

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.

Podstawowa teoria silnych oddziaływań, chromodynamika kwantowa, jest trudna i nie dysponujemy narzędziami matematycznymi koniecznymi do efektywnego wykorzystania jej w ilościowym opisie plazmy kwarkowo-gluonowej. Na szczęście jednak stany złożonych systemów nawet dalekie od równowagi wykazuje pewne uniwersalne właściwości. Te właściwości, wynikające z bardzo ogólnych zasad, są opisywane przez relatywistyczną dynamikę płynów. Opis ten był przedmiotem intensywnych badań w ostatnich latach, głównie ze względu właśnie na zastosowania do fizyki plazmy kwarkowo-gluonowej. Szalenie ważne jest zrozumieć, kiedy opis hydrodynamiczny jest stosowalny i wyprowadzić jego parametry z podstawowej teorii mikroskopowej, choćby w przybliżony sposób. Jednym z zaskakujących spostrzeżeń dokonanych ostatnio jest to, że istnieją pewne wielkości fizyczne które zachowują się w uniwersalny sposób (niezależnie od warunków początkowych), co można określić jako istnienie rozwiązań atraktorowych, które określają dynamikę układu nawet wtedy, gdy jest on w stanie dalekim od lokalnej równowagi. Wiąże się to również z zastosowaniem nowatorskich techniki matematycznych znanych jako teoria resurgencji.

Omawiany projekt badawczy przewiduje formułowanie i analizę modeli, które stanowiłyby dogodny teoretyczny laboratorium dla badania uniwersalnych aspektów zachowania hydrodynamicznego. Planujemy badać związek między warunkami przyczynowości a występowaniem atraktorów oraz sposoby, w których ślady stanu początkowego mogą przetrwać w reżimie hydrodynamicznym. Planujemy również rozwijanie technik teorii resurgencji i szukanie fizycznej interpretacji jej kluczowych cech.