



Kraków, 06.10.2022

Dr hab. Adam Matyja
Instytut Fizyki Jądrowej
Polskiej Akademii Nauk

**Recenzja rozprawy doktorskiej pani mgr inż. Agnieszki Ogrodnik pt.
„Measurement of photon-induced processes in heavy-ion collisions with the ATLAS
detector”**

wykonanej pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Iwony Grabowskiej-Bold.

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Agnieszki Ogrodnik liczy 128 stron i składa się ze streszczenia w wersji polskiej i angielskiej, siedmiu rozdziałów i bibliografii z 119 pozycjami. Tekst napisano w języku angielskim. W Rozdziale 1 znajduje się ogólny wstęp do pracy, wraz z wymienionymi wszystkimi posterami i referatami doktorantki oraz pracami opublikowanymi w czasopiśmie naukowych i materiałach pokonferencyjnych, na których oparto rozprawę doktorską. W Rozdziale 2 znajduje się opis teoretyczny poszukiwanych przypadków. Rozdział 3 poświęcony jest zderzaczowi LHC oraz detektorowi ATLAS, natomiast w Rozdziale 4 znajduje się obfity opis układu wyzwalań (trygera) eksperymentu ATLAS, użytego w opisanych analizach. Analiza danych dot. ekskluzywnej produkcji par elektron-pozyton znajduje się w Rozdziale 5, a analiza rozpraszania światła na świetle gości w Rozdziale 6. W Rozdziale 7 znajduje się podsumowanie i perspektywy dalszych pomiarów.

Cel pracy

Jest on określony w streszczeniu i we wstępie (Rozdział 1). Jest nim badanie procesów ekskluzywnej produkcji par e^+e^- ($\gamma\gamma \rightarrow e^+e^-$), a także rozpraszania światła na świetle ($\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma$) w ultra-peryferycznych zderzeniach Pb-Pb. Cel jest ambitny, ponieważ są to procesy rzadkie, a co za tym idzie niezwykle trudne w obserwacji. Dodatkową trudność sprawia fakt, iż mamy do czynienia z niskopędowymi elektronami lub miękkimi fotonami, a detektor ATLAS był optymalizowany do rejestracji, idąc za słowami autorki, „wysokoenergetycznych cząstek o pędzie poprzecznym powyżej 20 GeV”. Chociaż we wstępie można by trochę bardziej doprecyzować i podkreślić, że zmierzone są różniczkowe przekroje czynne.

Opis pracy wraz z uwagami

Ostatni akapit **streszczenia**, w wersji polskiej i **abstraktu**, w wersji angielskiej, nie są tożsame. W wersji angielskiej podjęto dyskusje dotyczącą niepewności systematycznych, natomiast w wersji polskiej są one słusznie usunięte. Ponadto, czytając streszczenie odnosi się mylne wrażenie, że przekroje czynne na procesy oddziaływania foton-foton są większe od przekrojów na procesy fotoprodukcji. Powinno to zostać sprostowane i doprecyzowane.

W **Rozdziale 1**, służącym jako wstęp do rozprawy, opisano cel pracy, oraz główny wkład magistantki. Znajduje się tu również akapit poświęcony częstości zbierania danych w zderzeniach proton-proton, lecz nie ma ani słowa o częstości zderzeń Pb-Pb. Nasuwa się pytanie, dlaczego wspomniano tylko o pp (a rozprawa dotyczy Pb-Pb) i w jaki sposób częstość zderzeń różni się dla ciężkich jonów i pp? Podkreślono również wkład do rozwoju układu wyzwalań (trygera). Lecz nie jest jasne czy dotyczyło to tylko zderzeń Pb-Pb czy również pp.



Uzasadnionym wydaje się podanie artykułów bazowych dla rozprawy we wstępie, jednakże wszystkie publikacje współpracy ATLAS oraz publikacje pokonferencyjne autorki, na których oparta jest rozprawa doktorska, powinny się znaleźć w spisie literatury oraz zostać odpowiednio zacytowane w tekście rozprawy. Z niewiadomych powodów, zwłaszcza druga publikacja, nie jest ujęta w spisie literatury, natomiast pod pozycją 40 znajduje się errata do wymienionej publikacji. Ponadto, na konferencji QM 2022 autorka wystawiała poster, a nie wygłaszała referat, co nie zmienia faktu, że lista wystąpień jest imponująca.

W **Rozdziale 2** bardzo pobieżnie opisano Model Standardowy. Przydałoby się tutaj więcej podstawowych informacji o kolorze, neutrinach (o których mowa jest później w kontekście poszukiwań Nowej Fizyki), a także o masach kwarków i leptonów (wzmiankowano tylko związek bozonu Higgsa z masami bozonów Z i W^\pm). Ponieważ rozdział traktuje o wstępie teoretycznym, nieuzasadniony jest opis estymatorów centralności używanych w eksperymencie ATLAS. Powinien on zostać przeniesiony do innego rozdziału, np. Rozdziału 3, unikając w ten sposób niezdefiniowanych zmiennych, jak kąt θ na Rys.2.4, którego definicja znajduje się na str. 29 w Rozdziale 3. Przydałoby się również określić jaki jest układ jednostek używany w rozprawie i konsekwentnie się tego trzymać w opisach osi histogramów.

