

Dr hab. Andrzej Siodmok, prof. UJ  
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej  
Uniwersytet Jagielloński  
Ul. Łojasiewicza 11  
30-348 Kraków  
e-mail: andrzej.siodmok@uj.edu.pl

05.11.2024, Kraków



JAGIELLONIAN  
UNIVERSITY  
IN KRAKOW

Faculty  
of Physics,  
Astronomy  
and Applied  
Computer Science

### Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Alexandra Kevina Gilberta pt.:

*"Correlations between harmonic flow and transverse momentum in pp and p+Pb collisions at the LHC with the ATLAS detector"*

Rozprawa doktorska mgr. Alexandra Kevina Gilberta pt. *"Correlations between harmonic flow and transverse momentum in pp and p+Pb collisions at the LHC with the ATLAS detector"* zawiera analizę korelacji między przepływem, a pędem poprzecznym w zderzeniach proton-proton (p-p) oraz proton-ołów (p-Pb) zarejestrowanych na wiązkach LHC w detektorze ATLAS.

Rozprawa napisana jest w języku angielskim, liczy 149 stron i składa się z siedmiu rozdziałów, po których zamieszczona jest bogata bibliografia licząca 198 pozycji, a na końcu pracy znajduje się czteroczęściowy dodatek.

W rozdziale 1 stanowiącym wstęp do pracy autor najpierw zwięźle przedstawia Model Standardowy cząstek elementarnych oraz opisuje jego Lagrangian. Następnie omawia plazmę kwarkowo-gluonową oraz podkreśla, że można ją badać w wysokoenergetycznych zderzeniach ciężkich jonów. W tym rozdziale autor wprowadza także przydatne do opisu zderzeń ciężkich jonów pojęcia takie jak centralność (centrality), fourierowska analiza przepływu oraz definiuje współczynniki przepływu ( $v_n$ ). Następnie przedstawia przykładowe wyniki pomiarów tych współczynników dla zderzeń p-p oraz p-Pb omawiając je i wskazując, że nie istnieje konsensus skąd biorą się obserwowane korelacje w małych systemach (p-p). Stąd też jedną z motywacji doktoratu Pana Gilberta jest porównanie wyników pomiarów eksperymentalnych uzyskanych w pracy z różnymi obliczeniami teoretycznymi, które między innymi zawierają różne źródła korelacji w stanie początkowym jak i uwzględniają bądź nie uwzględniają kolektywnych efektów plazmy gluonowej. W szczególności autor zwięźle opisuje wykorzystane do porównań z danymi eksperymentalnymi w pracy programy

ul. prof. Stanisława

Łojasiewicza 11

PL 30-348 Kraków

tel. +48(12) 664-48-90

fax +48(12) 664-49-05

e-mail:

wydzial.fais@uj.edu.pl

Monte Carlo Pythia 8 i Epos. W tym rozdziale doktorant definiuje także obserwabla  $\rho(v_n\{2\}^2, [pT])$ , której pomiar w zderzeniach p-p przy energiach 5.02 TeV i 13 TeV oraz zderzeniach p-Pb przy energiach 5.02 TeV jest głównym tematem rozprawy.

W rozdziale 2 mgr Gilbert opisuje ośrodek CERN – tu można zwrócić uwagę na to, że od 30 sierpnia 2024 roku, kiedy to Estonia dołączyła do CERN, ośrodek ten ma już 24 kraje członkowskie, a nie 23 jak jest opisane w tym rozdziale. Następnie autor opisuje Wielki Zderzacz Hadronów i proces przyspieszania w nim hadronów i ciężkich jonów, aż do momentu zderzeń, które następują w detektorach. Autor wspomina główne działające na LHC eksperymenty detektorowe, po czym koncentruje się na budowie detektora ATLAS, z którego dane eksperymentalne zostały użyte do analizy przedstawionej w pracy. Pod koniec tego rozdziału autor opisuje system wyzwalania i akwizycji danych (Trigger And Data Acquisition) omawiając swój wkład w rozwój wyzwalaczy: “Minimum Bias” oraz wysokiej krotności śladów cząstek.

W rozdziale 3 przedstawiona jest metoda analizy danych, która składa się z 8 jasno zdefiniowanych kroków wymienionych w podrozdziale 3.5. W tym rozdziale autor przedstawia też szereg interesujących wykresów. Zastanawiające jest, iż na rys 3.1 wydajność (efficiency) jest pokazana tylko dla  $p_T$  poniżej 2 GeV, ale wyniki końcowe w pracy są też uzyskane dla wyższych pędów poprzecznych. Czy nie było zatem potrzeby policzenie wydajności dla większych wartości pędu poprzecznego i ukazanie jej na tym wykresie? W rozdziale omawiana jest też korekcja q-odchylenia (q-bias correction), czy w tej sekcji q i Q z równania (1.1) to te same obiekty? W podrozdziale 3.4 autor pisze, że fit przedstawiony na rysunku 3.7 jest dla  $N_{\text{tracks}}$  z przedziału 20-200, ale np. na pierwszym wykresie z lewej strony głównie widać dane w okolicy  $N_{\text{tracks}}$  100 (i może też poniżej 20), co jest tego przyczyną?

