



4.11.2024, Kraków

Dr hab. Adam Matyja, profesor IFJ PAN
Instytut Fizyki Jądrowej
im. Henryka Niewodniczańskiego
Polskiej Akademii Nauk
ul. Radzikowskiego 152
31-342 Kraków

Recenzja pracy doktorskiej
pana **Alexandra Kevina Gilberta**
pod tytułem „**Correlations between harmonic flow and transverse
momentum in pp and p+Pb collisions at the LHC with the ATLAS
detector**”

przygotowanej pod kierunkiem dr hab. inż. Tomasza Bołda

Głównym celem rozprawy jest zbadanie korelacji pomiędzy składowymi harmonicznymi pływami v_n oraz średnim pędem poprzecznym śladów cząstek $[p_T]$ w trzech systemach zderzeń: pp przy energii zderzenia $\sqrt{s} = 5.02$ i 13 TeV oraz p-Pb przy energii zderzenia $\sqrt{s} = 5.02$ TeV w eksperymencie ATLAS. Jest to ambitny pomiar wymagający wiedzy technicznej oraz dobrego zrozumienia zjawisk fizycznych leżących u jego podstaw.

Godnym uwagi jest pomysł napisania odrębnej części podkreślającej wkład Autora. Stwierdza on, że analiza jest w trakcie rewizji edytorskiej współpracy ATLAS. Szkoda, że nie udało się jej jeszcze opublikować. Zrozumiałym jest fakt, że publikacja w dużej współpracy może trwać nawet kilka lat, począwszy od napisania pierwszego draftu publikacji, do finalnej wersji w czasopiśmie. Autor brał również udział przy rozwoju układu wyzwalania co, rozumiejąc, że stanowiło jego zadanie serwisowe. Wkład ten jest opisany w Rozdziale 2.2.5. Student został również doceniony dwoma międzynarodowymi wystąpieniami konferencyjnymi w roku 2023 i 2024.

Rozprawa napisana jest w języku angielskim. Podstawową jej część stanowi 98 stron. Składają na nią Rozdział 1, czyli Wstęp, w którym zostały opisane po krótko Model Standardowy, asymptotyczna swoboda i diagram fazowy QCD, geometria zderzenia ciężkojonowego, rozwinięcie harmoniczne pływów z wytłumaczeniem rodzajów pływów, metodę obliczania wektora pływów Q_n i istotę korelacji wielocząstkowych, przybliżenie hydrodynamiki relatywistycznej, głęboko nieelastyczne rozpraszanie, metody perturbacyjnej QCD oraz równania ewolucji DGLAP (Dokshitzer-Gribov-Lipatov-Altarelli-Parisi), BFKL (Balitsky-Kovchegov-Fadin-Lipatov), JIMWLK (Jalilian-Marian-Iancu-McLerran-Weigert-Leonidov-Kovner), korelacje pływów z pędem poprzecznym, a także dwa generatory Monte Carlo, tj. PYTHIA i EPOS. Opis ten stanowi dobrą bazę do dalszej lektury i prezentuje dobrą wiedzę doktoranta w zakresie badanego zagadnienia. Na samym końcu rozdziału wyodrębniony jest podrozdział z celem badań, który moim zdaniem powinien się znaleźć na samym początku rozprawy.

Następnie, w Rozdziale 2, Układ Eksperymentalny, opisany jest ośrodek CERN, kompleks akceleratorów przyspieszających na LHC kończąc, eksperyment ATLAS z opisem jego poddetektorów, oraz układ trygera i akwizycji danych. Tutaj Autor opisuje swój wkład techniczny do współpracy ATLAS, dotyczący istotnego dla tego eksperymentu, układu wyzwalania.



INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ
im. Henryka Niewodniczańskiego
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

W Rozdziale 3 przedstawiona jest metoda analizy. Doktorant przedstawia tutaj sposób wyznaczania poprawek do widm śladów oraz ich wpływ na wyniki. Ponadto znajdują się tutaj definicje zmiennych używanych w dalszej analizie (np.: zmodyfikowany współczynnik Pearsona). Autor również pokazuje w jaki sposób uzyskuje finalne rozkłady śladów, które można porównywać z modelami teoretycznymi. Rozdział kończy podsumowanie kroków analizy.

Rozdział 4 poświęcony jest opisowi próbek danych oraz próbek pochodzących z symulacji metodą Monte Carlo. Znajduje się w nim, aż zanadto techniczny, opis selekcji trygera, który czytającemu przypomina notę analityczną. W rozdziale tym opisana jest również używana w analizie selekcja śladów.

