

2017 -05- 11 *MBi.*

dr hab. inż. Adam Kisiel, prof. PW

Warszawa, 9.05.2017

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr Volhy Charviakovej p.t.
„Hadron-hadron interferometry in nucleus-nucleus collisions at 1.9A GeV”

Recenzowana rozprawa dotyczy korelacji dwucząstkowych typu pion-pion oraz proton-proton, zmierzonych w zderzeniach Al+Al oraz Ni+Ni przy energii wiązki 1.9A GeV. Przedstawione w niej badania eksperymentalne zostały wykonane przy pomocy spektrometru FOPI znajdującego się w laboratorium GSI w Darmstadt. Uzyskano funkcje korelacyjne dla obu typów par i zaobserwowane korelacje wynikające z (anty-)symetryzacji funkcji falowych dla identycznych cząstek, a także korelacje będące rezultatem oddziaływania silnego i kulombowskiego. Dane poddano analizie i otrzymano rozmiary systemu w funkcji całkowitej energii kinetycznej pary, jej pędu poprzecznego oraz rozmiaru zderzanego systemu. Wyniki dla protonów rozważano w ramach modelu Koonina. Przedstawione badania są unikalne i rozszerzają zestaw danych dotyczących rozmiaru systemu przy relatywnie małych energiach zderzenia. W tym sensie jest ona istotnym wkładem do badań nad rozmiarem i dynamiką systemu tworzonego w zderzeniach ciężkich jonów.

Rozprawa napisana jest w języku angielskim i podzielona jest na 6 rozdziałów. Pierwsze trzy to część opisowa pracy, w pozostałych trzech zawarto opis analizy danych wykonanych w ramach pracy i dyskusję wyników tej analizy.

Rozdział 1 przedstawia historyczny wstęp do tematyki interferometrii intensywności. Rozpoczyna się opisem techniki opracowanej przez Hanbury-Browna i Twissa dla korelacji fotonów w astronomii. Następnie pokazuje jak technika ta została zaadoptowana do fundamentalnie innego problemu badawczego jakim są korelacje hadronów identycznych w zderzeniach ciężkich jonów. Rozdział pokazuje, że doktorantka starannie przestudiowała historię techniki pomiarowej. Wskazane są też najważniejsze różnice pomiędzy pomiarami w astronomii i fizyce zderzeń jonów.

Rozdział 2 wprowadza formalizm interferometrii, który jest używany w pracy. Podane są definicje używanych zmiennych oraz samej funkcji korelacyjnej. Opisane są podstawowe mechanizmy prowadzące do korelacji pion-pion, z podaniem ich wzajemnych relacji oraz podkreśleniem, że mechanizm interferencji jest tu dominujący. Następnie mechanizmy te są wykorzystane do stworzenia funkcji korelacyjnej oraz jej analizy. Nacisk położony został na związek otrzymywanych wyników z dynamiką reakcji. Podstawowym procesem jest zmniejszanie się mierzonego rozmiaru systemu wraz ze wzrostem pędu poprzecznego pary. Został on poprawnie wyjaśniony i następnie użyty w interpretacji danych. Oddzielnym istotnym tematem omówionym pod koniec rozdziału są korelacje par protonów. Tu formalizm jest znacznie bardziej skomplikowany, ze względu na konieczność rozważania jednocześnie wszystkich rodzajów oddziaływań (interferencji dla cząstek identycznych, oddziaływania silnego i kulombowskiego), gdyż żadnego z nich nie można zaniedbać. Oznacza to konieczność stosowania numerycznych metod dopasowywania funkcji w analizie danych eksperymentalnych. Na koniec podano krótkie wprowadzenie pojęcia eksperymentalnej funkcji korelacyjnej. W rozdziale zawarto informacje będące podstawą teoretyczną wyników przedstawionych w dalszych rozdziałach. Są to informacje wystarczające do zrozumienia dalszych części pracy.

Rozdział 3 stanowi techniczny opis układu eksperymentalnego użytego w pracy, to jest spektrometru FOPI oraz jego elementów i konfiguracji w różnych okresach zbierania danych. Opisano kompleks akceleracyjny oraz sesje zbierania danych, które potem są wykorzystane do analiz w pracy. Szczegółowo opisany został detektor kluczowy dla analiz, to znaczy Central Drift Chamber (CDC). Na podkreślenie zasługuje fakt, że opisano nie tylko samą budowę detektora.