W rozdziale 4 przedstawiony jest opis danych eksperymentalnych wykorzystanych w analizie. Dane te zostały zebrane przez detektor ATLAS dla zderzeń proton-proton w latach 2015 i 2017 dla dwóch różnych energii zderzenia: 5.02 TeV oraz 13 TeV, jak i dla zderzeń proton-ołów zarejestrowanych w roku 2016 przy energii zderzenia 5.02 TeV. Autor skrupulatnie opisuje różnice między poszczególnymi grupami przypadków zarejestrowanymi w każdym z wyżej wymienionych okresów pracy detektora. Różnice te wynikają między innymi z ze zmian w komponentach detektora jak i zmian w świetlności LHC, która to przekładała się na różnicę w liczby dodatkowych zderzeń (pile-up) stanowiących tło do analizy. Następnie autor bardzo jasno i precyzyjnie opisuje różne kryteria selekcji (trigger selection) i



JAGIELLONIAN  
UNIVERSITY  
IN KRAKOW

Faculty  
of Physics,  
Astronomy  
and Applied  
Computer Science

przedstawia wymagania stawianych śladom cząstek (kryteria HILOOSE i HITIGHT), które będą dalej analizowane. Na końcu pokazuje porównanie danych eksperymentalnych i symulacji Monte Carlo. Są tu pewne małe niezgodności dla danych zebranych w zderzeniach proton-proton przy energii zderzenia 13 TeV. Ciekawym byłoby zrozumienie źródeł tych rozbieżności, jednak jak pisze autor różnice te są mniejsze niż błędy wynikające z systematyki związanej z wydajnością więc nie stanowią zagrożenia dla analizy. W kolejnym rozdziale autor właśnie przechodzi to opisu niepewności systematycznych i statystycznych związanych z analizą. W zależności od grupy sub-przypadków, błędy statystyczne są małe (grupy sub-przypadków 1) oraz znaczące (grupy sub-przypadków 2 i 3). Podobnie błędy systematyczne, głównie związane z wąską selekcją śladów (tight track selections) są mniejsze dla grupy sub-przypadków 1 w porównaniu do pozostałych grup.

Rozdział 6 stanowi kluczową część pracy, w której autor przedstawia i omawia końcowe wyniki analizy. W pierwszej kolejności pokazane są tu rozkłady średniego pędu poprzecznego oraz współczynniki  $c_k$  jako funkcje ilości śladów cząstek. Autor między innymi przedstawia te dane na wykresie 6.1 gdzie oznacza oś x jako  $N_{\text{tracks}}$ , jednak w tekście do ich opisu używa  $N_{\text{ch}}$  ("... the results are presented up to  $N_{\text{ch}}$  about 400 charged particle ..."), dlatego nie do końca jest jasne, która z tych wielkości tak naprawdę jest na osi x wykresów. Przedstawione wyniki są omówione i ilościowo porównane z poprzednimi istniejącymi pomiarami odpowiednich obserwabli. Następnie doktorant przedstawia dwu i cztero-cząstkowe korelacje, a także  $Var(V_n\{2\}^2)_{\text{dyn}}$  w funkcji krotności cząstek naładowanych dla różnych przedziałów pędu poprzecznego, energii zderzenia i dwóch rodzajów zderzających się systemów tj. proton-proton i proton-ołów. Widać, że korelacje te są dość czułe na dolne obciążenie pędu poprzecznego, a także można zobaczyć pewne zależności dla zderzeń protonu z ołowiem, które nie są widoczne w zderzeniach proton-proton (różnice te omawiane są dalej szczegółowo w podrozdziale 6.5). Następnie autor przedstawia korelacje  $cov(V_n\{2\}^2, [p_T])$ , które dla wyższych wartości  $N_{\text{ch}}$  właściwie na wszystkich wykresach zbiegają się do tej samej wartości w przypadku sub-przypadków 2 i 3 (nie jest tak dla sub-przypadków-1, jak twierdzi autor ze względu na istotne dla nich krótko zasięgowe korelacje). W końcu po omówieniu wszystkich komponentów potrzebnych do skonstruowania współczynnika korelacji  $\rho(V_n\{2\}^2, [p_T])$ , przedstawione są wyniki dla tej obserwabli. Autor wspomina, że dla niektórych binów wartości bezwzględna współczynnika korelacji jest większa od 1. Ciekawym byłoby omówienie tej obserwacji bardziej szczegółowo i pokazanie przyczyna takich wartości korelacji, a także jak możemy ją zinterpretować? Autor w tym rozdziale podaje szereg ciekawych obserwacji jednak znacznie łatwiej byłoby je zrozumieć, jeśli przy każdej z nich wskazywany byłby precyzyjnie wykres, na którym dany efekt

