

Chromo-magnetyczne gluony w termodynamice QCD

Chromodynamika kwantowa (QCD – Quantum Chromo-Dynamics) jest współczesną teorią silnych oddziaływań, w tym i sił jądrowych, będąc jednocześnie częścią tzw. Standardowego Modelu cząstek elementarnych. Wyjaśnienie mechanizmu powstawania masy protonu ma podstawowe znaczenie dla tworzenia się materii we Wszechświecie po Wielkim Wybuchu. Z uwagi na specyficzną własność QCD, zwaną asymptotyczną swobodą, pojawia się *uwięzienie* podstawowych cząstek QCD (kwarki i gluony) w stanach złożonych (hadrony). Pary składające się z kwarku i antykwarku tworzą kondensat, co prowadzi do *spontanicznego łamania* globalnej symetrii QCD. Prowadzi to do pojawienia się posiadających masę hadronów, zarówno w stanach podstawowych jak i na drabinie rezonansowej. Te dwa efekty, uwięzienie i spontaniczne łamanie symetrii, są nieodtworzalne w żadnym teoretycznym modelu opartym na prostym schemacie rozwinięć opartym na uproszczonym modelu stanu podstawowego. Tak więc, standardowym obecnie podejściem jest wykorzystanie odpowiednich symetrii systemu celem stworzenia efektywnej teorii będącej przybliżeniem QCD w ramach danego zakresu parametrów. Pozostaje jednak wciąż wyzwaniem stworzenie modelu dającego zadowalający jednoczesny opis zagadkowego związku pomiędzy obydwoma efektami. Jest to kluczowe zagadnienie dla zrozumienia fizyki młodego Wszechświata, którego temperatura sięgała 10^{12} Kelvina (dla porównania – temperatura wnętrza Słońca jest rzędu 10^7 Kelvina) oraz fizyki gwiazd zwartych, których gęstość jest wielokrotnie większa niż gęstość otaczającej nas materii.

Głównym celem obecnego projektu jest wyjaśnienie zależności pomiędzy pojawieniem się masywnych hadronów a uwięzieniem kwarków i gluonów w skrajnych warunkach. Zwykła składająca się z hadronów materia przechodzi w stan plazmy kwarkowo-gluonowej przy wysokich temperaturach i/lub przy wielkich gęstościach. Takie *przejście fazowe* jest spowodowane znaczną zmianą silnego oddziaływania przenoszonego w środowisku przez gluony. Zatem podstawowym pytaniem jest sposób opisu modyfikacji własności gluonów w warunkach zbliżonych do przejścia fazowego QCD i wychwycenie kluczowych aspektów z morza dostępnych parametrów. Jak dotąd, numeryczne symulacje QCD i doświadczenia z zakresu wysokoenergetycznych zderzeń ciężkich jonów odkryły wiele nietrywialnych zjawisk, ale wciąż nie ma ich spójnego wspólnego wyjaśnienia. Celem projektu jest wypełnienie tej luki i osiągnięcie jakościowego zrozumienia wewnętrznych własności QCD i hadronowej struktury fazowej.

Projekt nasz ma wielkie znaczenie dla stworzenia prostszego obrazu tajemniczych własności QCD. Nasze wielowątkowe badania oferują podstawowy opis skomplikowanych zjawisk związanych ze symetiami leżącymi u podstaw teorii i z topologią QCD. Zostanie również przeprowadzona weryfikacja naszych przewidywań z wynikami doświadczeń ciężkojonowych oraz numerycznych symulacji modelowych. Będzie to miało duże znaczenie dla identyfikacji mierzalnych efektów przejścia fazowego QCD i jej zjawisk krytycznych.