

## W górę i w dół: wieloskalowe podejście do poszukiwań fizyki poza Modelem Standardowym

Oddziaływania podstawowych składników materii - elektronów, fotonów oraz kwarków, z których zbudowane są protony i neutrony - opisuje Model Standardowy fizyki cząstek elementarnych, bez wątpienia jedna z najbardziej udanych teorii w historii nauki. Wszystkie cząstki przewidziane przez Model Standardowy zostały zaobserwowane eksperymentalnie: ostatnią z nich był bozon Higgsa, odkryty w Wielkim Zderzaczu Hadronów (LHC) w Genewie w lipcu 2012 roku.

Okazuje się jednak, że istnieją w przyrodzie pewne zjawiska, których Model Standardowy nie potrafi wyjaśnić. Należą do nich natura i pochodzenie ciemnej materii we Wszechświecie, niezerowa masa neutrin, a także powód, dla którego liczby cząstek i antycząstek we Wszechświecie różnią się od siebie. Do niedawna teoretycy mieli podstawy sądzić, że nowa teoria „poza” Modelem Standardowym, czyli BSM, jest ściśle związana z właściwościami bozonu Higgsa i dokładnie z tego powodu spodziewali się odkryć w LHC wiele nowych cząstek. Jednak po dziewięciu latach funkcjonowania zderzacza i setkach wykonanych pomiarów, żadna z proponowanych teorii BSM nie znalazła potwierdzenia eksperymentalnego. Przy energii, lub *skali*, związanej z bozonem Higgsa nie znaleziono "nowego świata" cząstek elementarnych, a społeczność fizyków poczuła się nagle jak rozbitkowie zaginionieni w bezkresach oceanu.

Jednak, uzbrojeni w Kompas doświadczeń zgromadzonych przez dziesięciolecia badań, fizycy zidentyfikowali na naukowej mapie trzy dodatkowe obszary (skale energii), które mogą ukrywać fundamentalną teorię natury. Gdzieś bardzo daleko rozciąga się skala Plancka, kraina kwantowej grawitacji, gdzie siła oddziaływań grawitacyjnych jest porównywalna z siłą oddziaływań elektromagnetycznych i słabych, i przy której królują cząstki sto milionów/miliardów razy cięższe niż bozon Higgsa. Fizyka skali Plancka ma silną motywację teoretyczną, ale jednocześnie jest niezwykle trudna do zbadania eksperymentalnego. Znacznie bliżej nas zaczynamy dostrzegać inną skalę, z którą związane są cząstki uważane za źródło tzw. anomalii zapachowych, czyli znaczących fluktuacji statystycznych zaobserwowanych w ostatnich latach przez LHC w danych z rozpadów ciężkich mezonów. Te cząstki BSM mogą być jedynie odrobinę za ciężkie, aby można je było wyprodukować w obecnie działającym LHC, ale prawdopodobnie mieszczą się one w zakresie możliwości przyszłego, bardziej potężnego zderzacza. I wreszcie, wielu teoretyków uważa, że tuż przed naszymi oczami może rozciągać się całe morze tzw. lekkich mediatorów, około stukrotnie lżejszych od bozonu Higgsa. Cząstki te, których istnienie jest silnie motywowane zagadką ciemnej materii, wyjątkowo słabo oddziałują z Modelem Standardowym, co wyjaśnia, dlaczego do tej pory unikały detekcji. Jednak nowoczesne eksperymenty dysponujące gigantyczną ilością danych i bardzo dobrą redukcją tła dają nam szansę na odkrycie tych nieuchwytnych obiektów, tak jak podczas oglądania meczu piłki nożnej w telewizji HD jesteśmy w stanie dostrzec szczegóły trawnika, które były całkowicie niewidoczne w starszych telewizorach kineskopowych.

Głównym celem mojego projektu jest zainicjowanie długofalowego programu badawczego zmierzającego do ustalenia związku między trzema skalami energii fizyki BSM. Cel ten zamierzam osiągnąć dzięki połączeniu dobrze umotywowanych założeń teoretycznych oraz fenomenologicznej analizy danych doświadczalnych.

W podejściu "góra-dół" teoretyczne hipotezy dotyczące fizyki przy skali Plancka - oparte, na przykład, na matematycznych symetriach czy teorii przejść fazowych - zdefiniują określone warunki brzegowe dla wolnych parametrów rozważanych modeli BSM. Posługując się technikami kwantowej teorii pola będę w stanie wyprowadzić unikalne przewidywania dotyczące mas i siły oddziaływań nowych cząstek: zarówno tych znajdujących się w zasięgu przyszłego zderzacza protonów, jak i tych znacznie lżejszych, związanych ze skalą testowaną obecnie w eksperymentach poszukujących lekkich mediatorów. I odwrotnie, w podejściu "dół-góra" informacje uzyskane dzięki uwzględnieniu w sposób statystycznie spójny szerokiego wachlarza danych eksperymentalnych dostarczą cennych wskazówek przy konstruowaniu teorii wysokoenergetycznych.

Moim ostatecznym celem jest zbudowanie pomostu między różnymi zagadnieniami fizyki cząstek elementarnych, które na ogół analizowane są w sposób indywidualny. Historia pokazuje, że takie podejście często umożliwia odkrycie czegoś fundamentalnie nowego. Wyniki grantu pomogą zatem skierować przyszłe zasoby finansowe i intelektualne we właściwym kierunku.