

Wszystkie znane cząstki elementarne oraz oddziaływania (z wyjątkiem grawitacji) są zawarte w tzw. Modelu Standardowym. Dostarcza on matematycznego opisu tych sił przy pomocy pól kwantowych. Oprócz znanych z życia codziennego oddziaływań elektromagnetycznych, opisanych polami elektronów i fotonów, oraz oddziaływań tzw. słabych, które np. są odpowiedzialne za niektóre rozpad radioaktywne, Model Standardowy opisuje oddziaływania silne, rządzące strukturą tzw. hadronów, czyli cząstek zbudowanych z kwarków i gluonów. Sama teoria oddziaływań kwarków i gluonów jest nazywana chromodynamiką kwantową (ang. quantum chromodynamics, QCD). Kwarki są cząstkami nieco podobnymi do elektronów, ale oprócz mniejszego (ułamkowego) ładunku elektrycznego, mają dodatkowy rodzaj ładunku, zwany kolorem. Gluony wymieniają kolor między kwarkami, czyli są odpowiedzialne za oddziaływania kolorowe kwarków. Ponadto, gluony mogą oddziaływać ze sobą, co czyni QCD teorią bardzo skomplikowaną. Interesującym aspektem teorii, jest to, że cząstki zbudowane z kwarków i gluonów obserwowane w przyrodzie, nie posiadają koloru. Jest to tzw. uwięzienie koloru.

Inną cechą hadronów, bezpośrednio związaną z tematem niniejszego projektu, jest ich tajemnicze zachowanie przy zderzeniach zachodzących z prędkością bliską prędkości światła. Wyobraźmy sobie cząstkę próbkującą taki rozpędzony hadron. Może to być kwark lub gluon z innego rozpędnionego hadronu, lub np. foton. Cząstka próbkująca typowo zderza się z jednym kwarkiem lub gluonem, ale okazuje się, że gęstość gluonów szybko rośnie z energią zderzenia, aż w końcu gluony dominują i "wypełniają" cały hadron. Można zadać pytanie, co stanie się gdy wciąż będziemy zwiększać energię? Obliczenia teoretyczne pokazują, że gluony tworzą rodzaj kondensatu, który ma pewne kolektywne właściwości. Przy dalszym zwiększaniu energii, gęstość gluonów przestaje rosnąć – jest to tzw. zjawisko saturacji gluonów. Jest ono związane z fundamentalną własnością pól gluonowych, które są rządzone nieliniowymi równaniami pola. Najważniejszym obecnym eksperymentem z hadronami rozpędnionymi do bardzo dużej prędkości jest Large Hadron Collider (LHC) w CERN, ale nie każde zderzenie zachodzi z udziałem hadronu, który jest w stanie saturacji gluonów. Takie przypadki można odfiltrować dzięki detektorom (a właściwie ich częścią, zwaną kalorymetrem) cząstek wyprodukowanych pod małymi kątami. Planuje się rozszerzenie niektórych obecnych detektorów o takie kalorymetry o doskonałej rozdzielczości. Innym kluczowym eksperymentem w kontekście poszukiwań efektów saturacji jest Electron Ion Collider (EIC), który zostanie zbudowany w USA. Mimo podjętych prób, nie udało się do tej pory jednoznacznie potwierdzić istnienia saturacji gluonów, choć można się doszukać jej znamion w danych eksperymentalnych.

Niniejszy projekt ma na celu stworzenie nowych narzędzi teoretycznych, które umożliwią obliczenia z dużą precyzją wielkości mierzalnych czułych na saturację gluonów, które następnie będzie można porównać z wynikami doświadczeń. Metody te muszą obejmować opis procesów z elementarnymi cząstkami oddziaływań silnych (kwarki, gluony), jak i opis samych hadronów przy wysokich energiach. Aby tego dokonać, rozszerzymy najnowsze metody kwantowej teorii pola, oraz pewne istniejące metody, nie używane do tej pory w reżimie saturacji gluonów. Celem projektu jest jednak nie tylko budowanie formalizmu teoretycznego, ale również jego implementacja w postaci programu komputerowego umożliwiającego obliczenia obserwowalnych efektów saturacji gluonów w zderzaczach LHC oraz EIC. Obliczenia takie są niezbędne aby było możliwe odkrycie tego fascynującego stanu materii.