest niezależna od produkcji deuteronów.

Podsumowanie i konkluzja

Mimo pewnych uwag krytycznych bardzo dobrze oceniam recenzowaną pracę. Spełnia ona merytoryczne, formalne i zwyczajowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Wnoszę więc o dopuszczenie mgr Wiolety Rzęsy do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