Natomiast na uznanie zasługuje zwięzły opis zderzeń ultraperyferycznych oraz dostępnych generatorów Monte Carlo. Jednak autorka nie ustrzegła się od niejasności przy opisie prawdopodobieństw oznaczonych jako $P_{fwd}(b)$ (tekst str. 20), $P_{Xn}(b)$ (wzór 2.6 i wzór 2.7) oraz $P_{fin}(b)$ (Rys. 2.6), braku jednostek na osi odciętych (Rys. 2.7) oraz wątpliwości co do oddziałującej cząstki na prawym diagramie Rys. 2.8. Pomocnym byłby również rysunek rozkładu kąтового e^+e^- , kiedy mowa o różnicy w topologii przypadków ekskluzywnej i dysocjacyjnej produkcji par dielektronowych, oraz wyjaśnienie koherentnej i niekoherentnej fotoprodukcji.

Krótki **Rozdział 3** poświęcony jest opisowi akceleratora LHC oraz układowi detekcyjnemu elektronów i fotonów w eksperymencie ATLAS. W opisie LHC autorka skupia się na zbieraniu danych proton-proton, chociaż ze względu na tematykę mile widziany byłby opis łańcucha zbierania danych w przypadkach ciężkojonowych. Ponadto, podawana energia zderzeń na parę nukleonów w układzie środka masy nigdy nie osiągnęła wartości $\sqrt{s_{NN}} = 5.52$ TeV w LHC.

Opis kluczowych dla analiz podzespołów detektora jest bardzo zwięzły, co zasługuje na pochwałę. Zauważyłem jednak kilka pomniejszych błędów, takich jak np.: zabawnie rozwinięty akronim ATLAS, czy brak wyjaśnienia akronimów i roli detektorów AFP i ALFA na Rys. 3.3.

Optymalizacja układu wyzwalania przypadków sygnałowych eksperymentu ATLAS została zawarta w **Rozdziale 4**. Autorka przedstawiła w nim w bardzo systematyczny sposób jakościową zmianę układu wyzwalania używanego podczas kampanii ciężkojonowej z roku 2015 i 2018. Optymalizacja układu trygera eksperymentu jest bardzo ważna. Odpowiednie ustawienia układu wyzwalania skutkują zbieraniem wybranych i właściwych danych, a co za tym idzie możliwość analizy przypadków dielektronowych i dwufotonowych. Autorka rozprawy w bardzo systematyczny sposób pokazała, jak wybrać tryger, aby można było dokonać pomiarów sygnału w szerszym zakresie masy niezmienniczej, zachowując jednocześnie rozsądną częstotliwość zbierania danych (tzw. rate).



Jednak, w tym rozdziale znalazło się trochę nieścisłości. Zastanawiające jest, dlaczego punkty pomiarowe w przedziale 5-6-7 GeV na lewej części Rys. 4.3 mają tak duże niepewności statystyczne, podczas gdy sąsiednie obaczone są znacznie mniejszymi. Różnica jest również widoczna, gdy porównamy wymieniony histogram, z tym na Rys 4.10. Dodatkowo wymieniona jest krzywa z dopasowania do danych, lecz nie podano funkcji, która opisuje dane, nie mówiąc o samej jakości dopasowania (np.: χ^2/ndf). Prawdopodobnie jest to tzw. funkcja błędu (ang. error function, erf), wspomniana w podrozdziale 4.3.3, jednak bez definicji, i/lub odpowiedniego cytowania.

W podrozdziale 4.2.3 do oszacowania liczby przypadków pochodzącej z danego trygera, jest używany czynnik skalujący wynoszący 1.61. Nie znalazłem jednak informacji, w jaki sposób został on wybrany. Zastanawiające jest również, dlaczego energia w kalorymetrze FCal jest ujemna, jak przedstawiono na Rys 4.6. Jest to pozostawione bez odpowiedniego komentarza.

Badając niepewności systematyczne od tzw. „pixel veto” w Rodz. 4.3.4 nie jest jasne skąd wynika wartość niepewności pomiarowej ± 0.005 . Ponadto, Rys. 4.16 jest zawarty w Rys. 4.17 i wydaje się ważnym podanie stosunku dopasowania krzywej przy ustawieniach nominalnych do punktów danych i dopasowania przy innych ustawieniach selekcji, aby uzyskać jasny przekaz.

