

Katowice, 11.10.2016

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Wojciecha Michała Kotlarskiego:
“Analysis of the R-symmetric supersymmetric models
including quantum corrections”

Na pracę doktorską mgr Wojciecha M. Kotlarskiego liczącą 130 stron składa się dziewięć rozdziałów, sześć dodatków oraz spis literatury.

Rozprawa napisana w języku angielskim oparta jest na trzech artykułach opublikowanych w czasopismach JHEP oraz Adv High Energy Phys, jednej nowej pracy umieszczonej już w archiwum arXiv:1608.00915 [hep-ph] oraz pięciu materiałach pokonferencyjnych.

Praca dotyczy analizy modelu supersymetrycznego (MRSSM) z symetrią R. Koncept ten znany jest od początków prac poświęconych supersymetrii (ponad 40 lat), jednakże rozwijany mocniej dopiero w ostatnich latach, do czego przyczynił się, niestety, brak sygnałów doświadczalnych świadczących o istnieniu supersymetrii w świecie cząstek elementarnych w jego standardowej wersji, znanej jako MSSM, czy też jego zmodyfikowanych wersjach (NMSSM). R-symetria pozwala na konstrukcję niskoenergetycznych modeli SUSY z odmienną fenomenologią (niestandardowe sygnały produkcji i rozpadu cząstek). Model MRSSM modyfikuje także wartości oczekiwane dla precyzyjnych obserwacji elektrosłabych.

W pracy skupiono się na efektach związanych z oszacowaniem produkcji i rozpadów w LHC sgluonów, skalarnych partnerów gluonów, które w odróżnieniu od cząstek w modelach MSSM są cząstkami typu Diraca. Analizę przeprowadzono dla odpowiedniego spektrum mas cząstek MRSSM, które to spektrum, jak to pokazano w dokładnych rachunkach uwzględniających poprawki jedno- i dwu- pętlowe modelu MRSSM, jest konsystentne z wartościami eksperymentalnymi mas bozonu W oraz cząstki Higgsa. Wszystkie analizowane w rozprawie spektra mas są również konsystentne z parametrami modelu dającymi stabilność próżni.

Praca napisana jest bardzo dobrze, począwszy od zgrabnego wstępu opisującego najważniejsze cechy modeli supersymetrycznych oraz motywację do ich analizy. Również następne rozdziały, raczej krótkie, są treściwe i

jasno napisane. I tak, w rozdziale 3 omówiono najważniejsze cechy modelu MRSSM, wybrano trzy wzorce mas. W rozdziale 4 przeanalizowano jak poprawki kwantowe MRSSM zakodowane w tzw. parametrach STU wpływają na określenie masy bozonu W . W rozdziale 5 przeanalizowano poprawki kwantowe do masy bozonu Higgsa w MRSSM, a w kolejnym rozdziale pokazano korelacje pomiędzy masą cząstki Higgsa i innymi obserwabkami elektrosłabymi. Dwa następne rozdziały to analiza sygnałów produkcji sgluonów w LHC, uwzględniających ograniczenia wynikające z elektrosłabych analiz i widm mas rozpatrywanych wcześniej. Dodatki dobrze uzupełniają rozprawę.

Rozprawę doktorską mgr Kotlarskiego można moim zdaniem uznać za wzorcową jeśli chodzi o analizę modelu, który wykracza poza Model Standardowy. Właściwie każdy taki model jest mocno skomplikowany i trudno jest przeanalizować i wyluskać w odpowiedni sposób, nawet korzystając z całego arsenału różnorodnego dostępnego specjalistycznego oprogramowania, możliwe spektakularne sygnały świadczące o nowej fizyce. Jeszcze trudniej jest pokazać jak wybrane w ten sposób parametry danego modelu wpływają na cały szereg precyzyjnych obserwacji, które są podstawą badań w Modelu Standardowym (MS). Często te dwa zagadnienia, odpowiednio opracowane, są podstawą oddzielnych rozpraw doktorskich. Przedstawiona rozprawa zawiera, a raczej łączy w konsystentny sposób te dwa podstawowe aspekty badań opartych na szukaniu nowych sygnałów oraz pośrednim określeniu efektów nowej fizyki w precyzyjnych pomiarach.

W pracy analizowane są pewne poprawki elektrosłabe na poziomie jedno- i dwupętlowym w MS, poprawki dwupętlowe MRSSM do masy bozonu Higgsa wyliczone w podejściu efektywnego potencjału, poprawki MRSSM do parametru ρ (poprawki wierzchołkowe i czteropunktowe w rozpadzie mionu) oraz poprawki wirtualne i poprawki z rzeczywistą emisją partonów w produkcji sgluonów. Autor rozprawy pokazuje wiele technicznych szczegółów, np. dotyczących metody dzielenia przestrzeni fazowej na kawałki ('phase space slicing') zastosowanej w pracy w odróżnieniu na przykład od schematu odjęć ('subtraction scheme'). Analizowane jest znaczenie trypletu T grupy $SU(2)_L$ i wybór odpowiednich mas związanych z VEV od tego trypletu, znaczenie poszczególnych poprawek jedno- i dwupętlowych oraz ich wpływ na stabilność numeryczną wyników.