Omówiono również szczegóły procesu rekonstrukcji danych na różnych poziomach złożoności. Pokazano, które elementy tego procesu mogą znacząco wpłynąć na analizę danych. Jest to istotne szczególnie w procesie analizy korelacji dla cząstek o bliskich pędach – niektóre efekty detektorowe, szczególnie dotyczące „śladów lustrzanych” (mirror tracks) mogą w sposób znaczący i bardzo specyficzny wpływać na wyniki analiz. Omówienie w tym rozdziale było wystarczająco szczegółowe dla uzasadnienia kryteriów wyboru danych opisanych w dalszych rozdziałach. Podsumowując w pierwszych trzech 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 4 rozpoczyna się opis właściwych analiz eksperymentalnych, będących istotą pracy. Najpierw omówiono selekcję próbek danych oraz kryteria wyboru właściwych zderzeń oraz ich podział ze względu na krotność zarejestrowanych cząstek. Wprowadzono procedurę rekonstrukcji płaszczyzny reakcji. Następnie skupiono się na procedurach dotyczących poszczególnych torów. Wyjaśniono proces identyfikacji cząstek i związane z tym ograniczenia na dostępne pędy poprzeczne cząstek.

W rozdziale 5 omówiono wyniki dotyczące korelacji dwóch protonów. Zmierzono funkcje korelacyjne dla zderzeń $Al+Al$ i dwóch klas centralności zderzeń $Ni+Ni$. Uzyskany rozmiar systemu zależy liniowo od liczby uczestników (participants) zderzenia. Wykonano też analizę zależności rozmiaru od pędu poprzecznego systemu oraz całkowitej energii kinetycznej. W obu przypadkach rozmiar systemu maleje ze wzrostem pędu (energii), jednak spadek jest wyraźnie silniejszy dla pierwszej zależności. Analiza danych została wykonana starannie, pokazane są jej wszelkie etapy. Wyniki dla promieni obarczone są pełnymi niepewnościami systematycznymi i statystycznymi. Porównanie z danymi dla innych energii wykazuje, że otrzymane wyniki kontynuują trendy znane z wcześniejszych eksperymentów. W szczególności widać wyraźnie znaczenie dynamiki systemu, której wpływ zwiększa się z energią zderzenia.

Rozdział 6 prezentuje wyniki korelacji pionów. Tym razem zderzenia $Ni+Ni$ zostały podzielone na trzy klasy centralności, a analiza została także wykonana w trzech wymiarach (tzw. układzie odniesienia LCMS). Tu także wyraźnie widać wzrost rozmiaru systemu (zarówno jednowymiarowego jak i oddzielnie w każdym z trzech kierunków) z liczbą uczestników. Interesująca jest też analiza zależności od pędu poprzecznego pary. Znowu wyraźnie obserwowany jest spadek rozmiaru z pędem. Jest to zgodne z hipotezą dużego znaczenia dynamiki reakcji. Obserwowane rozmiary są też znacznie większe niż dla protonów. Ciekawe byłoby porównanie rozmiarów pionów i protonów na jednym wykresie, np. w funkcji masy poprzecznej, aby zweryfikować, czy zależność jest podobna dla obu typów cząstek. Wyniki porównano z danymi z innych eksperymentów i stwierdzono zgodność z wcześniej wyznaczonymi trendami. Należy podkreślić, że wyniki z tej rozprawy mają niepewności znacząco mniejsze niż te dla większości wcześniejszych pomiarów.

Podsumowując w rozprawie przedstawione są unikalne wyniki starannie przeprowadzonej zaawansowanej metodologicznie analizy eksperymentalnej. Została ona wykonana w funkcji krotności, pędu poprzecznego oraz całkowitej energii kinetycznej. Analiza jest kompletna, t.j. określono wszelkie niepewności w niej występujące. Brak jednak w rozprawie szerszej dyskusji w jaki sposób niepewność systematyczna została oszacowana. Porównanie z danymi z innych eksperymentów (czyli dla innych systemów zderzanych, innych energii zderzenia, itp.) wykazuje, że analiza ta wpisuje się w szerszy program badawczy zderzeń przy pośrednich energiach. Wnioski z niej są istotne w szczególności dla kluczowego zagadnienia badawczego t.j. dynamiki reakcji przy tych energiach zderzenia. Znaczenie to byłoby jednak znacznie bardziej podkreślone, gdyby w pracy znalazły się porównania z przewidywaniami teoretycznych modeli zderzenia. Takich jednak w rozprawie brak. Wydaje się też, że analiza jest na tyle zaawansowana, że powinna zostać opublikowana jako praca kolaboracji FOPI. W rozprawie brak jednak informacji czy taka

publikacja powstaje.