Opis analizy poszukiwanego procesu $\gamma\gamma \rightarrow e^+e^-$ znajduje się w **Rozdziale 5**. Kolejno przedstawiono tu opisy próbki danych i MC, metodę wyboru elektronów wraz z odpowiednią systematyką, selekcję przypadków sygnałowych oraz studium tła. Zwieńczeniem rozdziału jest pomiar przekroju czynnego w objętości detektora (ang. fiducial cross-section) oraz różniczkowych przekrojów czynnych w czterech zmiennych. Należy podkreślić tu bardzo dobry opis niepewności systematycznych. Jednakże pojawiają się tu również pytania:

- Roz. 5.1: Dlaczego do zbadania przypadków tła pochodzącego od $\gamma\gamma \rightarrow \tau\tau$ nie użyto drugiego generatora MC, tj. SuperChic?
- Roz. 5.2.1: Wymaganie w punkcie 4 („At least one electron, [...]”) jest niejasne. Ponadto badając wydajność rekonstrukcji klastrów poprzez dopasowanie do prawdziwych elektronów użyto warunku $\Delta R < 0.1$. Nasuwa się pytanie jak wpływa na wydajność zmiana tego parametru, ponieważ w detektorze mozaikowym mamy inne kryteria wyboru.
- Dlaczego na Ryc. 5.3 nie zastosowano zmiennego przedziału histogramowania? Rysunek jest mało czytelny, a opis osi zachodzi na jednostki.
- Roz. 5.2.1: W sekcji poświęconej rekonstrukcji elektronów uwidoczniła się rozbieżność między danymi i MC. Wielkość rozbieżności wynosi 10-20%. Jest to stosunkowo duża wartość, lecz pozbawiona komentarza. Dopiero w dalszych sekcjach dowiadujemy się o zastosowaniu czynników skalujących.
- Roz. 5.2.1: Badając niepewności systematyczne pochodzące od czynników skali brakuje informacji o potencjalnych korelacjach w/w czynników, a co za tym idzie, w jaki sposób całkowita niepewność jest wyliczana.
- Roz. 5.3.1: Rysując efektywny przekrój czynny na Rys. 5.17 jeden z okresów zbierania danych, tj. 366994, znacznie odbiega od średniej. Czy jest on wykluczony z dalszej analizy przez kryterium grubego błędu? Brakuje tu odpowiedniego komentarza.
- Roz. 5.4.1: Czy dopasowanie do danych w różnych klasach emisji neutronów, metodą największego prawdopodobieństwa jest jednoczesne? Pozwoliłoby to uzyskać zmniejszenie liczby dopasowanych parametrów i stanowiło dodatkowy test.



- Rys. 5.25: Zielona krzywa nie oddaje wartości otrzymanej z dopasowania (tj.: 0.00 ± 0.02).

Rozdział 6 poświęcony jest analizie rozpraszania światła na świetle oraz wyznaczenia górnych limitów na cząstki spoza Modelu Standardowego. Szkoda, że jest on tak krótki i opisane są tylko wyniki końcowe, bez większych detali. Zakradł się tu jednak błąd dot. centralnej ekskluzywnej produkcji pary fotonów (strona 115). Cząstkami w stanie początkowym nie są fotony.

Po otrzymaniu wspaniałych rezultatów dotyczących pomiarów produkcji par elektronów i fotonów można byłoby się spodziewać szerszej dyskusji wyników skoncentrowanej w osobnym rozdziale. Otrzymujemy jednak podsumowujący **Rozdział 7** z krótkimi konkluzjami i perspektywami dalszych pomiarów.

Redakcja rozprawy

Praca jest napisana zwięźle. Dokument czyta się z zaciekawieniem. Użyty język angielski znacznie poszerza grono dostępnych odbiorców. Jednak czytając ją odnosi się wrażenie, że mimo angielskiego tekstu składnia jest polska. Praca pozbawiona jest w dużej mierze błędów edytorskich. Znalazłem jednak kilka literówek. Ponadto niektóre rysunki mogłyby być większe (Rys. 2.1, 3.1, 5.46 i 5.48), gdyż tekst na nich zawarty jest mało czytelny, a niektóre (jak Rys. 6.3 i 6.4) w całości wypełniają strony, ponieważ jest na to wystarczająco dużo miejsca. Natomiast Rys. 5.8 jest bardzo mało czytelny. W opisie osi rzędnych niektórych histogramów brak konsystencji (np. Rys. 4.8). Raz widnieje opis Entries/0.002, a w pozostałych przypadkach samo Entries.

Podsumowanie

Rozprawa Pani mgr. Agnieszki Ogrodnik opisuje bardzo solidną pracę doświadczalną. Autorka wykazała się znajomością metodologii analizy danych, z dużym naciskiem na sprawdzenie niepewności systematycznych, ale i też przygotowaniem do zbierania danych poprzez optymalizację systemu wyzwalań. Opis teoretyczny, opis analiz oraz liczba wystąpień konferencyjnych wskazują na dużą wiedzę teoretyczną i doświadczalną Kandydatki. Większość wskazanych powyżej uchybień uznaję za redakcyjne, a istotnych merytorycznych uchybień nie znalazłem. Opisaną pracę badawczą oceniam pozytywnie. Nie mam wątpliwości, że przedstawiona **praca w pełni spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim i stawiam wniosek o dopuszczenie Pani mgr inż. Agnieszki Ogrodnik do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

Adam Matyja