Myślę, że poniższa lista zastosowanych programów obliczeniowych (w połączeniu z własnymi pakietami określającymi wkłady do rozpatrywanych

procesów od cząstek MRSSM) pokazuje dobitnie jak obszerny materiał opanował mgr Kotlarski i jak swobodnie się w nim porusza: SARAH i jego podpakiety, SPheno, Pythia8, Sherpa, Delphes, HepMC, FastJet, OneLoops, LoopTools, CutTools, COLLIER, MadGraph5/aMC@NLO, MadSpin, FeynArts, FormCalc, LHAPDF6, MMHT2014, HiggsBounds, HiggsSignals, Vecacious, FeynRules, biblioteka rk, Rivet, Vegas, Cuba, Cuhre, Divone, Mathematica.

Mgr Kotlarski swobodnie umie stosować odpowiednie narzędzia. Z przedstawionej rozprawy, metod zastosowanych i obliczeń wynika, że dogłębnie zna kwantową teorię pola, przez co łączy on doświadczenie w opanowaniu programów z umiejętnością ich zastosowania do specyficznej fenomenologii. O praktycznej wiedzy mgr Kotlarskiego mogłem się sam przekonać nie tak dawno temu, mgr Kotlarski zrobił dla naszej grupy w Katowicach kilkunastogodzinne warsztaty hands-on z wykorzystania w obliczeniach programu MadGraph.

Na zakończenie parę drobnych uwag oraz pytań. Praca napisana jest bardzo starannie, kilka potknięć edytorskich które zauważyłem nie jest warte głębszej analizy. W tabeli 2.1 hiperładunek neutralnych składowych pól $\hat{B}$ oraz $\hat{W}$ powinien być zero. Ponieważ w pracy dyskutowane są poprawki kwantowe od cząstek standardowych i MRSSM, intryguje mnie pytanie czy w ramach modelu MRSSM i schematu $\overline{DR}$ zastosowanego w obliczeniach jest spełniona faktoryzacja efektów kwantowych SM od pozostałego sektora, na przykład w przypadku poprawek do rozpadu mionu. W paru pracach, gdzie $\rho_{tree} \neq 0$ (tak jak w modelu MRSSM) dyskutowano między innymi te zagadnienia, ale w ramach niesupersymetrycznych modeli (np. Chankon et al, hep-ph/9909242 czy też Chankowski et al, hep-ph/0605302 oraz arXiv:0707.2323). Jak to wygląda w MRSSM? Innymi słowy, czy możliwe jest mieszanie w modelu efektów od cząstek SM i pozostałych i czy poprawki od cząstek niestandardowych rozprzegają się w granicy dużych mas? W dyskusji produkcji i rozpadów sgluonów kończących się czterema kwarkami top (analiza kolaboracji ATLAS przedstawiona na Fig. 8.1) skupiono się na procesach produkcji pary kwarków top ze stowarzyszoną produkcją bozonu i jego rozpadem. Czy proces z czterema kwarkami top w MRSSM kończący się dżetami jest mniej ciekawy? (za duże tło)? W dodatku C podano reguły Feynmana dla sgluonów. Jak je otrzymano (automatycznie?) i jakie testy przeprowadzono w obliczeniach w celu upewnienia się, że nie zawierają błędów?

Pracę uważam za bardzo dobrą. Niniejszym zgłaszam wniosek o jej wyróżnienie. Zaprezentowana rozprawa doktorska pokazuje szczegółowo jak interesujący jest model supersymetryczny zawierający R-symetrię. Obliczenia wskazują, że efekty z nim związane są ciekawe i specyficzne, odróżniają go znacznie od dotychczasowego kanonu modeli skupionych wokół MSSM i NMSSM i warto aby model ten intensywniej zbadano także w LHC. To jest wydaje mi się główna, dobrze umotywowana wiadomość którą niesie ta rozprawa. Szczególnie warta podkreślenia jest moim zdaniem analiza produkcji i rozpadów sgluonów zaprezentowana w rozdziałach siedem i osiem zrobiona w oparciu o sprawdzone wcześniej wzorce mas cząstek MRSSM, spełniające ograniczenia wynikające z analizy precyzyjnych obserwacji i zgodne z wymogiem stabilności próżni. Mgr Kotlarski pokazał, że umie połączyć w dogłębny sposób teorię (precyzyjne obliczenia) z eksperymentem (symulacje danych).

Praca w pełni spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim i stawiam wniosek o dopuszczenie mgr Wojciecha Michała Kotlarskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

prof. dr hab. Janusz Gluza
Instytut Fizyki, Uniwersytet Śląski w Katowicach