

dr hab. Maciej Rybczyński
Instytut Fizyki
Uniwersytet Jana Kochanowskiego
25-406 Kielce, ul. Uniwersytecka 7

Kielce, luty 2023 roku

**Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr. inż. Sebastiana Siejki
pod tytułem
“Femtoskopia protonów i antyprotonów
w programie Beam Energy Scan eksperymentu STAR”**

Rozprawa doktorska mgr. inż. Sebastiana Siejki została przygotowana pod kierunkiem dr hab. inż. Hanny Zbroszczyk na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej. Dotyczy doświadczalnej analizy korelacji femtoskopowych występujących w parach proton-proton, antyproton-antyproton i proton-antyproton zarejestrowanych przez eksperyment STAR przy Relatywistycznym Zderzaczu Ciężkich Jonów (RHIC) w Brookhaven National Laboratory (BNL) w Stanach Zjednoczonych Ameryki. Analiza została oparta o dane eksperymentalne zebrane w zderzeniach wiązek złoto-złoto przy energiach $\sqrt{s_{NN}} = 39, 27, 19.6, 11.5$ i 7.7 GeV, w programie Beam Energy Scan. Celem przedstawionej rozprawy był pomiar czasowo-przestrzennych rozmiarów źródeł, z których emitowane są cząstki podczas relatywistycznych zderzeń jąder złota w zależności od energii i centralności zderzenia.

Praca doktorska mgr inż. Siejki jest napisana w języku polskim i została poddana dosyć starannej edycji pod względem graficznym. Nie mam większych uwag do strony językowej pracy, ale jednocześnie nie czuję się w pełni kompetentny do oceny rozprawy pod tym względem. Praca liczy 160 stron tekstu wraz z ilustracjami i składa się z jedenastu rozdziałów oraz dwóch dodatków. Zawiera kilkanaście rysunków i tabel oraz spis literatury składający się z 87 pozycji.

W rozdziałach pierwszym i drugim autor zwięźle opisuje zderzenia ciężkich jonów oraz procesy jakie zachodzą w ich trakcie. W rozdziale trzecim przedstawiony jest układ detektorów eksperymentu STAR. Opisano wszystkie jego elementy, najwięcej uwagi poświęcając elementom, które są istotne w procesie gromadzenia danych i przeprowadzenia analizy zawartej z rozprawie. Rozdział czwarty zawiera informacje

na temat procedury selekcji danych w szczególności do identyfikowania zarejestrowanych w detektorach cząstek. W rozdziale piątym autor zwięźle wprowadza czytelnika w teoretyczne podstawy analizy femtoskopowej, opisuje wielkości fizyczne używane w rozprawie do opisu korelacji dwucząstkowych, oraz wymienia mechanizmy dające wkład do wyznaczanych dwucząstkowych funkcji korelacyjnych. Autor wskazuje tu również odnośniki do bogatej literatury dotyczącej korelacji femtoskopowych w wysokoenergetycznych zderzeniach hadronów i jąder atomowych. Modele teoretyczne służące do opisu korelacji dwucząstkowych są opisane w rozdziale szóstym, który stanowi zakończenie fragmentu pracy poświęcone wstępowi teoretycznemu. W rozdziale siódmym autor omawia dotychczas uzyskane wyniki w zakresie korelacji dwucząstkowych. Następnie, w rozdziale ósmym, przedstawia poszczególne etapy prowadzonej przez niego analizy danych – począwszy od badania funkcji korelacyjnych zmierzonych bezpośrednio z danych eksperymentalnych, aż do otrzymania ostatecznych funkcji korelacyjnych z uwzględnieniem takich czynników jak czystość próbki, rozdzielczość detektora czy wpływ cząstek rezydualnych. Ostateczne rezultaty wykonanej analizy autor przedstawia w rozdziale dziewiątym a następnie omawia je w rozdziale dziesiątym pracy. Rozdział jedenasty zawiera wnioski oraz perspektywę kontynuowania przedstawionej analizy w przyszłości. Dodatek A zawiera spis wyznaczonych w trakcie analizy promieni femtoskopowych. W dodatku B przedstawione są graficznie funkcje korelacyjne wyznaczone w ramach analizy wraz z dopasowanymi do nich funkcjami teoretycznymi.

