

2019 -01- 18 *JB*

Prof. dr hab. Stanisław Jadach  
Instytut Fizyki Jądrowej PAN  
w Krakowie

15 stycznia 2019

**Ocena dorobku naukowego i rozprawy habilitacyjnej dr Marcina Badziaka pt. *“Implikacje pomiarów własności bozonu Higgsa dla supersymetrycznych rozszerzeń Modelu Standardowego”***

Dr Marcin Badziak jest wychowankiem Uniwersytetu Warszawskiego gdzie obronił pracę doktorską w roku 2011-tym na temat roli supersymetrii w inflacji kosmologicznej. Następnie odbył 1.5-roczny staż na Uniwersytecie w Cambridge (Anglia) i od roku 2012-go jest pracownikiem UW; w latach 2016-18 odbył kolejny staż podoktorski w LBL Berkeley. W pracach po doktoracie główne zainteresowania i praca naukowa dra Badziaka skupiały się na tematyce przewidywań modeli supersymetrycznych dla danych doświadczalnych z kolajdera LHC w CERN.

Zestaw 12 prac zaopatrzony 15-stronicowym wstępem pod wspólnym tytułem *“Implikacje pomiarów własności bozonu Higgsa dla supersymetrycznych rozszerzeń Modelu Standardowego”* stanowi bardzo dobrą ilustrację ewolucji fenomenologii modeli supersymetrycznych od roku 2012 w miarę napływu danych doświadczalnych z eksperymentów LHC. Można powiedzieć że prace te są niemal w ścisłej symbiozie z programem badawczym LHC, co już stanowi ich wielką wartość.

Jak wiadomo dane eksperymentów LHC nie spełniły na razie nadziei proponentów tych bardzo ciekawych i obiecujących teorii supersymetrycznych. Jak to jest opisane bardzo przejrzyście w autoreferacie i w pracy H1, już samo odkrycie bozonu Higgsa było problemem dla najprostszego supersymetrycznego modelu minimalnego MSSM ze względu na masę  $125\text{GeV}$ , która jest w sprzeczności z ideą “naturalności” MSSM. W pracy H1 (2012) dyskutowany jest jeden z pomysłów naprawienia “nienaturalności” MSSM przez odwrócenie hierarchii masowej fermionów supersymetrycznych. Tego typu modele mają też ciekawe konsekwencje doświadczalne dla procesów z łamaniem symetrii “zapachowych”. W kolejnej pracy H2 (2012) studiowany jest model MSSM bazujący na szerszej grupie cechowania  $SO(10)$  z narzuconym warunkiem unifikacji sprzężeń Yukawy top-bottom-tau. Z przyjętego

schematu łamania symetrii wynikała możliwość obserwacji w LHC niektórych relatywnie lekkich cząstek supersymetrycznych (gluino, sbottom, squark-d). W pracy H3 pokazano że rozszerzenie MSSM tego typu daje wzmocnienie rozpadów bozonu Higgsa na parę fotonów, co w tym czasie sugerowały niektóre dane w LHC. Inne aspekty modelu MSSM, dotyczące ograniczeń dla parametrów MSSM wynikających z pomiaru muonowego ( $g-2$ ) były badane w pracy H4 (2015).

W powodu nasilającego się konfliktu modelu MSSM i danych LHC zainteresowania dr. Badziaka i jego współpracowników skierowały się stopniowo w dziedzinę *nieminimalnych* modeli supersymetrycznych, NMSSM. W pracach H5-H7 (2013-2016) analizowano model rozszerzony o dodatkowe superpole będące singletem względem spektrum MSSM. Zaletą takiego modelu jest wytłumaczenie stosunkowo dużej (z punktu widzenia MSSM) masy Higgsa. Ponadto model ten generuje ciekawe mierzalne odstępstwa sprzężeń bozonu Higgsa, również sprzężenia do pary fotonów. Jednakże tego typu modele NMSSM mają różne poważne wady. W pracy H6 (2015) jego ulepszenie w postaci modelu DGS z lekkim singletem okazało się pozbawione tych wad i dlatego jest niezwykle interesującym modelem. W szczególności zauważono, że w takim modelu mogą wystąpić relatywnie lekkie cząstki o masie około 100 GeV, które mają bardzo długi czas życia i propagują się w detektorze na odległości centymetrowe zanim się rozpadną. Szczegółowemu opisowi takich rozpadów poświęcona jest praca H7 (2016) gdzie przeprowadzono symulację Monte Carlo aby uwzględnić realistyczne warunki dla eksperymentów LHC. Zaproponowane zostały kinematyczne cięcia ułatwiające odkrycie w/w cząstek. Kolejne prace H8 i H9 poświęcone są zjawisku wzmocnienie przekroju czynnego produkcji pary kwarków  $t$  i bozonu Higgsa ( $t\bar{t}h$ ), którego istnienie sugerowały pierwsze dane LHC. W modelach NMSSM takie wzmocnienie (bez naruszenia zgodności z danymi dla rozpadu Higgsa na 2 fotony) jest możliwe. Z tym, że rozwiązanie w pracy H8 (2016) prowadziło do niepożądanego bieguna Landau'a niedaleko powyżej skali elektroslabej. Problem ten został usunięty w pracy H9 dodając lekki skalarny singlet do sektora Higgsa.