ul. prof. Stanisława  
Łojasiewicza 11  
PL 30-348 Kraków  
tel. +48(12) 664-48-90  
fax +48(12) 664-49-05  
e-mail:

wydzial.fais@uj.edu.pl

jest widoczny. Ponadto wykresy są bardzo małe, do tego np. na wykresach 6.16-6.18 znaczące błędy dla zderzeń p-p dla energii 5 TeV jeszcze bardziej je zaciemniają. Ciekawe byłoby omówienie czy jest szansa by w przyszłości te błędy były mniejsze np. poprzez zwiększenie statystyki przypadków pochodzących z przyszłych pomiarów na LHC? Na końcu rozdziału przedstawione jest porównanie przewidywań generatorów Epos i Pythia 8. Widać, że pomimo różnych podejść do opisu fizyki zderzeń, Pythia nie zawiera np. modelowania efektów kolektywnych, a jedyny sposób wzmocnienia tego typu korelacji jest przez model rekonekcji koloru (colour reconnection), Epos natomiast zawiera efekty kolektywne poprzez podejście "core-corona", to jednak oba generatory nie są w stanie opisać wszystkich danych eksperymentalnych sugerując na przykład pewne braki w opisie fizyki odpowiedzialnej za krótko zasięgowe korelacje. Pokazany został też duży wpływ ustawień modelu rekonekcji koloru na korelacje  $\rho(v_n\{2\}^2, [p_T])$  sugerując, że może potrzebne są tu nowe ustawienia modelu lub jego rozwój. Wszystko to pokazuje, iż wyniki pracy mogą być bardzo pomocne w rozwiązaniu problemu wyjaśnienia źródeł niespodziewanych korelacji obserwowanych w małych systemach. By wypełnić moc wykorzystać te dane przez autorów Monte Carlo do ich rozwoju bardzo pomocnym byłoby ich udostępnienie w formacie analizy Rivet, która jest powszechnie używana do przeprowadzenia porównań przewidywań z generatorów Monte Carlo z pomiarami eksperymentalnymi. Interesujące byłoby zrozumienie czy autor planuje udostępnić je w tym formacie. W końcu autor też porównuje otrzymane wyniki dla zderzeń p-Pb z przewidywaniami programu HIJING i IP-Glasma+MUSIC+UrQMD, które jakościowo zgadzają się z danymi eksperymentalnymi.

Merytorycznie niniejsza praca jest na dobrym poziomie. Autor trafnie przedstawił cel i motywację podjętych badań, a co najważniejsze postawione w rozprawie zadania dokonania pomiaru zdefiniowanych obserwabli zakończyły się sukcesem. Praca ma jednak różne drobne braki i niedociągnięcia. Przykładowo w rozdziale 1 można znaleźć pewne literówki, takie jak brak potęgi 2 przy Q w równaniu 1.33, czy też niektóre wykresy mogłyby być lepiej opisane – nie wiadomo na przykład co oznacza Para-I,II,III,IV na wykresie 1.9. Na początku rozdziału 3 zdarzają się małe błędy edytorskie takie jak zdanie: "The simulations and Then, the MC samples undergo", w równaniu 3.6 nie zrozumiał jest apostrof przy indeksie "i" w mianowniku. Nie są to jednak błędy poważne i nie wpływają na merytoryczną część pracy. Od strony kompozycyjno-edytorskiej praca jest na dobrym poziomie z jasnym podziałem na rozdziały, podrozdziały i dodatek, natomiast zdecydowanie za małej wielkości było większość z wykresów i obrazków co bardzo utrudniało analizę wyników. Na szczęście do recenzji była dostarczona wersja cyfrowa pracy, której wybrane elementy można było łatwo powiększyć.



JAGIELLONIAN  
UNIVERSITY  
IN KRAKOW

Podsumowując moim zdaniem rozprawa spełnia wszystkie zarówno zwyczajowe, jak i ustawowe (Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tj. Dz. U. z 2023 r. poz 74 z późn. Zm.)) wymagania stawiane pracom doktorskim. W związku z powyższym, w oparciu o przedstawione argumenty, wnioskuję o dopuszczenie mgr. Alexandra Kevina Gilberta do dalszych etapów postępowania w procedurze nadania stopnia doktora w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizycznie.

Faculty  
of Physics,  
Astronomy  
and Applied  
Computer Science

Kraków, 5 listopada 2024 r.

Dr hab. Andrzej Siódмок, prof. UJ

ul. prof. Stanisława  
Łojasiewicza 11  
PL 30-348 Kraków  
tel. +48(12) 664-48-90  
fax +48(12) 664-49-05  
e-mail:  
wydzial.fais@uj.edu.pl