

Celem projektu jest dalsze i pełniejsze zrozumienie chromodynamiki kwantowej (ang. QCD). Jest to uznana już powszechnie teoria opisująca oddziaływania silne, czyli także i jądrowe. Powstała ona w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku jako uogólnienie elektrodynamiki kwantowej - pierwszej w historii teorii pola poprawnie opisującej naszą rzeczywistość (dokładniej: świat elektronów i fotonów) na najbardziej fundamentalnym poziomie. Swój tryumf elektrodynamika zawdzięcza małej wartości stałej sprzężenia. Pozwala to na precyzyjne obliczanie jej przewidywań metodami rachunku zaburzeń. Analogicznie, chromodynamika opisuje hadrony (proton, neutron, mezony itp.) i ich oddziaływania. Jednak sytuacja jest tutaj o wiele bardziej subtelna. Hadrony okazują się być stanami związanymi kwarków i gluonów - podstawowych składników materii i to one stanowią odpowiedniki elektronów i fotonów. Po drugie, o ile fotony nie mają ładunku elektrycznego i nie oddziałują bezpośrednio, to ich odpowiedniki - gluony - mają ładunek kolorowy (odpowiedzialny za oddziaływania silne). W konsekwencji cząstki te mają skomplikowaną (nieabelową) strukturę sprzężeń bezpośrednich. Co więcej, w odróżnieniu od atomu, nie można rozbić np. protonu tak, żeby zaobserwować swobodne kwarki albo gluony. Składniki hadronów są permanentnie uwięzione na podobieństwo dwóch końców sznurka - jego przecięcie daje dwa sznurki, z których każdy ma znowu dwa końce. Już z tych przykładów widać, że chromodynamika kwantowa jest o wiele bardziej skomplikowana od elektrodynamiki i nic dziwnego, że jej weryfikacja doświadczalna trwa nadal. Dotyczy to także sił jądrowych, które są siłami van der Waalsa oddziaływań kolorowych. W odróżnieniu od efektywnego ładunku elektrycznego, który bardzo słabo zależy rozmiaru zachodzącego procesu, ładunek kolorowy silnie zmienia się ze skalą zjawiska. Dlatego też wyróżnia się dwa obszary zastosowań QCD. Rozpraszanie hadronów przy wysokich energiach i dużych przekazach pędu, które zachodzi na małych odległościach jest opisywane rachunkiem zaburzeń, gdyż ładunek kolorowy maleje wraz ze zmniejszaniem odległości. Natomiast przy większych rozmiarach (rzędu i ponad 1 fm) konieczny jest opis nieperturbacyjny.

Właśnie badania QCD w obszarze nieperturbacyjnym są celem projektu. Ogólnie chodzi o obliczenia mas hadronów, ich funkcji falowych, oraz oddziaływań przy niskich energiach, np. przesunięć fazowych. Konkretniej, projekt poświęcony jest obliczeniom nieperturbacyjnych amplitud hadronowych będących elementami słabych oddziaływań hadronów i leptonów. Amplitudy te są konieczne m.in. przy poszukiwaniach sygnatur nowej fizyki - spoza Modelu Standardowego. Przewidywania takie uzyskuje się w ramach sieciowego sformułowania QCD. Polega ono na obliczaniu metodami Monte Carlo całek feynmanowskich definiujących teorię kwantową *ab initio*. W praktyce są to symulacje Monte Carlo o olbrzymiej złożoności (dzisiaj jest to ok. 10^9 zmiennych). Głównym jednak wyzwaniem jest konstrukcja nowych, wyrafinowanych algorytmów, np. nieperturbacyjnej renormalizacji, które adekwatnie opisują skomplikowaną matematyczną strukturę teorii pola. Wykonawcy grantu są uznanymi specjalistami w tej dziedzinie.

Drugim zadaniem grantu jest kontynuacja badań QCD i jej modyfikacji, bardziej analitycznymi i intuicyjnymi metodami. Chodzi tutaj o wywodzącą się z podejścia sieciowego analizę opartą na redukcji wymiarowej, czy też komplementarne sformułowanie na stożku świetlnym. Uczestnicy projektu mają także i w tych dziedzinach wartościowe osiągnięcia, które uzasadniają kontynuację i rokuje dalsze ciekawe wyniki.