



Prof. dr hab. Marek Kowalski

Kraków, 10 stycznia 2026

Recenzja rozprawy doktorskiej pani mgr.

Valerii Zelina Reyna Ortiz pt. Multiplicity Fluctuations in Relativistic Heavy Ion Collisions (Negatively charged hadron intermittency analysis on Xe+La collisions in NA61/SHINE at CERN SPS)

Badanie diagramu fazowego QCD jest jednym z głównych tematów badań w dziedzinie fizyki zderzeń ciężkich jonów. Eksperyment NA61/SHINE zgromadził szeroki zbiór danych umożliwiających systematyczne studia własności silnie oddziałującej materii jądrowej, jak niemonotoniczne zależności korelacji i fluktuacji w zależności od rozmiarów i energii zderzających się jąder. Szczególnie interesującym jest poszukiwanie tzw. punktu krytycznego QCD. Jednym z narzędzi statystycznych używanych w analizie zderzeń relatywistycznych jąder atomowych jest intermitencja, czyli badanie zachowania skalowanych momentów faktorialnych rozkładów krotności w dwuwymiarowej przestrzeni pędu poprzecznego.

Przedstawiona do oceny rozprawa zawiera wyniki analizy intermitencji ujemnie naładowanych hadronów w centralnych zderzeniach Xe+La przy pędach wiązki 13A, 19A, 30A, 40A, 75A i 150A GeV/c. Należy zaznaczyć, że o ile tradycyjna analiza intermitencji w celu poszukiwania punktu krytycznego była prowadzona dla protonów, w rozprawie doktorskiej pani mgr. Valerii Zelina Reyna Ortiz została ona rozszerzona na hadrony ujemnie naładowane. Jest to aspekt nowatorski rozprawy. Rozprawa składa się z 8 rozdziałów uzupełnionych trzema dodatkami, oraz bibliografią.

Rozdział 1 zawiera wprowadzenie, w którym przedstawiono podstawowe pojęcia Modelu Standardowego oraz Chromodynamiki Kwantowej. Następnie przedyskutowano diagram fazowy silnie oddziałującej materii ze szczególnym uwzględnieniem przejścia fazowego pomiędzy gazem hadronowym a plazmą kwarkowo-gluonową. Przedstawiono w nim także strategię poszukiwań punktu krytycznego oraz badane obserwacje.



Rozdział 2 jest wprowadzeniem do analizy intermitencji w fizyce wysokich energii. Po wprowadzeniu kluczowego dla analizy pojęcia skalowanych momentów autorka przedstawia pierwsze wyniki analizy intermitencji przeprowadzone we wczesnych eksperymentach na SPS oraz RHIC. Jedną z głównych motywacji wykonania analizy prezentowanej w Rozprawie są wyniki otrzymane przez eksperyment STAR na RHIC. Współpraca STAR poszukiwała punktu krytycznego QCD przy użyciu analizy intermitencyjnej dla wszystkich naładowanych cząstek w zderzeniach Au+Au w zakresie energii $\sqrt{s_{NN}} = 7.7 - 200$ GeV. Wynik zespołu STAR zostały zinterpretowane jako związane z istnieniem punktu krytycznego, aczkolwiek autorzy zastrzegają, że wymagają one dalszych badań. Autorka stawia tu istotną kwestię, że formalna definicja wielkości $\Delta F_T(M)$, analiza której doprowadziła do wyników uzyskanych przez eksperyment STAR nie została otrzymana w matematycznie poprawny sposób, tak że problem dlaczego wykazuje ona rosnący trend pozostaje otwarte. Eksperyment NA61/SHINE przeprowadził analizę intermitencji dla protonów zarówno przy użyciu dotychczasowo używanych, jak i nowych obserwacji, tzw. zmiennych kumulatywnych. Wyniki dla zderzeń Ar+Sc nie wykazują potęgowej zależności, czy wzrostu z rosnącym M^2 . Autorka nadmienia także o dyskutowanym przez teoretyków możliwym wpływie korelacji HBT (znanych kiedyś jako efekt Goldhaberów, czy Kopyłowa-Podgoreckiego), przytaczając konkluzję, że wymaga to dalszych studiów.

Rozdział 3 to opis programu badań zderzeń ciężkich jonów na SPS w CERNie, oraz opis aparatury pomiarowej eksperymentu NA61/SHINE. W rozdziale tym zwarta jest także informacja o sposobie rekonstrukcji torów i wierzchołków oddziaływań a także skrótowy, z natury rzeczy, opis Monte-Carlo detektorowego, używanego do wyznaczenia poprawek na różne efekty, jak wydajność i akceptacja detektora czy wydajność różnych algorytmów rekonstrukcyjnych.

