

Wpłynęło dn. 27.10.2016
Wydział Fizyki
dział / Sekcja ds. pracowniczych
podpis

Warszawa, 25 października 2016

Prof. dr. hab. Michał Spaliński

Narodowe Centrum Badań Jądrowych

ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa

Wydział Fizyki, Uniwersytet w Białymstoku

ul. Ciołkowskiego 1L, 15-245 Białystok

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Wojciecha Kotlarskiego

“Analysis of the R-symmetric supersymmetric models including quantum corrections”

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska napisana została pod kierunkiem Profesora dr hab. Jana Kalinowskiego na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

Większość wyników opisanych w rozprawie zawarta została w trzech artykułach naukowych, napisanych wspólnie z promotorem i innymi współautorami, opublikowanych w *Physical Review D* – jednym z wiodących czasopism w fizyce wysokich energii. Prace te były do tej pory cytowane 48 razy (według inspirehep.net), co jest bardzo dobrym wynikiem, zważywszy jak niedawno były publikowane. Część materiału jest też treścią artykułu dostępnego na arXiv.org. Wyniki przedstawione w pracy były kilkakrotnie prezentowane na międzynarodowych konferencjach naukowych, co znajduje odbicie w 5 publikacjach pokonferencyjnych.

Rozprawa napisana jest w języku angielskim i liczy 130 stron. Zawiera też bibliografię, na którą składa się 186 pozycji.

Tematyka rozprawy

Praca doktorska Wojciecha Kotlarskiego przedstawia analizę fenomenologii nieminimalnego supersymetrycznego rozszerzenia Modelu Standardowego, nazywanego MRSSM. Model ten różni się od modelu minimalnego (zwanego MSSM) o dodatkowe pola konieczne dla realizacji pewnej dodatkowej symetrii globalnej.

MSSM stanowi uzupełnienie Modelu Standardowego tylko o te pola, które są niezbędne do zapewnienia supersymetrii (przy zaniedbaniu łamania supersymetrii, którego źródło traktowane jest fenomenologicznie poprzez dodanie pełnego zestawu wyrazów łamiących supersymetrię). Aby uniknąć rażącego konfliktu z doświadczeniem, niektóre sprzężenia są eliminowane przez narzucenie pewnej symetrii dyskretnej ("matter parity"). Z racji swojej względnej prostoty MSSM był intensywnie badany zarówno teoretycznie, jak i pod względem zgodności z danymi z LHC. Doprowadziło to ostatecznie do eliminacji tego modelu.

MRSSM zamiast symetrii dyskretnej wprowadza pełną grupę symetrii globalnej $U(1)$, co wymaga dodatkowych w stosunku do MSSM pól, w szczególności rozszerzonego sektora Higgsa. Postulowana symetria (podobnie jak "matter parity") eliminuje z tej teorii sprzężenia prowadzące do znaczących amplitud prawdopodobieństwa procesów które nie są obserwowane.

Analiza konsekwencji takiego modelu jest technicznie podobna do analizy w MSSM, ale znacznie bardziej złożona, między innymi ze względu na większą ilość pól. W swojej dysertacji mgr. Kotlarski przeprowadza taką analizę pokazując, że istniejące dane z LHC dopuszczają przynajmniej kilka obszarów w przestrzeni parametrów MRSSM, a zatem sam ten model jako możliwe supersymetryczne rozszerzenie Modelu Standardowego. Jest to w oczywisty sposób ważny wynik. Ponadto, rozprawa zawiera szczegółową analizę sygnałów charakterystycznych dla MRSSM, których można szukać w danych z LHC.

Konstrukcja rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa napisana jest bardzo starannie i zawiera czytelne przedstawienie problemu i motywacji fizycznej, a także bardzo szczegółowy opis metod rachunkowych i dyskusję uzyskanych wyników.

Praca składa się z dziewięciu rozdziałów i siedmiu dodatków, które zawierają definicje, podsumowują notację i podają szereg wyników o charakterze technicznym, które są wykorzystywane w głównym tekście pracy.

Trzy pierwsze rozdziały poświęcone są przedstawieniu motywacji fizycznej i podstawowych faktów dotyczących supersymetrii i supersymetrycznych rozszerzeń Modelu Standardowego. Rozdział pierwszy zawiera wprowadzenie w tematykę i omawia układ pracy. W

rozdziale drugim zebrane są podstawowe fakty dotyczące supersymetrii i jej łamania. Omówiony jest też model MSSM. Rozdział trzeci wprowadza będący głównym przedmiotem zainteresowania autora model MRSSM, czyli minimalne supersymetryczne rozszerzenie Modelu Standardowego niezmiennicze względem globalnej R-symetrii $U(1)$. Autor omawia tu w dość kompletny sposób sformułowanie tego modelu i stojące za nim racje. W jasny sposób przedstawione są też pewne ogólne aspekty podejścia autora do badania fenomenologii modelu MRSSM.

Rozdziały od czwartego do ósmego zawierają oryginalny wkład autora.

Rozdział czwarty poświęcony jest masie bozonu W , która jest przewidywaniem modelu jeśli przyjąć jako dane wejściowe elektromagnetyczną stałą sprzężenia, stałą rozpadu mionu i masę bozonu Z . Zgodność z mierzoną wartością masy bozonu W daje więc ograniczenie na możliwe wartości parametrów modelu. W przedstawianych rachunkach obliczone zostały wszystkie wkłady jednopętlowe, a w ostatecznej analizie autor uwzględnia także część wkładów dwupętlowych pochodzących od stopni swobody Modelu Standardowego.