Kolejno, mamy rozdział opisujący metodę wyznaczania niepewności pomiarowych, zarówno statystycznych, jak i systematycznych. W najważniejszym Rozdziale 6 opisane są rezultaty analizy, gdzie Autor kolejno przedstawia rozkłady średniego p_T , wariacji p_T uśrednionej po przypadkach (czyli współczynnik c_k), korelacje cząstkowe i wariacje dla 2-giej i 3-ciej składowej harmonicznej, oraz kowariancję i współczynnik Pearsona ρ pomiędzy średnim p_T i harmoniką 2-go i 3-go rzędu. Wszystkie te zmienne przedstawiane są dla zderzeń pp przy energii $\sqrt{s}=5$ i 13 TeV oraz p-Pb dla $\sqrt{s_{NN}}=5$ TeV, dla trzech metod opartych na 1-, 2- i 3-podprzypadkach oraz dla trzech zakresów p_T śladów. Dane są porównane do przewidywań MC pochodzących od generatorów PYTHIA 8 Monash i EPOS.

Ostatnim z rozdziałów jest ten, zatytułowany Wniosek, gdzie doktorant podsumowuje najważniejsze wyniki pracy oraz, po krótko, dyskutuje rezultaty. Dodatkowo mamy przedmowę, listę kontrybucji Autora, abstrakt, spis treści, bibliografię składającą się ze 198 pozycji oraz cztery dodatki, w których znajdują się techniczne aspekty obliczeń współczynników, metody korekty ze względu na efekty detektorowe oraz opis poszczególnych niepewności systematycznych. Rozprawa łącznie liczy 160 stron.

Pan Gilbert w swojej rozprawie prezentuje wykonaną przez niego kompletną oryginalną analizę, która ma wkrótce zostać opublikowana w recenzowanym czasopiśmie. Jego rozprawa doktorska bezsprzecznie dowodzi, że autor dysponuje wszechstronnym warsztatem doświadczalnym w eksperymencie ATLAS. Pomimo, iż Doktorant przedstawił całkiem dobrze swoją analizę, rozprawa nie ustrzegła się od wad. Mam następujące główne uwagi krytyczne. Po przeczytaniu tekstu można zauważyć, że Autor nie jest "native speakerem". Należałoby oddać tekst do korekty, zwłaszcza poprawiając formy trzecioosobowe oraz interpunkcję (np.: brakująca kropka na końcu zdania w drugiej linii na str. 43). Ponadto większość rysunków jest zbyt mała (np.: Rys. 1.20) lub legendy na rysunkach nie da się odczytać bez pomocy lupy (np.: Rys. 3.1). W naukach ścisłych wydaje się także niezrozumiałe używanie w referencjach odnośników do tekstu ze stron www, a nie do artykułów naukowych (np.: Ref. 141-143). W rozprawie brakuje solidnego rozdziału z motywacją, czy pomiary takie były wcześniej zrobione, w innych, niż ATLAS, eksperymentach oraz jakie są/były ograniczenia pomiarowe. Część tych informacji jest rozlana po różnych stronach rozprawy doktorskiej. Przydałaby się odrobinę obszerniejsza dyskusja rezultatów, w tym porównanie z innymi eksperymentami. Autor mógłby również pokusić się o interpretację niektórych wyników.

Poniżej znajdują się szczegółowe uwagi.

1. Abstrakt:

a) Brakujący indeks dolny " $\sqrt{s_{NN}}$ " przy opisie energii zderzenia proton-ołów. Indeks ten informuje nie o całkowitej energii, lecz o energii na parę nukleonów.

2. Rozdział 1:



a) Początek rozdziału jest nieco historyczny i stanowi podstawową wiedzę fizyki cząstek, dlatego pominąłbym większość z dwóch pierwszych stron. Natomiast stanowcze stwierdzenie dotyczące istnienia trzech ładunków koloru: czerwonego, niebieskiego i zielonego jest zwodnicze, gdyż historycznie powstało przez analogię do optyki. Równie dobrze mogą to być ładunki 1, 2, 3.

b) W rozdziale 1.1 brakuje wyjaśnienia co to jest funkcja β dla jednopętlowego diagramu.

c) W tym samym rozdziale Autor wspomina o poszukiwaniach punktu krytycznego poprzez eksperyment RHIC. Brakuje informacji o innych eksperymentach poszukujących tego punktu (np.: NA49/61).

d) W Rozdz. 1.2, co oznacza stwierdzenie "larger QGP is created"? Rozumiem, że chodzi o objętość "fireballa". Proszę o doprecyzowanie.

e) W Rozdz. 1.4, brak definicji „shear i bulk viscosity”.

f) Równanie 1.33: brakująca druga potęga przy Q.

g) Pomimo teoretycznego wprowadzenia dotyczącego "jak" się to robi, brakuje informacji "po co" się to robi. Informacja ta jest, niejako, ukryta w tekście, np. str.72 linia 2 - 4.

3. Rozdział 2: Experimental setup

a) Nieuzasadnione jest wzmianka o odkryciu bozonu Higgsa w rozdziale o budowie aparatury, dodatkowo nie jest to związane z tematem pracy. Jeśli już, to powinno to zostać nadmienione w rozdziale pierwszym.

b) W Rozdz. 2.2 brakuje opisanego kierunku osi z. Pomocny byłby rysunek.

c) W Rozdz. 2.2.1 niedoprecyzowana jest wewnętrzna zdolność rozdzielcza detektorów. Z tekstu wynika, iż jest mierzona w jednostkach μm^2 . Dopiero po wglądzie w referencje dowiadujemy się, że chodzi o zdolność rozdzielczą w kierunku r-phi oraz z.

d) W Rozdz. 2.2.4 brakuje wyjaśnienia co to jest „split” oraz „ β^* ”.

e) Źle podana referencja 188.

