

## Popularnonaukowe streszczenie projektu

Prawdopodobnie każdy słyszał o kwarkach – cząstkach elementarnych, z których składają się protony i neutrony, z których z kolei zbudowane są jądra wszystkich atomów budujących nas samych. Niniejszy projekt dotyczy Chromodynamiki Kwantowej – teorii opisującej oddziaływanie kwarków i powstawanie różnych stanów materii kwarkowej.

W zasadzie, możnaby myśleć o kwarkach jak o cząstkach podobnych do elektronów, gdyby nie fakt, że każdy kwark ma dodatkowy „znacznik” – liczbę kwantową nazywaną przez fizyków kolorem (co oczywiście nie ma nic wspólnego z kolorami, których doświadczamy za pomocą wzroku). Kwarki mogą mieć różne kolory, a co za tym idzie musi istnieć jakiś sposób, aby go wymieniać. Wedle zasad leżących u podstaw współczesnej fizyki, nie jest możliwa komunikacja na odległość bez nośnika, który porusza się co najwyżej z prędkością światła. W szczególności nie jest możliwa wymiana koloru między kwarkami bez cząstki zwanej gluonem, która jest nośnikiem koloru. Matematyczna teoria tych skomplikowanych oddziaływań to Chromodynamika Kwantowa. Jest to teoria niewiarygodnie bogata oraz pełna nierozwiązanych zagadek. Na przykład, do dziś nie jest do końca dobrze zrozumiane, jak to się dzieje, że kolorowe kwarki i gluony łączą się ze sobą, tworząc protony i neutrony, które nie posiadają koloru.

Jednym z największych osiągnięć fizyki i współczesnej techniki są zderzacze cząstek. Jednym z nich jest Wielki Zderzacz Hadronów (LHC – ang. Large Hadron Collider), gdzie naukowcy badają czolowe zderzenia dwóch protonów przy wysokich energiach. Przyglądając się produktom takich zderzeń możemy badać wewnętrzną strukturę protonów z punktu widzenia kwarków i gluonów. Podstawowymi obiektami, potrzebnymi do porównania teorii i danych doświadczalnych, są tak zwane amplitudy rozpraszania – specjalne funkcje zespolone, opisujące wszystkie możliwe sposoby na które zderzające się pojedyncze kwarki i gluony produkują inne cząstki, głównie kwarki i gluony. Na przykład, możemy mieć amplitudę rozpraszania dla zderzenia dwóch gluonów, w wyniku którego powstaje para kwark–anty-kwark lub dwa gluony. Możemy również mieć amplitudy, opisujące produkcję wielu cząstek: gluonów i par kwark–anty-kwark. Amplitudy mogą być przedstawione jako zbiór tak zwanych diagramów Feynmana, gdzie każdy diagram odpowiada szczególnemu sposobowi na jaki cząstki mogą się dzielić lub łączyć, dając ostatecznie stan końcowy. Diagramy te są bardzo wygodną reprezentacją pewnych wyrażeń matematycznych. Całkowita amplituda jest dana przez sumę wszystkich możliwych diagramów Feynmana, które odpowiadają wszystkim możliwym sposobom, jakimi proces rozpraszania może zostać zrealizowany.

Obliczanie amplitud rozpraszania jest niezbędne do zrozumienia struktury materii z punktu widzenia jej najbardziej podstawowych składników, ale w ogólności jest bardzo trudne. Część trudności wynika z faktu, że wyrażenia matematyczne odpowiadające diagramom Feynmana są bardzo skomplikowane, poza najprostszymi procesami, w których kwarki i gluony dzielą się na inne kwarki i gluony bez ponownej absorpcji. Jednakże, nawet dla tych prostych procesów, liczba diagramów Feynmana, które trzeba obliczyć może być ogromna: na przykład amplituda rozpraszania dwóch gluonów, w wyniku którego powstaje 10 gluonów, składa się z 5348843500 diagramów Feynmana! Pomimo to, w zadziwiający sposób, wyrażenia na niektóre amplitudy mogą przyjąć prostą postać po zsumowaniu wszystkich diagramów. Najprostszymi, są tak zwane amplitudy niezachowujące skrętności (MHV – ang. maximally helicity violating amplitudes), których nazwa odpowiada szczególnej konfiguracji skrętności cząstek. Fakt ten zapoczątkował intensywnie poszukiwania alternatywnych metod obliczania amplitud rozpraszania – bez użycia pojedynczych diagramów Feynmana. Odkryto, że można rekurencyjnie zbudować amplitudy rozpraszania dla danej liczby cząstek, z amplitud dla mniejszej liczby cząstek.

Okazuje się, że jest nawet możliwe przeformułowanie całej Chromodynamiki Kwantowej w taki sposób, by oddziaływania były całkowicie opisywane przez efektywne bloki bezpośrednio związane z amplitudami MHV. W takim sformułowaniu teorii, istnieje znacznie mniej efektywnych diagramów Feynmana oraz teoria wykazuje nowe interesujące matematyczne właściwości.

Celem projektu jest badanie tego nowego formalizmu w nadziei, że pozwoli to na dalszy postęp nie tylko w obliczaniu amplitud rozpraszania, ale również w lepszym zrozumieniu teorii oddziaływań silnych.