W rozprawie znajduje się szereg uchybień, które wymienię.

W rozdziale 2 niezbyt starannie zostały potraktowane definicje zmiennych. W szczególności zdarza się, że ta sama zmienna jest definiowana wielokrotnie, w różnym znaczeniu i nie jest konsekwentnie używana w całej pracy. Na przykład na stronie 28 zmienna „ q ”, fundamentalna dla całej analizy femtoskopowej, zdefiniowana jest jako „relative momentum of the pair” (zgodnie z konwencją przyjętą zwykle w literaturze), a zaraz potem, na stronie 29 stwierdza się „ q denotes half of the relative momentum of the pair”, gdzie w literaturze zwykle używa się w tym przypadku symbolu „ k ”. Na stronie 34 ta sama niejasność prowadzi do wyraźnego błędu, gdzie zmienna q_{inv} jest poprawnie zdefiniowana jako wartość pędu względnego, a błędnie opisana jako „połowa pędu względnego”. Dodatkowo stwierdzono, że zmienna skalarna q_{inv} jest równa („is equal to”) zmiennej wektorowej q , co jest błędem. Podobnie w tym samym rozdziale wprowadzone jest pojęcie rozmiaru uśrednionego po wszystkich kierunkach R_{inv} , jednak nie zostało ono nawet zdefiniowane. Tymczasem jest pożądane nie tylko jego zdefiniowanie, ale również przeprowadzenie krótkiej dyskusji o jego interpretacji i różnicach pomiędzy tą wielkością, a rozmiarami (również oznaczanymi symbolami R) w analizie trójwymiarowej.

Niejasne i potencjalnie wewnętrznie sprzeczne jest stwierdzenie zawarte na stronie 36, że cząstki błędnie zidentyfikowane jednocześnie redukują korelację („reduces the strength of correlation”) i prowadzą do zwiększenia efektu („leads to enhancement at low relative momentum”).

Na stronie 43 pojawia się stwierdzenie, że dystrybucja referencyjna odpowiada prawdopodobieństwu jednocząstkowemu, co jest niejasne. Bardziej poprawne stwierdzenie to iloraz prawdopodobieństw, a właściwie spłot dwóch jednakowych rozkładów prawdopodobieństwa.

Na rysunku 4.9 w dwóch dolnych panelach nie ma linii dopasowania do punktów niebieskich. Czy to celowe? A jeśli tak, to czym zostało spowodowane?

W rozdziale 5 zabrakło bardziej szczegółowego opisu procedury uzyskiwania niepewności systematycznych. Stąd trudno oszacować ich poprawność. Co najmniej należałoby podać główne składniki niepewności, a także podać wszelkie źródła niepewności, który były rozważane, nawet te które ostatecznie nie wnoszą żadnego wkładu do wartości niepewności.

Na stronie 45 odwołanie powinno być do sekcji 3.2, a nie 2.2.

Praca jest przygotowana starannie od strony edytorskiej. Rysunki są duże i czytelne oraz jasno opisane. W pracy zdarzają się pojedyncze literówki i drobne błędy językowe, jednak nie wpływają one na odbiór pracy. Pewne zastrzeżenie budzi jednak decyzja o tym, by nie przygotowywać rozprawy w standardowym w dziedzinie fizyki i matematyki formacie typu LaTeX. W szczególności zastosowany format w znacznie uboższy i przez to mniej czytelny sposób formatuje wzory matematyczne, gdyż nie stosuje standardowo przyjętych konwencji używania czcionek pochyłych oraz pogrubienia oraz istotnych oznaczeń matematycznych takich jak symbol wektora. Na przykład nie jest jasne, czy we wzorze na p_t na stronie 108 użyto sumy wektorowej czy skalarnej pędów poszczególnych cząstek. Jest to wyjątkowo odczuwalne przy studiowaniu rozdziału 2, prezentującego skomplikowany matematycznie formalizm, który dodatkowo w nietrywialny sposób łączy stosowanie zmiennych skalarnych, wektorowych i czterowektorowych. Mimo przedstawionych uwag uważam, że rozprawa w sposób wystarczający i klarowny prezentuje wyniki analizy i w sposób poprawny je interpretuje.

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

Adam Kisiel