Rozprawa przedstawia interesujący fizyczny rezultat. Dzięki przeprowadzonej systematycznej analizie autor otrzymał rozmiary czasowo-przestrzenne źródeł analizowanych par cząstek w szerokim zakresie energii oraz dla kilku centralności zderzeń (zderzenia centralne (0-10%), „średnio” centralne (10%-30%) i zderzenia peryferyjne (30%-70%)). Liczba uzyskanych wyników jest znaczna. Za szczególnie ciekawe uważam rezultaty dotyczące otrzymania różnych wartości promieni źródeł emitujących cząstki, po zastosowaniu odpowiednich poprawek, co powinno skutkować zniwelowaniem różnic. Pomimo nałożonych korekcji, wyznaczone wartości promieni wciąż nie są zbieżne pomiędzy systemami par cząstek identycznych a systemem par cząstek nieidentycznych. Otrzymane rezultaty otwierają nowe pole do badania mechanizmu oddziaływania silnego między barionami.

Praca jest napisana jasno i dosyć starannie. Pewne niedociągnięcia, które omawiam poniżej nie powodują większego dyskomfortu u czytelnika. Procedury doświadczalne i analizę wyników przedstawiono dosyć szczegółowo. Autor rozprawy jest oczytany w literaturze dotyczącej tematu rozprawy. Cząstkowe rezultaty badań będących przedmiotem pracy zostały dotychczas opublikowane w pięciu pracach konferencyjnych wymienionych we wstępie do rozprawy. Autor przedstawiał wyniki rozprawy w trakcie zjazdów współpracy STAR a także podczas ośmiu konferencji naukowych, w tym prestiżowej Quark Matter 2018 (wystąpienie ustne).

Wbrew temu co autor pisze w rozdziale pierwszym jądra złota nie są sferyczne. Rozkład nukleonów w jądrze złota opisywany jest przez zdeformowany rozkład Woodsa-Saxona z parametrami $\beta_2 = -0.131$ i $\beta_4 = -0.031$ [P. Moller et al., Atomic Data and Nuclear Data Tables 59 (1995) 185-381].

Rozdziały: pierwszy i drugi zostały przygotowane zdecydowanie mniej starannie niż pozostałe rozdziały dysertacji. Na przykład formuły (1.1-1.3) nie są należycie opisane w tekście pracy. Z czego wynika równanie (1.4)? Jednostka masy (strona 29) to GeV/c^2 a nie GeV/c . Co to jest σ^2 w równaniu (3.2). Dodatkowo, na stronie 56 sformułowanie „Gaussowy charakter” brzmi niefortunnie. Na stronie 68: fraza „pomiędzy dwoma cząstkami” powinna pewnie brzmieć „pomiędzy dwoma nukleonami”. W Tabeli 21 na stronie 106: „ $Y < 0.5$ ” -> „ $|Y| < 0.5$ ”. Czy Tabela 21 zawiera spis wszystkich kryteriów dla danych?

W rozdziale szóstym na stronie 71 autor podaje w Tabeli 2 wartości parametrów wejściowych modelu THERMINATOR 2 wyznaczone dla energii BES. Wartości pochodzą z Ref. [68], która jest plakatem przedstawionym na konferencji Quark Matter 2018. Jako że uzyskane parametry wykazują ciekawą, niemonotoniczną zależność od energii a dostępu do Ref. [68] nie mam chciałbym usłyszeć o procedurze wyznaczania tych parametrów w trakcie autoreferatu.

W rozdziale ósmym rozprawy autor przedstawia procedurę eksperymentalnego wyboru przypadków zderzeń, które później używa do analizy. Jako że rozprawa jest typowo doświadczalna należałoby przekonać czytelnika, że dobór odpowiednich wartości parametrów służących do selekcji przypadków jest optymalny dla przedstawianej analizy. Kilka rysunków pokazujących stabilność uzyskanych funkcji korelacyjnych w zależności od kryteriów selekcji przypadków i śladów cząstek w przypadku („stability checks against event and track selection criteria”) na pewno zwiększy jakość rozprawy. Spodziewam się usłyszeć więcej na ten temat w autoreferacie.

W rozdziale jedenastym, na stronie 122 autor pisze: „Wyniki obarczone są znacznymi niepewnościami. Wkład składowej statystycznej został zredukowany dzięki zastosowaniu odpowiednio szerokiego binowania funkcji korelacyjnych (...)”. W jaki sposób szerokość binowania funkcji korelacyjnych wpływa na niepewność statystyczną wyznaczonych promieni?

Podsumowując, uważam że rozprawa doktorska mgr. inż. Sebastiana Siejki zawiera oryginalne i ciekawe wyniki poszerzające naszą wiedzę o korelacjach występujących w procesach produkcji cząstek. Jako że rozprawa spełnia wszelkie formalne wymogi stawiane pracom doktorskim wnoszę o dopuszczenie do jej publicznej obrony.

Maciej Rybczyński
/- podpisany cyfrowo/