

Prof. dr hab. Marek Zrałek Katowice (emeryt)
Instytut Fizyki
Uniwersytetu Śląskiego

Recenzja pracy doktorskiej mgr Michała Ryczkowskiego
pt.
Indirect searches for the Standard Model extensions

Praca doktorska poświęcona jest badaniu specyficznych rozszerzeń Modelu Standardowego (MS). Na obecnym etapie rozwoju teorii oddziaływań fundamentalnych takie badanie jest rzeczą nie tylko naturalną, ale nawet konieczną. Wskazuje na to niemożliwość wyjaśnienia w ramach MS kilku podstawowych kwestii w opisie mikro i makroświata, gdzie tradycyjnie wymienia się tzw. problem hierarchii, zbyt słabe łamanie symetrii CP konieczne do wyjaśnienia dominacji materii nad antymaterią we Wszechświecie, czy też brak wyjaśnienia problemu ciemnej materii. Próba odpowiedzi na szereg niewyjaśnionych kwestii jest obecnie kluczowym obszarem zainteresowania zarówno w badaniach doświadczalnych jak i teoretycznych opisu mikroświata.

I właśnie ta kwestia, jak rozszerzyć świetnie pracujący MS, aby udzielić odpowiedzi na stawiane obecnie pytania, jest treścią recenzowanego doktoratu. Jak widać jest to więc tematyka bardzo ważna i będąca teraz niezmiernie aktualna.

Mgr Michał Raczkowski przedstawia w swojej pracy doktorskiej dwa podejścia służące do badania fizyki poza Modelem Standardowym, które nazywane są podejściem oddolnym (ang. bottom-up) i odgórnym (ang. top-down). Pierwsze polega na testowaniu obecnych danych doświadczalnych przy użyciu MS i wszystkich możliwych członów zbudowanych z pól obecnych w tym modelu. W drugim sposobie opisu (odgórnym) wprowadza się nowe pola fermionowe i bozonowe i przy ich pomocy próbuje się odpowiedzieć na pytania, na które obecny Model Standardowy odpowiedzi nie daje.

Recenzowana praca doktorska napisana jest w języku angielskim na ponad 150 stronach. Zawiera wstęp, 3 rozdziały oraz podsumowanie. Prócz tego szczegóły rachunkowe zostały przedstawione w 3 uzupełnieniach związanych oddzielnie z każdym rozdziałem, a na końcu podany został bogaty spis literatury (254 pozycji). Mgr Michał Raczkowski jest współautorem 4 prac, opublikowanych w bardzo dobrych międzynarodowych czasopiśmie (Phys. Rev. D albo Journal of High Energy Physics).

Rozdział 1 pracy - Wstęp, definiuje przyjętą notację i używane oznaczenia. Autor krótko przedstawia Model Standardowy oraz problemy, na które model ten nie udziela odpowiedzi. Opisuje dwa stosowane obecnie podejście w poszukiwaniu odpowiedzi na nierozwiązane obecnie kwestie. Bardzo pogłębienie, w oparciu o model Fermiego rozpadu mionu, wprowadza Efektywną Teorię Pola (EFT), którą uogólnia następnie dla

Modelu Standardowego. To uogólnienie, nazywane Efektywną Teorią Pola Modelu Standardowego (SMEFT) jest podstawą tzw. podejścia oddolnego, wykorzystanego w dwóch kolejnych rozdziałach pracy. W tym wstępnym rozdziale Autor przedstawia także ogólne założenia tzw. podejścia odgórnego, krótko opisując różne spotykane w tej dziedzinie modele i definiuje też model, który będzie dyskutowany w Rozdziale 4.