Rozdział 4 jest opisem metodologii. Autorka prezentuje definicje obserwacji użytych w analizie. Eksperyment NA61/SHINE zaproponował nowy sposób podejścia do problemu podziału na próbki M . Zamiast używać dla każdego podziału M pełnej próbki danych w eksperymencie NA61/SHINE używa się niezależnych próbek dla każdego punktu. W dyskutowanej analizie, oprócz używania niezależnych próbek, stosowana jest także metoda kumulatywnej transformacji, usuwająca problem zależności momentów a także użycie dwucząstkowej mapy akceptancji z wykorzystaniem cięć na odległość dwóch śladów w oparciu o ich pęd.



Autorka powraca także do wspomnianego wcześniej problemu związku korelacji dwucząstkowych w wynikach analizy intermitencji

Rozdział 5 to szczegółowy opis wyboru przypadków i śladów, dyskusja jakości wiązki z wykorzystaniem detektorów BPD oraz sposobu wyznaczania wierzchołka oddziaływania. Dyskutowana jest także metoda wyznaczania centralności zderzenia, a w dalszej części dyskusja niepewności systematycznych.

Główne wyniki analizy zamieszczone są w Rozdziale 6. Dotyczą one skalowanych momentów faktorialnych rzędu 2, 3 i 4. Badana jest zależność tych momentów od liczby podziałów M^2 w przestrzeni pędów poprzecznych używając podziałów w p_T i kumulatywnym p_T . Analizowano również zachowanie wielkości $\Delta F_r(M)$ i $\Delta F_r(M)_c$. Zbadano także zależności od energii wiązki.

Rozdział 7 to porównanie z modelami. Doktorantka zdecydowała się na dwa modele – EPOS i Power-law. W celu wiarygodnego porównania w symulacjach użyto pełnego łańcucha symulacji detektorowej i rekonstrukcji. Takie porównanie z modelami jest istotne dla zrozumienia, czy obserwowane efekty mogą pochodzić od konwencjonalnych mechanizmów. Prezentowane w rozprawie wyniki pokazują, że model EPOS nie opisuje zachowania danych. Drugi z dyskutowanych modeli – Power-law używa potęgowego zachowania korelacji między cząstkami w bliskości punktu krytycznego. Również ten model nie opisuje zachowania się danych. Dodatkowe studia przy użyciu modelu Power-law wskazują, że zachowanie się danych istotnie różni się od efektów związanych z istnieniem korelacji krótkozasięgowych.

Podsumowanie i wnioski zamieszczone są w Rozdziale 8. Kluczowym, zdaniem doktorantki, wynikiem jest wykazanie braku korelacji typu power-law, a raportowany przez inne współprace sygnał (wzrost $\Delta F_r(M)$) w podziałach p_T może być związany z występowaniem korelacji typu HBT. Taki wzrost nie jest obserwowany, gdy używamy zmiennych kumulatywnych. Chociaż wyniki otrzymane dla cząstek ujemnych nie były przewidywane jako sygnał obecności punktu krytycznego, badanie momentów faktorialnych dla takich cząstek rozszerza naszą wiedzę i jest użyteczne dla lepszego zrozumienia zachowania się cząstek.

Przedstawione w rozprawie wyniki nie pozwalają odpowiedzieć na pytanie, czy punkt krytyczny istnieje, aczkolwiek wnioski sugerują, że istnienie wielocząstkowych korelacji nie zostało jeszcze do końca wyjaśnione.



INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ
im. Henryka Niewodniczańskiego
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

W recenzowanej Rozprawie nie znalazłem istotnych uchybień. Nieco niefortunnym jest rozrzucenie dyskusji efektów związanych z korelacjami typu HBT po kilku rozdziałach. Utrudnia to czytanie pracy.

Te krytyczna uwaga nie zmienia mojej bardzo wysokiej oceny przedstawionej rozprawy. Poruszony w niej temat jest bardzo ważny z punktu widzenia fizyki oddziaływań wysokich energii. Sama analiza jest wykonana wzorcowo, ukazując dużą biegłość doktorantki w obszarze analizy danych, głęboką wiedzę o detektorach eksperymentu NA61/SHINE, ich możliwościach i ograniczeniach. Doktorantka posiada także głęboką wiedzę fizyczną dotyczącą badanego problemu. Mimo braku wyraźnej ewidencji na istnienie punktu krytycznego, wyniki uzyskane przez doktorantkę są istotne dla lepszego zrozumienia zachowania materii hadronowej i kwarkowej w warunkach ekstremalnych wartości gęstości i temperatury.

Uważam, że rozprawa doktorska pani mgr Valerii Zelina Reyna Ortiz spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie Doktorantki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.