

Testowanie nowych teorii poprzez precyzyjne obliczenia własności cząstki Higgsa

Streszczenie popularnonaukowe

Wydaje się dziwnym pytać „Dlaczego cząstki elementarne mają masę?”. Czyż nie jest to po prostu fundamentalna właściwość cząstek. Niestety, jak to ma często miejsce w nauce, odpowiedź nie jest taka prosta. W pewnych przypadkach może rzeczywiście tak być, ale takie modele nie opisują Wszechświata w którym żyjemy. Konsystentny model wyjaśniający dlaczego cząstki które obserwujemy oddziałują tak a nie inaczej musi polegać na czymś innym. Ten model, stworzony przez Glashowa, Weinberga, Salama (GWS) i innych w latach 60 ubiegłego wieku opiera się na zaproponowanym przez Brouta-Englerta-Higgsa (BEH) mechanizmie spontanicznego naruszenia symetrii dla wyjaśnienia fenomenu masywnych cząstek. Mechanizm BEH postuluje istnienie pola Higgsa, które poprzez oddziaływanie z obserwowanymi cząstkami, efektywnie generuje ich masy. Konsekwencją tego mechanizmu jest istnienie nowej cząstki, tak zwanego bozonu Higgsa.

Model GWS wraz z Chromodynamiką Kwantową tworzą Model Standardowy (MS) oddziaływań elementarnych – podstawę fizyki cząstek elementarnych. Jego ostatni niezobserwowany element – bozon Higgsa – został odkryty w Wielkim Zderzaczu Hadronów (*z ang.* LHC) w 2012 roku. Eksperymenty i teoria sugerują jednak, że nie jest to koniec odkryć w fizyce cząstek elementarnych. Do nierozwiązanych problemów należą np.: pochodzenie ciemnej materii, która najprawdopodobniej stanowi 23% budżetu energii Wszechświata i być może jest w formie jakichś jeszcze nie odkrytych cząstek; masy neutrin także nie mają zadowalającego wyjaśnienia w MS a argumenty teoretyczne odnoszące się do mechanizmu BEH sugerują, że MS powinien być raczej traktowany tylko jako teoria efektywna opisująca znane nam cząstki. Dlatego celem działania LHC było nie tylko odkrycie bozonu Higgsa ale także odkrycie nowych cząstek elementarnych którego prowadziłoby do tzw. teorii Poza Modelem Standardowym (PMS). To ostatnie się nie ziściło.

Nawet pomimo bardzo udanego (od strony technicznej) działania LHC, od roku 2012 nie udało nam się zaobserwować żadnych nowych cząstek elementarnych. Pomimo tego że LHC będzie działać jeszcze przez najbliższe 15 lat, możliwe jest że bez zwiększenia energii zderzeń nie zaobserwujemy bezpośredniego sygnału fizyki PMS. W takim wypadku rezultaty LHC będą ograniczone do coraz to precyzyjniejszych pomiarów własności cząstek MS – ze szczególnym uwzględnieniem bozonu Higgsa. Mimo iż wydaje się to mniej ekscytujące niż odkrycie nowych cząstek, nie musi tak wcale być. Należy pamiętać, że wiele teorii PMS jest proponowanych po to aby rozwiązać teoretyczne problemy związane z mechanizmem BEH. Takie teorie naturalnie zostawiają swój ślad na właściwościach odkrytego bozonu Higgsa. I dzięki niemu możemy je badać.

Głównym celem tego projektu jest zatem analiza fizyki PMS przez pryzmat właściwości bozonu Higgsa, gdzie dwie najważniejsze z tych właściwości to jego masa i sposoby rozpadu. Przewidzenie poprawnej masy bozonu Higgsa jest jednym z najważniejszych ograniczeń na modele fizyki PMS. W tej dziedzinie w ostatnich latach dokonał się ogromny postęp. Poza tym, bozon Higgsa jest także niestabilny i po wyprodukowaniu rozpada się w sposób dający się przewidzieć przez daną teorię. Tak zwane stosunki rozpadów, tzn. jak często dana cząstka rozpada się na określony stan końcowy, są ważną eksperymentalną obserwacją. Na tym skupia się ten projekt. Przewidując z dużą precyzją rozpady bozonu Higgsa w teorii PMS możemy albo wykluczyć dany model albo zaproponować efektywną strategię jego poszukiwań. Oczywiście dokładne przewidywania nie są łatwe. Aby móc wyciągnąć jakiegokolwiek wnioski na temat modelu fizyki PMS w kontekście zderzacza LHC lub jego przyszłej wersji – LHC Wysokiej Światłości – przewidywanie te muszą mieć dokładność większą niż 5%. Tak precyzyjne obliczenia dla każdego modelu PMS który interesuje fizyków jest trudne (i co ważniejsze może prowadzić do błędów). Dlatego pierwszym celem projektu jest automatyzacja takiego rachunku w dowolnym modelu fizyki PMS, z precyzją wystarczającą nie tylko dla obecnych ale i przyszłych eksperymentów. Będzie to wymagało wiedzy technicznej przy implementacji takich procesów jak i wglądu teoretycznego. Dla przykładu, rachunek powinien być zorganizowany tak aby zminimalizować pozostałą niepewność teoretyczną. Tak przygotowane narzędzie, pozwalające na precyzyjne rachunki rozpadów Higgsa, pozwoli wreszcie skupić się na fenomenologii interesujących modeli fizyki PMS.

Ostatecznie wynikiem projektu będzie analiza ograniczeń rzadziej rozpatrywanych modeli fizyki PMS w kontekście fizyki bozonu Higgsa. Wraz z coraz silniejszym ograniczeniem przez dane eksperymentalne znanych modeli konieczne jest spojrzenie poza nie. Nowe modele są także ważne w kontekście obecnych i przyszłych eksperymentów przy niskich energiach takich jak trwający pomiar współczynnika $g-2$ mionu w Fermilab'ie. Potwierdzenie rozbieżności z Modelem Standardowym ogłoszone przez Fermilab w tym roku powinno być połączone z fizyką Higgsa w ramach pełnego modelu fizyki PMS.

Podsumowując, w dającej się przewidzieć przyszłości bozon Higgsa może być jednym z niewielu dostępnych dla nas okien na fizykę poza Modelem Standardowym. Musimy uczynić co w naszej mocy aby je otworzyć.