Kolejne dwa rozdziały poświęcone są poszukiwaniu uogólnień Modelu Standardowego w tzw. podejściu odgórnym. Na początku Autor w poglądowy sposób przedstawia osiągnięcia rozważanej metody, słusznie wiążąc jej aktualność z dobrą zgodnością MS z doświadczeniem i brakiem obserwacji jakichkolwiek efektów nowej fizyki. Definiuje Lagrangian nowego podejścia i różne rozpatrywane jego rozszerzenia. Najpierw, bazując na materiałach ref. [55] ze spotkania w Zurichu w 2022 roku przedstawia te różne wersje rozpatrywanej Efektywnej Teorii Pola. Dalej w rozdziale omawiana jest publikacja [73], w której przedstawiony został program SmeftFR v3 generujący reguły Feynmana dla Efektywnej Teorii Pola Modelu Standardowego. Jest to ulepszona wersja zaprezentowanego w 2020 roku programu, w którym dodatkowo przedstawiono reguły Feynmana dla wszystkich operatorów o wymiarze - 6 i operatorów bozonowych o wymiarze - 8. W Rozdziale 2 i w Załączniku do tego rozdziału Autor przytacza te wszystkie operatory, a także sposób wyrażania mierzonych wielkości w Modelu Standardowym przez parametry Wilsona. Na końcu omawianego rozdziału, jako przykład zastosowania programu SmeftFR v3, opisany jest proces rozpraszania dwóch naładowanych bozonów $W^{+-}W^{+-}$.

W kolejnym Rozdziale (3) w dalszym ciągu Autor stosuje opisany wcześniej program SmeftFR v3 do badania produkcji dwóch cząstek Higgsa w zderzeniu protonów w LHC. Robi tu wiele upraszczających założeń, bada tylko produkcję dwóch cząstek Higgsa poprzez fuzję dwóch bozonów cechowania. W Modelu Standardowym mechanizm ten w niewielkim stopniu przyczynia się do przekroju czynnego dla badanego procesu, ale istnienie fizyki poza SM faktycznie może dawać znaczący wkład do badanego procesu. Te przedstawione obliczenia nie są przytaczane we wcześniejszych publikacjach Autora, lecz zostały wykonane tylko na potrzeby recenzowanej pracy doktorskiej. W przyszłości, w razie pojawienia się nowych precyzyjnych danych doświadczalnych, badanie nowej fizyki będzie wymagać bardziej subtelnej analizy od tej prezentowanej w pracy. Niemniej to co prezentuje Autor w swojej pracy doktorskiej jest bez wątpienia dobrym krokiem wprowadzającym.

Rozdział 4 pracy poświęcony jest drugiej metodzie poszukiwania fizyki poza Modelem Standardowym, nazywaną metodą odgórną. W tej metodzie należy wybrać jakieś uogólnienie Modelu Standardowego. Autor bada trzy klasy takich uogólnień SM. W pierwszej analizie (klasa A) dodatkowo wprowadza tzw. wektorowe fermiony, gdzie część lewoskrętna i prawoskrętna spinora ma identyczną symetrię cechowania. W drugiej (klasa B) wprowadza tylko jeden rzeczywisty skalar. Miesza też te dwa podejścia (klasa C) gdzie istnieją dodatkowe fermiony wektorowe, a więc nieobserwowane do tej pory kwarki lub leptony oraz nowa cząstka skalara. Praktycznie cały rozdział 4, łącznie z dodatkiem do tego rozdziału bazuje na współautorskiej pracy [52] i zawartych tam załącznikach. Mgr Ryczkowski jest współautorem wspomnianego artykułu, ale mimo wszystko powinien dokładniej określić, które fragmenty Jego pracy doktorskiej są praktycznie kopią materiałów ze wspomnianej referencji.

Pomimo wymienionych powyżej usterek recenzowana rozprawa doktorska dokumentuje ogromny wkład pracy Autora. Wymagała bardzo dużych umiejętności w posługiwaniu się różnymi komputerowymi programami do analiz numerycznych. Oprócz tego mgr Michał Ryczkowski udowodnił, że w dobrym zakresie poznał fizykę Modelu Standardowego. Aby odpowiedzieć na istniejące się już obecnie pytania i ewentualnie wyjaśniać pojawiające się w przyszłości, niezgodne z MS wyniki doświadczalne, rozpatrywana w pracy metoda badania uogólnień MS znajdzie bez wątpliwości duże zastosowanie.

Uważam, że przedstawiona praca spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim, oceniam ją jako bardzo dobrą i wnoszę o dopuszczenie mgr Michała Ryczkowskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Katowice, 20. 04. 2025


Marek Zrałek