

POPULARNONAUKOWE STRESZCZENIE PROJEKTU

Jednym z głównych wyzwań, przed którymi stoi fizyka jest zrozumienie podstawowej struktury materii. Wspólny wysiłek pokoleń fizyków ostatecznie doprowadził do sformułowania Modelu Standardowego fizyki cząstek elementarnych – kwantowej teorii pola podstawowych składników materii i ich oddziaływań (poza grawitacją, której kwantowa wersja nie jest jeszcze znana). W Modelu Standardowym kwarki i leptony odgrywają rolę podstawowych składników materii, które mogą oddziaływać ze sobą poprzez trzy różne rodzaje sił: elektromagnetyczne, słabe i silne. Każda z tych sił jest wynikiem wymiany cząstek nośników, takich jak fotony w oddziaływaniach elektromagnetycznych lub gluony w oddziaływaniach silnych. Wreszcie, cząstka Higgsa jest produktem ubocznym mechanizmu nadającego masę kwarkom, leptonom i nośnikom oddziaływań słabych. Wszystkie elementarne cząstki zawarte w Modelu Standardowym zostały potwierdzone przez obserwacje eksperymentalne trwające kilka dekad, których kulminacją było odkrycie cząstki Higgsa w Wielkim Zderzaczu Hadronów (Large Hadron Collider, LHC) w CERN-ie w Szwajcarii w 2012 roku.

Oddziaływania silne przenoszone przez gluony oddziałują jedynie na kwarki i na same gluony. Część Modelu Standardowego opisująca oddziaływania silne oraz dynamikę kwarków i gluonów nosi nazwę Chromodynamiki Kwantowej (Quantum Chromodynamics, QCD). Pod wpływem oddziaływań silnych kwarki i gluony łączą się ze sobą, tworząc złożone cząstki zwane hadronami, którymi są w szczególności protony i neutrony. QCD jest zatem niezbędna do zrozumienia podstawowej struktury zwykłej materii, ponieważ jądro atomów jest złożone z protonów i neutronów. Co więcej, masa kwarków i elektronów pochodzących z mechanizmu Higgsa stanowi jedynie niewielki ułamek masy zwykłej materii, podczas gdy główna jej część pochodzi od energii wiązania kwarków i gluonów w hadrony, a zatem zależy od struktury oddziaływań QCD. Niestety, dokładny teoretyczny opis zjawisk niskoenergetycznych w QCD, jak na przykład powstawanie hadronów i ich zderzenie przy niskich energiach, jest niezwykle złożony. Z kolei rozpraszanie hadronów pod dużymi kątami rozpraszania jest bardzo precyzyjnie kontrolowane zarówno teoretycznie, jak i eksperymentalnie, gdyż ze względu na właściwość asymptotycznej swobody QCD jest bezpośrednio determinowane przez rozpraszanie pojedynczych kwarków lub gluonów wewnątrz hadronów.

Z badań teoretycznych wynika, że oprócz dynamiki właściwej opisowi procesów niskoenergetycznych i dynamiki rządzącej procesami wysokoenergetycznymi występuje trzeci reżim QCD. Jest on istotny przy opisie rozpraszania wysokoenergetycznych pod umiarkowanymi kątami rozpraszania, który efektywnie pozwala sondować skład partonowy zderzających się hadronów przy różnych, coraz to krótszych skalach czasowych. Przy zwiększaniu energii zderzenia gęstość kwarków, a zwłaszcza gluonów występujących w hadronach, rośnie wykładniczo. W końcu, gdy gęstość gluonów jest wystarczająco duża, nieliniowe oddziaływania QCD hamujące wykładniczy wzrost gęstości gluonów zaczynają odgrywać istotną rolę. Stan ten nosi nazwę nasycenia gluonowego (gluon saturation). Zderzenia hadronowe w tym nieliniowym reżimie wysokoenergetycznym są zdominowane przez wielokrotne rozpraszanie między kwarkami i gluonami, zamiast pojedynczego rozpraszania pod dużymi kątami. W ostatnich latach badano liczne przejawy efektów nasycenia gluonowego, porównując teoretyczne przewidywania jakościowe z danymi eksperymentalnymi dotyczącymi zderzeń elektron-proton, proton-proton lub proton-jądro przeprowadzanych na różnych akceleratorach cząstek. Jak dotąd nie udało się jednak przedstawić żadnego jednoznacznego dowodu występowania stanu nasycenia gluonowego, częściowo z powodu ograniczonej ilości danych w badanym obszarze kinematycznym, w którym oczekiwano występowania takiego stanu, ale przede wszystkim z powodu bardzo ograniczonej precyzji dostępnych przewidywań teoretycznych dotyczących tego efektu.

Wraz z kontynuacją zbierania danych w LHC i przyszłą konstrukcją zderzacza elektronowo-jonowego (Electron-Ion Collider, EIC) w BNL w USA, który będzie przeprowadzał zderzenia elektron-proton i elektron-jądro, w następnych dziesięcioleciach spodziewamy się otrzymania dużej ilości nowych danych eksperymentalnych istotnych dla badania stanu nasycenia gluonowego. Z tego powodu kluczowe jest rozwinięcie istniejącej teorii w celu zwiększenia precyzji prowadzonych obliczeń. Głównym celem tego projektu jest właśnie zbadanie i uwzględnienie wkładów różnych typów poprawek niewiodących w teoretycznym opisie nieliniowego reżimu QCD przy wysokich energiach w celu uzyskania dokładniejszych przewidywań dotyczących zderzeń w EIC i LHC. Pozwoli to na rozstrzygnięcie kwestii występowania stanu nasycenia gluonowego i zakresu ważności jego opisu, a tym samym na uczynienie kolejnego ważnego kroku w kierunku pełniejszego zrozumienia QCD oraz struktury protonów i neutronów.