

Celem projektu jest znalezienie opisu plazmy kwarkowo-gluonowej na bardzo wczesnych etapach jej ewolucji. Na ziemi plazma kwarkowo-gluonowa jest rodzajem cieczy, która powstaje w zderzeniach ciężkich jąder atomowych w eksperymentach akceleratorowych w Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) w Brookhaven lub w cernowskim eksperymencie ALICE w LHC. W wyniku zderzenia dochodzi tam do pojawienia się w detektorach kilkudziesięciu tysięcy cząstek. Już Fermi i Landau w latach 40 i 50 poprzedniego wieku odgadli, że w tego typu sytuacji powinien się stosować opis statystyczny w języku hydrodynamiki relatywistycznej. Prawie 15 lat temu oczekiwania te zostały definitywnie potwierdzone. Nie było to wcale oczywiste, bo spodziewamy się, że przy odpowiednio wielkich energiach w konsekwencji zderzenia powinien się pojawić gaz słabo oddziałujących kwarków i gluonów: to właśnie sugeruje własność asymptotycznej swobody, jedna z podstawowych cech oddziaływań silnych. Jednak w RHIC i LHC wyraźnie obserwuje się efekty kolektywne, charakterystyczne dla cieczy, a nie gazu: rozkłady obserwowanych cząstek niosą informację o geometrii zderzenia (jest to tak zwany “przepływ eliptyczny”). Ciecz tę nazywamy plazmą kwarkowo-gluonową, choć nie jest jasne, na ile można ten stan materii uważać za zbiorowisko indywidualnych kwarków i gluonów, a na ile jest to stan kwantowy nie posiadający takiej wielocząstkowej interpretacji. Istotne jest, że przepływ tej cieczy jest dysypatywny: wiąże się ze wzrostem entropii. Jest to efekt związany z lepkością. Ponieważ współczynnik lepkości plazmy okazuje się być bardzo mały w stosunku do gęstości entropii, to często mówi się, że jest to najbardziej doskonała (najmniej lepka) ciecz w przyrodzie. Warto też zaznaczyć, że w ALICE temperatura plazmy kwarkowo-gluonowej przekracza 5 trylionów stopni!

Teoria podstawowa oddziaływań silnych, chromodynamika kwantowa, jest teorią trudną i nie dysponujemy narzędziami pozwalającymi na ilościowy opis dynamiki plazmy kwarkowo-gluonowej w jej ramach. Fenomenologiczny opis za pomocą hydrodynamiki relatywistycznej nie wymaga na szczęście rozwiązania chromodynamiki kwantowej, ale wyprowadzenie choćby w przybliżony sposób opisu hydrodynamicznego z tej teorii podstawowej jest szalenie ważnym zadaniem. W projekcie problematyka ta badana będzie w między innymi w modelach wykazujących pewne podobieństwo do chromodynamiki kwantowej, w których jednak dysponujemy skutecznymi narzędziami matematycznymi pozwalającymi na wykonywanie obliczeń. Choć tak uzyskane wyniki nie stosują się bezpośrednio do rzeczywistego świata, to dają przynajmniej jakościowy obraz, który może w perspektywie pomóc w uzyskaniu fizycznie ciekawych przewidywań. Ważnym przykładem takiego modelu jest $N=4$ supersymetryczna teoria Yanga-Millsa. Podobnie jak w chromodynamice, oddziaływanie silne w ramach tej teorii jest konsekwencją wymiany gluonów. Jednak zamiast kwarków, w teorii tej występuje bardzo szczególnie dobrany zestaw innych cząstek fermionowych a także cząstek będących bozonami. W konsekwencji teoria ta posiada niezwykle własność: jest ona pewnym szczególnym rozwiązaniem teorii strun! Okoliczność ta pozwala na przedstawienie jej w zupełnie inny sposób (zwany dualnym), który umożliwia obliczanie obserwabli (w sensie mechaniki kwantowej) posługując się metodami klasycznymi (nie kwantowymi!). Ponieważ ta dualna teoria określona jest w czasoprzestrzeni posiadającej dodatkowy wymiar przestrzenny, to mówi się tu zwykle o relacji holograficznej. Holografia jest bardzo fundamentalnym aspektem teorii strun, który znajduje w tym kontekście zastosowanie jako metoda obliczeniowa.