

„Model Standardowy” fizyki cząstek elementarnych, opisujący podstawowe cząstki tworzące wszechświat oraz ich oddziaływania, jest jedną z najbardziej udanych teorii naukowych w historii. Odkąd przewidywał istnienie bozonu Higgsa, potwierdzone eksperymentalnie w 2012 roku, został on dodatkowo przetestowany przez pomiary przeprowadzone w Wielkim Zderzaczu Hadronów (LHC) w ośrodku CERN. Pomimo tego sukcesu, wiadomo, że Model Standardowy jest niekompletny i w niezmienionej postaci nie potrafi wyjaśnić np. oscylacji neutrin, czy natury „ciemnej materii”. Aby odpowiedzieć na te pytania i zidentyfikować nowe cząstki lub siły, wymagane jest poddanie Modelu Standardowego testom o jeszcze większej precyzji.

Po stronie eksperymentalnej, LHC niedawno rozpoczął swój trzeci okres operacji („Run 3”), a w latach 30-tych XXI wieku zostanie zmodernizowany, aby zderzać 6 miliardów cząstek na sekundę (obecnie 1 miliard). Jeśli chcemy w pełni wykorzystać te postępy, teoretyczna fizyka cząstek musi za nimi nadążyć. Pierwsze ślady nowych cząstek lub sił pojawiają się w wyniku niewielkich odchyleń między przewidywaniami teoretycznymi, a pomiarami eksperymentalnymi. Aby wykryć takie odchylenia, metody obliczeń teoretycznych muszą zostać udosконаłone, aby zwiększyć ich precyzję. Przewidywania Modelu Standardowego nie mogą być obliczone dokładnie. Zamiast tego dokonujemy serii przybliżeń w ramach tzw. „teorii zaburzeń”, w której kolejne przybliżenia „stałego rzędu” stają się coraz dokładniejsze przy wyższych rzędach, ale również coraz trudniejsze do obliczenia. Od lat 80. XX wieku rozwój zaawansowanych metod rachunkowych pozwolił na przejście od „wiodącego rzędu” LO (najprostsze przybliżenie) dwa rzędy wyżej przez NLO do NNLO, zmniejszając niepewność teoretyczną z 50–100% do poziomu procentowego.

Protony, cząstki ulegające zderzeniom w LHC, są cząstkami złożonymi: składają się z kwarków i gluonów, które w ramach Modelu Standardowego są opisywane przez „chromodynamikę kwantową” (QCD). Podczas gdy oddziaływania wysokoenergetyczne między kwarkami i gluonami są obliczalne w ramach teorii zaburzeń, ich rozkład w protonie nie jest. Aby dokonać przewidywań zderzeń proton-proton, polegamy na „faktoryzacji”, w której perturbacyjne obliczenia wysokoenergetyczne są uzupełniane o „funkcje rozkładu partonów” („PDF”), które opisują rozkład kwarków i gluonów w protonie. Faktoryzacja nie jest unikalnie zdefiniowana, co wprowadza niejednoznaczność w podziale wkładów między (specyficznym dla procesu) obliczeniem perturbacyjnym a uniwersalnymi PDF-ami. Wybór dokonany w tym podziale nazywa się „schematem faktoryzacji”. Tradycyjnie dokonywano bardzo prostego wyboru, ze względu na elegancję teoretyczną i prostotę obliczeniową. Jednak ostatnie badania sugerują, że alternatywne schematy mogą prowadzić do PDF-ów o pożądanych właściwościach, takich jak pozytywność. Niezależnie od tego, który schemat jest preferowany, wszystkie schematy dają prognozy o tej samej dokładności formalnej, a zatem porównanie obliczeń wykonanych w alternatywnych schematach daje możliwość oszacowania niepewności teoretycznej wynikającej z tej niejednoznaczności. W dążeniu do coraz większej precyzji zrozumienie tej niepewności prawdopodobnie okaże się niezbędne.

Aby poczynić postęp w tym kierunku, zamierzamy rozwinąć naszą ostatnią pracę, badając krajobraz schematów faktoryzacji, które zostały zaproponowane w przeszłości, i oceniając ich podobieństwa i różnice zarówno matematycznie, jak i numerycznie. Wyznamy PDF-y w różnych schematach faktoryzacji, zarówno poprzez modyfikację istniejących PDF-ów, jak i poprzez wykonywanie niezależnych dopasowań do danych eksperymentalnych, aby uzyskać PDF-y bezpośrednio w każdym schemacie. W połączeniu z modyfikacją obliczeń w rzędzie NLO, aby działały z PDF-ami w innych schematach, uzyskamy pierwszą systematyczną ocenę niepewności schematu faktoryzacji w rzędzie NLO i potencjalnie NNLO. W ramach tego programu prac zbadamy teoretyczne właściwości alternatywnych schematów, w tym dodatniość i zbieżność perturbacyjną, co potencjalnie może doprowadzić do opracowania rekomendacji nowego „standardowego” schematu, który zostanie przyjęty w przyszłości.