Ostatnia grupa prac H10-H12 (2017-2018) poświęcona jest supersymetrycznym modelom typu Twin Higgs w których dodana jest "bliźniacza" kopia wszystkich cząstek takich jak w MSSM, która słabo komunikuje się ze światem zwykłych cząstek MSSM. W takim modelu łatwo jest usunąć problem hierarchii. W wersji modelu opracowanej w H10, symetria między-bliźniaczą (łamana przez superpotencjał) a zwykłą materią jest typu  $Z(2)$ , co jest źródłem pewnych problemów, czyli istnienia niepożądanego bieguna Landaua w zbyt niskich energiach. Problem ten został usunięty w pracach H11 i H12. W pracy H11 grupa  $U(2)$  została zastąpiona grupą  $SU(2)$ , a w pracy H12 (2018) dwiema grupami  $SU(2)$ . Takie rozwiązanie wydaje się być pozbawione podstawowych wad MSSM, bez zakłócenia pożądaných własności unifikacyjnych w wysokich energiach.

Wyżej omówione prace oceniam wysoko a ich tematykę w świetle bieżącego programu badawczego LHC za bardzo ważną.

Wszystkie 12 prac oprócz jednej są wieloautorskie. Dr Badziak opisuje szczegółowo swój wkład do każdej pracy i szacuje swój wkład na ponad 50% we

wszystkich pracach oprócz H7. Można to porównać z oświadczeniami współautorów (co jest trochę trudne gdyż nie wszyscy oni szacują swój udział procentowo) i generalnie nie ma wielkich rozbieżności, chociaż można by odnieść wrażenie, że współautorzy zostawiają dr Badziakowi w kilku przypadkach margines bliżej czy lekko poniżej 50%. Dla pracy H5 która ma najwięcej cytacji (87) i w ostatnich pracach H10-H12 te rozbieżności są minimalne.

Wyżej omówione prace dr. Badziaka mają co najmniej kilkanaście cytacji, w tym praca H5 (wkład dr. Badziaka około 50%) ma aktualnie 87 cytacji w czasopiśmie. Jedyna praca jednoautorska H2 jest w dość słabym czasopiśmie i ma 25 cytacji. Sprawdziłem też wrywkowo dla H5 i H7 czy te prace są cytowane przez grupy doświadczalne LHC i są to śladowe ilości 1-2 cytacji, ale być może jest to trochę za wcześnie, gdyż dane doświadczalne LHC są ciągle w opracowaniu.

Dr Badziak ma też całkiem pokaźny i bogaty dorobek naukowy oprócz prac H1-H12. Jest to w sumie 25 prac w czasopiśmie recenzowanych które zasłużyły sobie na 646 cytacji w czasopiśmie recenzowanych, a liczba wszystkich cytacji przekroczyła już granicę tysiąca. Tematyka pozostałych prac (poza H1-H12) pokrywa zagadnienia inflacji kosmologicznej, wielkiej unifikacji oddziaływań i ciemnej materii w modelach supersymetrycznych. Jest to dość szczegółowo opisane w autoreferacie. Świadczy to o mobilności intelektualnej dr. Badziaka który porusza się swobodnie w szerokiej tematyce teoretycznej fizyki cząstek elementarnych.

Dr Badziak brał aktywny udział wygłaszając referaty w 36 konferencjach, w tym w 6-ściu na zaproszenie. Kierował też 5-ma krajowymi projektami badawczymi i brał udział w 4-ch innych projektach. Otrzymał trzy prestiżowe stypendia, od Ministerstwa Nauki, od Uniwersytetu Warszawskiego i od Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej. Działalność dydaktyczna oprócz kursowych wykładów na UW zawiera też kilka pozycji typu popularyzatorskiego dla szkół i szerokiej publiczności.

Biorąc pod uwagę bardzo wysoką ocenę rozprawy habilitacyjnej i pozostałego dorobku naukowego, stojącego zdecydowanie powyżej znanej mi średniej, nie mam wątpliwości, że dr Marcin Badziak spełnia wszystkie warunki stawiane kandydatom do stopnia doktora habilitowanego. Wnoszę więc o dopuszczenie Go do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.

Prof. Stanisław Jadach

