

W świetle naszego obecnego zrozumienia oddziaływań fundamentalnych, procesy z udziałem cząstek elementarnych są opisane przez kwantową teorię pola (QFT – ang. Quantum Field Theory). Amplitudy rozpraszania są jednymi z najważniejszych obiektów w QFT, ponieważ stanowią łącznik między przewidywaniami teoretycznymi a pomiarami eksperymentalnymi, wykonywanymi w zderzaczach cząstek, na przykład w Wielkim Zderzaczu Hadronów (LHC – ang. Large Hadron Collider) koło Genewy. Amplitudy rozpraszania są podstawowymi składnikami używanymi do określenia prawdopodobieństw zajścia różnych procesów zachodzących w zderzaczach cząstek. Aby dogłębnie zrozumieć fizykę cząstek elementarnych, niezbędne jest zatem opracowanie skutecznych metod obliczania amplitud rozpraszania na niezwykle precyzyjnym poziomie.

Niniejszy projekt skupia się na czysto gluonowym sektorze chromodynamiki kwantowej (ang. QCD – Quantum Chromodynamics), który ma znaczący przyczynek do zderzeń zachodzących w LHC. QCD jest teoretycznym opisem oddziaływań silnych (jednej z czterech podstawowych sił występujących w przyrodzie), gdzie gluony są cząstkami przenoszącymi oddziaływanie silne. W przeciwieństwie do fotonów w elektrodynamice kwantowej, gluony mogą oddziaływać ze sobą, ponieważ niosą tak zwany *kolor*, czyli ładunek odpowiedzialny za oddziaływanie silne. Amplitudy rozpraszania dla takich oddziaływań można podzielić na dwie podstawowe klasy: amplitudy drzewiaste, odpowiadające klasycznej granicy teorii oraz amplitudy pętlowe, które odpowiadają za wirtualne wzbudzenia kwantowe i stanowią poprawki wyższego rzędu. Tradycyjną metodą obliczania amplitud rozpraszania jest dobrze znana technika diagramów Feynmana, w której amplituda jest sumą wszystkich diagramów, które można narysować przy użyciu podstawowych "klocków" tej teorii, czyli najbardziej elementarnych sposobów oddziaływania pojedynczych cząstek. W przypadku oddziaływań gluonów ta metoda staje się jednak nieefektywna, nawet na poziomie drzewiastym, ponieważ te elementarne "klocki" są tak małe, że istnieje ogromna liczba diagramów, co czyni tę technikę kłopotliwą. Wyniki końcowe, jednakże, często okazują się niespodziewanie proste (w niektórych przypadkach jest to wręcz jeden człon dla dowolnej ilości gluonów), co sugeruje, że istnieje jakaś ukryta struktura lub symetria. Ta prostota wyników końcowych, która nie była widoczna w technice diagramów Feynmana, zainicjowała rozwój szerokiej gamy technik obliczania amplitud rozpraszania, kreując bardzo aktywną i fascynującą dziedzinę badań. Nowe techniki, oprócz tego, że są skuteczne, oferują również unikalny wgląd w strukturę teorii, mając przy tym różne punkty widzenia i źródło.

W ciągu ostatnich kilku dekad opracowano wiele różnych metod, od opartych na geometrii po metody analityczne. Całkiem niedawno, udało nam się zaoferować alternatywne sformułowanie teorii oddziaływań gluonów, wprowadzając nowy zestaw „cegiełek”, które pozwalają na wydajne obliczanie amplitud rozpraszania na poziomie drzewiastym. Takie cegiełki, zwane wierzchołkami, zbiera się w funkcję zwaną lagranżjanem, która w ogólności powinna zawierać wszystkie informacje potrzebne do obliczenia obserwabli.

Celem projektu jest opracowanie poprawek kwantowych do tego nowego lagranżjanu, tak aby możliwe było obliczanie amplitud nie tylko drzewiastych, ale także amplitud pętlowych. Okazuje się, że w lagranżjanie brakuje pewnych wkładów czysto kwantowych. Istnieją na przykład amplitudy, które znikają na poziomie drzewiastym, ale są niezerowe na poziomie pętlowym, a te nie mogą być zbudowane z wierzchołków w klasycznym lagranżjanie. Celem projektu jest zatem uzupełnienie tego nowego klasycznego lagranżjanu o brakujące człony, które wnoszą wkład do amplitud pętlowych. Pomyślnie wdrożenie projektu zapewni nowy, alternatywny i wydajny sposób obliczania amplitud rozpraszania na poziomie pętlowym, sformułowany w pełni w postaci lagranżjanu.