

Precyzyjne badania dla fizyki zderzaczy cząstek

W fizyce zderzaczy cząstek porównanie przewidywań teoretycznych z uzyskanymi z dużą dokładnością danymi eksperymentalnymi umożliwia zrozumienie efektów kwantowych, a tym samym weryfikację danej teorii. Jak dotąd tzw. Model Standardowy (MS) podstawowych oddziaływań dobrze opisuje dane. W 2012 roku widmo cząstek MS zostało uzupełnione odkryciem w zderzaczu hadronów LHC w CERN-ie pierwszej elementarnej cząstki skalarnej: bozonu Higgsa. Poszukiwania tej słabo oddziałującej cząstki były motywowane możliwymi efektami oddziaływań tej cząstki wynikającymi z precyzyjnych obliczeń w ramach MS. Podobnie, aby rozpoznać możliwy sygnał „nowej fizyki”, trzeba znać subtelne efekty kwantowe przewidywane przez Model Standardowy i eksperyment. Wiedza na temat przewidywań MS stanowi więc punkt odniesienia i solidną podstawę do nowych kierunków badań. To co nas nurtuje, to odpowiedzi na podstawowe pytania, takie jak: Jakie jest pochodzenie bozonu Higgsa, mas i tzw. zapachów cząstek? Jakie jest źródło ciemnej materii? I ostatecznie, jakie jest pochodzenie samego Modelu Standardowego? Pytania te stanowią inspirację do badań podstawowych w kierunku takich zagadnień, jak ewolucja Wszechświata z asymetrią materia-antymateria i efektami naruszenia symetrii CP, zrozumienie rodzaju elektroslabego przejścia fazowego czy modelowanie struktury cząstek (wysokoenergetyczne efekty kwantowe mogą ujawnić podstruktury obecnie uznawanych jako punktowe cząstek elementarnych).

Zderzacze cząstek pozwalają na zweryfikowanie możliwych odpowiedzi na powyższe pytania dotyczące pochodzenia i natury cząstek elementarnych. Eksploracja skal energii wielu teraelektronowoltów w LHC i planowanych zderzaczach dotyczy wielu fundamentalnych kwestii ewolucji Wszechświata, jego dynamiki i związku z modelami oddziaływań cząstek. W badaniach prowadzonych na zderzaczach symulacje procesów teoretycznych oraz weryfikacja nowych idei i modeli są możliwe przy użyciu generatorów Monte Carlo (MC). Zaangażowane w projekt krakowskie grupy fizyki cząstek IFJ PAN i UJ od kilkadziesiąt lat specjalizują się w konstruowaniu tego typu narzędzi. Krakowskie generatory MC, takie jak KKMC, BHLUMI, BHWIDE, PHOTOS i TAUOLA, są szeroko stosowane od czasu eksperymentu LEP (Large Electron-Positron) w CERN-ie w latach 1980-2000. W niniejszym projekcie dziedzictwo to zostanie utrwalone w kierunku pionierskich badań w kontekście istniejących (LHC, Belle II) jak i przyszłych (np. HL-LHC, FCC, ILC, CLIC) zderzaczy cząstek. Katowicki zespół zajmujący się teorią cząstek wzmocni te wysiłki dodając wiedzę na temat obliczeń poprawek kwantowych wyższych rzędów (tzw. „pętli”) dla diagramów Feynmana, które obejmują szerokie spektrum masywnych cząstek (co oznacza wiele parametrów i obliczenia bardzo skomplikowanych całek pętlowych).

Właściwe łączenie generatorów Monte Carlo z precyzyjnymi perturbacyjnymi poprawkami kwantowymi ma kluczowe znaczenie dla pomysłnego badania subtelnych efektów teoretycznych w dowolnym, obecnym lub przyszłym zderzaczu cząstek.

W ramach projektu zbadane zostaną efekty wyższych rzędów dla elektrodynamiki kwantowej i oddziaływań elektroslabych oraz wykonane zostaną symulacje MC procesów obecnie rozważanych lub potrzebnych w przyszłych zderzaczach cząstek. Opracujemy generator MC KKMC realizujący procesy $e^+e^- \rightarrow HZ \rightarrow 4f$ („fabryka” cząstek Higgsa) i $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$ (pomiar świetlności), trójpętlowe rozpady bozonu Z, rozpady leptonu tau z efektami hadronowymi i wielofotonowymi. Nowe wyniki dla poprawek wyższych rzędów w rozpadach bozonu Z i odpowiadających im obserwabli zostaną dodane do istniejących programów. Przy użyciu generatorów MC przeprowadzimy akceleratorowe symulacje sygnałów i testy niestandardowych efektów ciemnej materii i ciężkich neutrin.

Podjęte badania zostaną przeprowadzone we współpracy z naukowcami z Niemiec, Węgier, Szwajcarii, Ukrainy, UK i USA. W ten sposób katowickie i krakowskie grupy zajmujące się fizyką cząstek elementarnych zostaną wzmocnione i zyskają doświadczenie dzięki pracy w wymagającym międzynarodowym środowisku, dając szansę na utrzymanie wysokiego poziomu badań naukowych w tych ośrodkach. W skład zespołu wchodzi zarówno fizycy teoretycy, jak i eksperymentatorzy.