

Kraków, 20.06.2017

DZIEKANAT WYDZIAŁU FIZYKI
WPŁYNĘŁO

2017 -06- 21 *W. Biał.*

Prof. dr hab. Zbigniew Wąs
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
31-342 Kraków, ul. Radzikowskiego 152

Recenzja pracy doktorskiej mgr. Neda Darvishi

'Extension of the Standard Model with a Doublet and a Complex Singlet'

Tematem przedstawionej rozprawy doktorskiej Pani mgr. Neda Darvishi jest badanie rozszerzeń Modelu Standardowego w zakresie alternatywnych założeń dotyczących cząstek skalarnych. Rozprawa oparta jest o siedem własnych prac, z których trzy są już opublikowane. Zawiera też szeroki przegląd literatury (ponad dwieście pozycji) oraz przegląd wyników eksperymentalnych określających warunki jakie muszą, oraz jakie powinny, spełniać rozszerzenia Modelu Standardowego oddziaływań cząstek elementarnych.

Model Standardowy oddziaływań elektroslabych opisuje dostępne dane eksperymentalne z imponującą precyzją. Ostatnim brakującym elementem weryfikującym ten model było potwierdzenie istnienia cząstki Higgsa przewidywanej przez wprowadzony w tym modelu mechanizm spontanicznego łamania symetrii jako formalizmu umożliwiającego nadanie masy fermionom oraz bozonom pośredniczącym. Obserwacja produkcji nowej cząstki o masie ~ 126 GeV, mogącej być poszukiwaną cząstką Higgsa, w kanale rozpadu $H \rightarrow \gamma\gamma$ oraz $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\ell$, została ogłoszona w lipcu 2012 roku przez eksperymenty ATLAS i CMS na akceleratorze LHC w oparciu o dane zebrane w latach 2011-2012. Jak dotychczas wyniki pomiarów, w granicach ich błędu, są konsystentne z przewidywaniami Modelu Standardowego dotyczącymi własności cząstki Higgsa.

Niewątpliwie pewna epoka w rozwoju Nauki została zakończona. Zupełnie nowe wyzwania przesuwają się więc na pierwszy plan. Mam na myśli zdolność teorii do objaśnienia nie tylko wyników eksperymentów akceleratorowych, ale też podstawowych własności obserwowalnej materii. Skąd pochodzi asymetria pomiędzy materią i antymaterią, co stanowi przyczynę dla której galaktyki poruszają się w taki a nie inny sposób, oraz czy istnieją powody dla których cząstki mają takie własności a nie inne. W szczególności, czy sektor oddziaływań elektroslabych może być opisywany przez oddziaływania poddające się opisowi perturbacyjnemu.

Przedstawiona rozprawa doktorska dotyczy więc niewątpliwie jednych z najbardziej przełomowych zagadnień w fizyce cząstek elementarnych ostatnich lat. Została zrealizowana w ramach udziału autora we wspólnych pracach kilku badaczy, do których zwykle zaliczał się Promotor. Prace te mogą odgrywać ważną rolę w rozwoju Fizyki. Część przyjętych założeń nosi cechy hipotez badawczych, szanse na ich potwierdzenie są trudne do określenia. Niewątpliwie założenie, że nowe oddziaływania i pola dotyczą tylko sektora skalarów jest bardzo atrakcyjne. Do 2012 żadna taka cząstka nie została odkryta. Bozon Higgsa nie jest ani cząstką oddziaływań, ani cząstką materii. Stanowi zupełnie nową kategorię, jest więc naturalne spodziewać się że właśnie w tym sektorze pojawią się dalsze nowe zjawiska, pola bądź oddziaływania.

Praca doktorska Pani mgr. Neda Darvishi jest napisana w języku angielskim i została starannie wyedytowana zarówno pod względem językowym, jak i graficznym. Praca, zawarta na 157 stronach, składa się ze wstępu, 5 dalszych rozdziałów, 6 dodatków, spisu użytych skrótów oraz streszczenia. Praca zawiera w sumie 40 rysunków, 17 tabel oraz odpowiednio obszerny spis literatury (220+7 pozycji).

Praca została podzielona na kilka części:

- Wprowadzenie (rozdz. 1) rozpoczyna się od przedstawienia podstawowych własności Modelu Standardowego istotnych dla dalszej dyskusji. Przedstawione są uwarunkowania eksperymentalne, które okażą się istotne dla uzasadnienia potrzeby rozszerzeń. Zaliczyć do nich należy przede wszystkim występującą w przyrodzie asymetrię barionową oraz potrzebę obecności ciemnej materii dla uzasadnienia ruchu gromad galaktyk. Omówione są wynikające z nich ograniczenia dla Modelu Standardowego. Omówione są też aspekty pomiarowe ograniczające rozszerzenia. Wynikają one z pomiarów akceleratorowych potwierdzających wszystkie dostępne własności Modelu Standardowego. Rozdział stanowi klarowne wprowadzenie do tematyki rozprawy doktorskiej i jest udokumentowany odnośnikami do literatury. Jest zakończony krótką sekcją-omówieniem wyników prac mgr. Neda Darvishi. Jest to jedyne miejsce gdzie jej prace są cytowane, co z jednej strony utrudnia ocenę wkładu, ale z drugiej pozwala na łatwiejsze zrozumienie głównej motywacji dla dyskutowanych rozszerzeń Modelu Standardowego.
- Rozdział drugi stanowi klarowne wprowadzenie struktury rozszerzenia Modelu Standardowego o nazwie constrained Standard Model with Complex Singlet (cSMCS). W modelu tym, występują trzy neutralne cząstki Higgsa oraz wystarczające łamanie symetrii CP dla uzyskania obserwowanego w przyrodzie złamania symetrii barionowej. Wszystkie przewidywania Modelu Standardowego, dla pomiarów akceleratorowych, pozostają w zgodzie z danymi.
- Uzyskane w pracy wyniki: przewidywania przekrojów czynnych dla bozonów cSMCS w warunkach LHC są omówione w rozdziale 3. Efekty poprawek QCD oraz niewycalkowanych rozkładów partonów są uwzględnione.
- Kolejne dwa rozdziały są poświęcone innym rozszerzeniom Modelu Standardowego. Pierwszy to Inert Doublet Model with a complex singlet (cIDMS). Własności pojawiających się w tym modelu kandydatów dla ciemnej materii (DM) są omówione. Drugi, to Two Higgs Doublet Model (2HDM) o niezerowej przewidywanej wartości próżniowej dla obydwu pól Higgsa. W modelu tym, z warunku kasowania rozbieżności, uzyskane są przewidywania dla masy wszystkich nieodkrytych bozonów Higgsa. Rozumiem że i w tym wypadku wynikiem Pracy są przewidywania dla przekrojów czynnych uzyskane dla warunków LHC.
- Rozdział 6 zawiera podsumowanie.
- Pracę uzupełniają dodatki, od A do F, o technicznej naturze. Dokumentują one bezpośrednio wysiłki Pani Neda Darvishi.

Uważam że tematyka przedstawionej pracy doktorskiej jest ważna i zawartość merytoryczna pracy zdecydowanie odpowiada wymaganiom stawianym pracom doktorskim. Doktorant miał tą niezwykłą możliwość uczestniczenia i wniesienia swojego wkładu w analizę, która być może doprowadzi w przyszłości do przełomu w naszym rozumieniu podstawowych własności oddziaływań cząstek elementarnych. Sektor elementarnych skalarów został otwarty dla pomiarów dopiero 5 lat temu. Jako zupełnie nowy, jest dobrym obszarem dla rozwijania i weryfikacji

nowych hipotez a być może też przełomowych odkryć. Taka możliwość może się pojawić nawet w aktualnie przeprowadzanych eksperymentach LHC.

Po przeczytaniu pracy, pewien niedosyt pozostawił mi jednakże fakt że wyniki analizy przeprowadzonej przez doktoranta mogą w niepełny sposób uwzględniać efekty poprawek radiacyjnych. Mam tu na myśli przede wszystkim dyskusję przejść fazowych oraz efektów związanych z ewolucją takich własności jak masy najcięższych fermionów czy też bozonów Higgsa do skali tych przejść fazowych. Co prawda jest to poza głównym tematem pracy, ale przy tak rozbudowanym spisie literatury, być może mogły by się znaleźć odniesienia. (Z taką tematyką zetknąłem się w ostatnim czasie w wysłuchiwanym referatach. Stąd moje zainteresowanie.)

Zaobserwowałem pewne powtórzenia. Niemal identyczne zdania występują na początku punktu B załącznika A oraz na stronie 43 (pierwszy paragraf sekcji 2.6.2). Podobnie jest z pierwszymi zdaniami załącznika C. Wzór 7.22 jest powtórzeniem wzoru 2.54, powtórzone są też towarzyszące mu objaśnienia. Nie jest to specjalnie kłopotliwe nawet przy pierwszym czytaniu pracy, aczkolwiek budzi trochę niepokoju o celowość. Spis skrótów (strona 1 i 2) jest niekompletny. To utrudnia pierwsze czytanie. Nieliczne błędy/literówki również nie stanowią większej trudności przy czytaniu. Mam na myśli takie jak w pierwszym punkcie załącznika A. Czy też 'aq' w zdaniu tuż przed wzorem 7.4.

Druga uwaga krytyczna, która nasuwa się po przeczytaniu pracy, to być może zbyt kateryczne interpretowanie danych. Na przykład nie ma 100% pewności że za ciemną materię muszą odpowiadać nowe cząstki. Taka opinia wydaje się być przedstawiona w pierwszych paragrafach rozdziału 4, a jest to być może przedwczesne. Również warunek naturalności, czyli zakładanie że teoria powinna być perturbacyjna, jest być może słabszy i mogło być to lepiej podkreślone w tekście. Jest to być może jednak tylko mój osobisty pogląd i jako taki niekoniecznie musiał znaleźć komentarz w pracy.

Podsumowując, uważam że przedstawiona rozprawa doktorska jest na bardzo dobrym poziomie, dotyczy bardzo istotnej tematyki współczesnej fizyki wysokich energii i została zrealizowana w ramach współpracy z promotorem i innymi badaczami. Badaczami nie tylko z Uniwersytetu Warszawskiego ale też i innych ośrodków w Polsce oraz za granicą.

Oceniam przedstawioną rozprawę doktorską jako bardzo dobrą, spełniającą wymagania ustawy dotyczące rozpraw doktorskich i wnoszę o dopuszczenie do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Zbigniew Wąs

Zbigniew Wąs