Rozdział piąty zawiera analizę przewidywań dotyczących masy bozonu Higgs, analogiczną do dyskusji masy bozonu W w rozdziale czwartym. Autor omawia tu obliczenie jedno- i dwupętlowych wkładów do masy najlżejszego bozonu Higgsa. Rozdział ten zawiera też szereg uwag natury technicznej dotyczących przyjętych metod obliczeniowych, w szczególności niezależności od wyboru cechowania.

Rozdział szósty omawia wyniki narzucenia warunków zgodności z danymi jednocześnie masy najlżejszego bozonu Higgsa i bozonu W . Autor szczegółowo omawia stosowaną przez siebie metodologię i uzyskane obszary w przestrzeni parametrów, dla których model MRSSM nie wchodzi w kolizję z doświadczeniem.

Rozdziały 7 i 8 prezentują różne aspekty produkcji par sgluonów. Autor wskazuje na fakt, że w ramach modelu MRSSM możliwa (a może nawet prawdopodobna) jest sytuacja, gdy jeden z sgluonów jest lekki. Ponieważ nie jest on naładowany względem R-symetrii, to sprzęga się bezpośrednio do cząstek Modelu Standardowego. W konsekwencji pojawia się możliwość obserwacji kolorowej (silnie oddziałującej) cząstki rozpadającej się na same cząstki Modelu Standardowego. Rozdział 8 przedstawia wyniki symulacji Monte Carlo dających wgląd w to,

jak produkcja sgluonów mogłaby w praktyce wyglądać. Analiza zawarta w tych rozdziałach prowadzi do ograniczeń na masę sgluonów opartą o istniejące dane z LHC (przy 13 TeV). Jest ona rzeczywiście imponująca - składa się na nią nie tylko obliczenie poprawek kwantowych, ale także uwzględnienie tła.

Opisywane w pracy wyniki syntetycznie podsumowane są w rozdziale 9.

Uwagi krytyczne

Nawet jeśli recenzowana praca jest bardzo dobrze napisana, to nowy czytelnik często uważa pewne niedociągnięcia. W tym przypadku dopatrzyłem się niewielu tego rodzaju usterek i były one wyjątkowo niegroźne (np. "of" zamiast "off" na stronie 46, lub "patter" zamiast "pattern" na str 51).

Z uwag ogólniejszych, to zabrakło mi trochę omówienia szerszego kontekstu samego modelu MRSSM, który jest dosyć złożony i trudno nie zadawać sobie pytania, skąd taka struktura mogłaby się wziąć – nie mówiąc już nawet o źródłach sektora łamiącego supersymetrię. Naturalną nadzieją na wyjaśnienie genezy i struktury modelu takiego jak MRSSM jest teoria strun. W tej teorii jednak globalne symetrie nie występują, więc jeśli MRSSM miałby być teorią efektywną w ramach teorii strun, to kluczowa dla niego symetria $U(1)$ musiałaby być symetrią cechowania. Oczywiście nie oczekiwałbym, aby w tej dysertacji miały pojawić się daleko idące spekulacje zmierzające w tym kierunku, ale wydaje mi się, że warto było choćby zasygnalizować taki szerszy kontekst.

Uwagi końcowe

Podsumowując, praca doktorska mgr. Kotlarskiego dotyczy ważnej i aktualnej tematyki badawczej, a uzyskane wyniki oparte są na rachunkach o znacznym stopniu złożoności, które wymagały zarówno bardzo dobrego opanowania istniejących technik rachunkowych jak i dobrej organizacji obliczeń. Również prezentacja tych wyników – zwięzła i przejrzysta – zasługuje na uznanie.

Autor pracy wykazał się bardzo dobrą znajomością wielu aspektów fizyki wysokich energii, technik kwantowej teorii pola, a także kompetencją w wykorzystaniu szeregu pakietów opro-

gramowania zarówno symbolicznego jak i numerycznego. Potencjalnie pożyteczne jest też to, że autor zamieścił istotne uwagi dotyczące wykorzystania używanych pakietów oprogramowania, co może być pożyteczne dla osób pragnących rozwinąć te rachunki lub je przystosować do innych modeli.

Pozytywne jest też to, że Autor wyjaśnia na bieżąco, które aspekty przedstawianych obliczeń są efektem jego własnych wysiłków, a które uzyskane zostały we współpracy z promotorem i innymi osobami.

Stwierdzam, że recenzowana praca zdecydowanie spełnia ustawowe i zwyczajowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie jej do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Chciałbym też podkreślić profesjonalizm z jakim mgr Kotlarski prześledził fizyczne konsekwencje wykonanych przez siebie obliczeń w ramach modelu MRSSM. Poziom tej analizy wyraźnie wskazuje nie tylko na świetne opanowanie warsztatu fizyki teoretycznej, ale też na dużą dojrzałość naukową. Mam tu na myśli całą dysertację, ale nie sposób nie zwrócić uwagi na treść rozdziałów 7 i 8, które same w sobie świadczą o bardzo gruntownym zrozumieniu omawianej problematyki nie tylko na poziomie teorii. W związku z tymi okolicznościami stawiam także wniosek o wyróżnienie tej rozprawy.

M. Spaliński