

Warszawa, 22 maja 2023 r.

dr hab. Krzysztof Rolbiecki
Instytut Fizyki Teoretycznej
Uniwersytet Warszawski
ul. Pasteura 5
02-093 Warszawa
krolb@fuw.edu.pl

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Magdaleny Kordiaczyńskiej
“In quest of doubly charged Higgs bosons at low and high energies”**

Rozprawa doktorska mgr Magdaleny Kordiaczyńskiej została wykonana pod kierunkiem promotora prof. dr. hab. Janusza Gluzy i promotora pomocniczego dr. Bartosza Dziewita. Rozprawa poświęcona jest perspektywom odkrycia i potencjalnym badaniu właściwości dodatkowych cząstek skalarnych innych niż bozon Higgsa Modelu Standardowego. Autorka opiera swoje rozważania na dwóch modelach teoretycznych: modelu z trypletem Higgsa bez symetrii “opiekuńczej” (custodial) - Higgs Triplet Model (HTM) oraz minimalnym modelu symetrycznym lewo-prawo - Minimal Left-Right Symmetric Model (MLRSM). Praca jest napisana po angielsku, składa się na 109 stronach z 5 rozdziałów (w tym wstępu i zakończenia) i dodatku zawierającego niektóre aspekty techniczne analizy. Bibliografia jest obszerna i liczy 222 pozycje.

Modele badane w rozprawie zawierają skalarne tryplety, których cechą charakterystyczną jest obecność fizycznych pól o ładunku ± 2 . Masa takiego bozonu, w zależności od wartości parametrów potencjału skalarnego i próżniowych wartości oczekiwanych, może być w granicach kilkuset gigaelektronowoltów. To naturalnie prowadzi do pytania, czy możliwe jest zaobserwowanie takich cząstek w obecnych i przyszłych eksperymentach kolajderowych, jak LHC, HL-LHC, FCCee, czyli zderzeniach proton-proton oraz elektron-pozyton. Dodatkową motywacją do badania takich modeli jest możliwość ich powiązania z różnymi mechanizmami nadawania mas neutrinom.

Oryginalne wyniki prezentowane w rozdziale 4 rozprawy bazują na 6 publikacjach (wliczając doniesienia konferencyjne). Dwie pierwsze z tych prac zostały opublikowane w szanowanych periodykach (*Journal of High Energy Physics* i *Physical Review D*), aczkolwiek pochodzą one z 2014 roku, więc są to prace nie najnowsze, jeśli mamy na uwadze bogactwo danych z LHC przeanalizowanych po tym czasie, ale również udoskonalenie technik i narzędzi teoretycznych.

Niemniej jednak prace te były łącznie cytowane prawie 100 razy, co świadczy o tym, że wyniki w nich uzyskane zostały uznane za ciekawe i wartościowe. Kolejna praca oryginalna pochodzi z 2021 roku i została opublikowana w *Chinese Physics C*. Jest obszerna, ma ponad 50 stron, więc objętościowo porównywalna z recenzowanym doktoratem. Była cytowana 7 razy, więc też została zauważona przez innych naukowców.

Rozprawę otwiera Wstęp, w którym autorka omawia znaczenie sektora skalarnego w fizyce cząstek elementarnych i w Modelu Standardowym. Następnie pokrótce referuje historię odkrycia bozonu Higgsa. Brakuje mi tutaj podsumowania 10-letnich wysiłków badania jego własności, zamiast tego jest podsumowanie wyników różnych pomiarów w Modelu Standardowym. Jak na pracę teoretyczną ten wstęp zawiera zaskakująco mało wzorów, a rola bozonu Higgsa w Modelu Standardowym, nadawanie mas innym cząstkom, jest opisywana słownie. Zamiast tego zamieszczony jest ciąg komend programu gnuplot, który generuje obrazek potencjału skalarnego.

Rozdział 2 zatytułowany jest “Higgs searches for future high-intensity and energy frontiers”, ale moim zdaniem tytuł nie jest adekwatny do treści rozdziału. Autorka szybko przechodzi od wspomnienia potencjalnego łamania liczb leptonowych (LFV) w rozpadach bozonów Higgsa (po raz pierwszy wymienionych tutaj mimochodem) do tabelki pokazującej obecne ograniczenia na procesy LFV i plany dotyczące przyszłych eksperymentów. Następnie są omówione różne eksperymenty kolajderowe, będące w fazie rozważań i raczej wstępnych studiów. Zamiast tego chaosu informacyjnego, lepiej by było skupić się na kluczowych dla dalszych części pracy HL-LHC i FCC-ee.

Kolejny rozdział jest poświęcony teorii modeli rozszerzonych sektorów skalarnych, HTM i MLRSM. Zaczyna się od krótkiego omówienia precyzyjnych obserwacji sektora elektroslabego i potencjalnego wkładu od trypletów Higgs do tych obserwacji. Znowu brakuje tutaj konkretów, czytelnik jest odsyłany do innych publikacji. Wzory są niestarannie omówione, np. co to jest G_μ ? W kolejnych podrozdziałach dyskutowane są konkretne modele analizowane w rozprawie. Pojawiają się skomplikowane wzory przeplatane krótkim komentarzem. Brakuje konsekwencji w omawianiu wzorów, np. po równaniu (3.22) jest wyjaśnienie dotyczące macierzy Pauliego, chociaż pojawiały się one wcześniej. Rozwinięcia w równaniach (3.14) i (3.15) są podane bez słowa komentarza (nazwane “notacją”) jakby to była najoczywistsza rzecz. Brakuje też referencji. Nieco lepiej i bardziej szczegółowo jest przedstawiony model MLRSM w ostatnim podrozdziale.