4. Rozdział 3: Analysis Method

a) Stwierdzenie "próbka danych symulacji Monte Carlo" brzmi niefortunnie. Należałoby się konsekwentnie trzymać rozdzielania danych rzeczywistych od symulacji wygenerowanych metoda Monte Carlo.

b) Brakująca referencja do generatora HIJING. Ponadto należałoby o nim wspomnieć we wstępie, obok PYTHIA i EPOS.

c) Brak informacji o programie do symulacji detektora, czy jest to GEANT 3 bądź 4, czy też np.: FLUKA.

d) Na str. 47 Autor wspomina "one bin of N_{tracks} is used". Aby zobrazować to, przydałby się rysunek ilustrujący rozkład wspomnianej zmiennej.

e) W Rozdz. 3.1 brakuje informacji o poprawkach dla zderzeń pp przy energii $\sqrt{s}=13$ TeV. Przydatny byłby komentarz w tekście lub odnośnik do Dodatku.

f) W Rozdz. 3.2 pierwszym wspomnianym Dodatkiem jest Appendix C. Powinien on być pierwszym z dodatków w kolejności.

5. Rozdział 4:

a) W pierwszym akapicie na str. 55, Autor nadmienia, że poprawki do tzw. "q-bias" są wyznaczane dla każdej serii pomiarowej (run) lub okresu pomiarowego (np.: pp przy energii $\sqrt{s}=13$ TeV). Brakuje informacji dlaczego tak jest. Przydatny byłby również rysunek pokazujący seria po serii (run-by-run) rozkład "q-bias".

b) Na str. 57 wspomniany jest 1 % odrzuconych śladów. Czy można tę informację otrzymać z jakiegoś rysunku? Ponadto jakiej energii i zderzenia to dotyczy?

c) Rys. 4.1: Opis pionowej osi powinien być: $dN/dN_{\text{trk}} * 1/N_{\text{events}}$



d) Rys. 4.2: Bardzo trudno dostrzec różnice pomiędzy pierwszą i trzecią kolumną rysunków. To, że chodzi o wyniki korelacji 2- lub 4- cząstkowych dowiadujemy się po 4-krotnym powiększeniu rysunku i uważnym przyjrzeniu się opisom osi. Ta informacja powinna znajdować się w podpisie rysunku.

e) Rozdz. 4.2, str. 58. Co to jest "data stream for minimum bias events"?

f) str. 61: Opis selekcji śladów można było umieścić w tabeli. Pozwoliłoby to na błyskawicznie porównanie selekcji HILOOSE i HITIGHT pomiędzy sobą. Ponadto nazwy selekcji są bardzo techniczne i najpewniej używane we współpracy ATLAS.

g) Rys. 4.6-4.8: Brak propagacji statystycznych niepewności pomiarowych w stosunkach wartości MC do danych. Ponadto na rys 4.6-prawy-dół zmienna z_0 : ogony są bardzo źle opisywane przez MC. Czy większa próbka MC by pomogła? Rys. 4.7-lewo-środek-góra zmienna d_0 : kształty są bardzo źle opisywane z różnicą do 50 %. Czy stosuje się poprawki na ten efekt i czy wiadomo dlaczego jest taka różnica MC-dane?

6. Rozdział 5:

a) Rys. 5.2 Brak wy tłumaczenia co jest na osiach

b) Mimo dobrego opisu niepewności brakuje podsumowania w postaci tabeli i przyczynków każdej niepewności, sumarycznych niepewności oraz omówienia przebiegu w zależności od różnych zmiennych. Przede wszystkim brak jest podania wartości niepewności lub jej rzędu.

7. Rozdział 6. Rezultaty:

a) Rys. 6.4 podpis: Powinna być trzecia składowa harmoniczna v_3 .

b) Rys. 6.25 podpis: usunąć z podpisu zmienną $\rho(\dots)$.

c) Rys. 6.26 podpis: usunąć z podpisu zmienną $cov(\dots)$.

d) Rys. 6.27: rysunki dotyczą tylko v_2 a nie v_n .

Podsumowując, uważam, że rozprawa doktorska pana mgr. Alexandra Kevina Gilberta demonstuje jego ważny wkład poprzez analizę danych eksperymentalnych pochodzącą z detektora ATLAS w zrozumienie hydrodynamiki zderzeń układów złożonych i układów binarnych. Krytyczne uwagi zawarte w niniejszej recenzji nie umniejszają wkładu Doktoranta do przedłożonej rozprawy.

W konkluzji stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki określonej w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późn. zm.) i wnioskuję o jej dopuszczenie do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne.

Z poważaniem


Adam Matyja