Rozdział 4 zawiera oryginalne wyniki dotyczące fenomenologii podwójnie naładowanych bozonów Higgsa, a w szczególności sygnałów kolajderowych ich rozpadów leptonowych. Omówienie zaczyna się od przedstawienia spektrum modeli HTM i MLRSM (znowu nieadekwatne tytuły informują o “spektrum podwójnie naładowanych skalarów”, gdzie w rzeczywistości chodzi o spektrum całego sektora skalarnego). Tytuł następnego podrozdziału anonsuje omówienie związku między podwójnie naładowanym skalem a liczbą leptonową, ale zamiast tego w Tabeli 6 powtarza wyniki Tabeli 2, ale, co ciekawe, z innymi referencjami (np. [82] i [190], [83] i [191] itd.) oraz podaje macierz mieszania neutrin i wyniki jej pomiarów. Następnie omawiane są rozpady a później produkcja i rozpady skalarów w kolajderach. Duża liczba wyników, które powinny być najważniejsze w rozprawie przedstawiona jest chaotycznie na kilku stronach. Z niezrozumiałych powodów cięcia eksperymentalne znajdują się dopiero w

dotatku i czytając ten rozdział zastanawiałem się jakie one są. Z różnych cięć eksperymentalnych wymieniona w głównym tekście jest separacja kątowna leptonów, chociaż z Rys. 25 wynika, że dla różnych wariantów sygnału to cięcie jest w zasadzie bez znaczenia, a eksperymentalnie ma głównie znaczenie techniczne. Prezentacja wyników również nie jest optymalna: zamiast serii tabelek zawierających wyniki dla wybranych punktów testowych dużo czytelniejsze i o większym walorze poznawczym byłyby np. krzywe w płaszczyźnie masa—inny_parametr prezentujące spodziewany zasięg różnych eksperymentów w danym scenariuszu.

Do powyższych uwag merytorycznych dochodzi szereg uwag dotyczących strony redakcyjnej i strony językowej. Wymienię tutaj tylko niektóre przykłady:

- str. 1, 2 itd.: w języku angielskim przypis umieszcza się po znaku interpunkcyjnym;
- str. 3: “by Y I mean...”, “which introduce the theory of massive ... bosons”;
- str. 2: confirm -> confirms;
- str. 7: “Due to hadronisation, there is not possible to observe an unbound ... quark” oprócz strony językowej pojawia się pytanie o kwark top;
- str. 8: notorycznie brak w wielu miejscach “the”, np. przed LHC itp.;
- str. 25: “derivative over”;
- str. 40: biała przerwa i “tThe”;
- str. 58: “with” zamiast “width”;
- str. 72: część liczb bez podanych jednostek, zresztą to się pojawiało też w innych miejscach.

Ogólnym wrażeniem po lekturze jest chaos w prezentacji wyników i brak jasno przedstawionych wniosków. Zamiast tego są kwiatki typu: “The production probabilities ... in $e+e-$ and pp colliders are similar”. Co to znaczy? Czy to jest stwierdzenie o przekrojach czynnych? (mogą się przecież różnić o rzędy wielkości, np. Tab. 17 i 18, a do tego zależą silnie od mas cząstek). Do tego dochodzi niecisły język: dalej w konkluzjach czytamy “There is a relatively small chance...” -- w porównaniu do czego? Do tego te wnioski są wyciągane (chyba?) na podstawie zaledwie kilku “standardowych” scenariuszy. Rozumiem, że może to częściowo wynikać z tego, że rozprawa bazowała na wynikach otrzymanych na przestrzeni wielu lat, ale w mojej opinii nawet z tej pozornej trudności można wybrnąć nadając starszym wynikom odpowiednią perspektywę w świetle współczesnych danych doświadczalnych i nowszych wyników uzyskanych przez Kandydatkę. Na przykład: jak selekcja przypadków założona w pracy ma się do tych wykorzystanych we współczesnych analizach eksperymentalnych? Czy rozważania dotyczące tła mają pokrycie w tym co jest założone przez kolaborację ATLAS (znajdujemy tam np. istotne tło, którego źródłem jest błędna identyfikacja leptonów)? Poza tym czy była przeprowadzona weryfikacja implementacji modelu UFO/FeynRules i porównanie np. z wynikami hep-ph/0305288?

Podsumowując, rozprawa zawiera ciekawe i oryginalne wyniki dotyczące możliwości zaobserwowania sygnałów eksperymentalnych produkcji i rozpadów podwójnie naładowanych cząstek skalarnych. Rozprawa zawiera również obszerne wprowadzenie teoretyczne do analizowanych modeli. Kandydatka jest współautorką 3 oryginalnych publikacji, które stanowiły

podstawę rozprawy i były dość często cytowane. Niestety prezentacja wyników w samej rozprawie jest chaotyczna i nieprzemyślana, co znacznie obniża jej wartość.

Mimo powyższych krytycznych uwag, stwierdzam, że rozprawa spełnia wymagane kryteria ustawowe¹ i wnoszę o dopuszczenie mgr Magdaleny Kordiaczyńskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.


dr hab. Krzysztof Rolbiecki

¹ Ustawa z 14 marca 2003 o stopniach naukowych (Dz.U. 2017 poz. 1789 z późn. zm.) w związku z art. 179 Ustawy z 3 lipca 2018 (Dz.U. 2018 poz. 1669).