

We współczesnej fizyce istnieją cztery podstawowe oddziaływania: grawitacyjne, elektromagnetyczne, słabe i silne. Ten projekt jest poświęcony badaniu tego ostatniego. Teoria oddziaływań silnych nazywa się chromodynamiką kwantową (QCD). Oddziaływania silne są odpowiedzialne za elementarne cegiełki, zwane kwarkami i gluonami, wiążące się w protony, neutrony i inne cząstki. Ta sama interakcja tworzy siły jądrowe, które wiążą protony i neutrony w jądra atomowe, które są centrami atomów, które z kolei są budulcem wszystkiego, co możemy zobaczyć w życiu codziennym. Co ciekawe, masa składników protonowych lub neutronowych wynosi tylko 2% masy cząstki. Oznacza to, że masa tych cząstek jest generowana przez oddziaływania silne, a zatem większość masy każdego z nas jest generowana przez oddziaływania silne! Dlatego QCD jest ważną częścią Modelu Standardowego fizyki cząstek elementarnych. Pomimo tego, QCD nie jest w pełni zrozumiana, ponieważ, ze względu na złożoność tej teorii, jej rozwiązania analityczne nie są jeszcze znane. Jednym z najciekawszych pytań otwartych jest to, czy możemy znaleźć wolne kwarki i gluony. I wydaje się, że odpowiedź brzmi nie. Jednak w ekstremalnych warunkach bardzo wysokiej temperatury i ciśnienia możliwe jest wytworzenie specjalnego stanu materii, który powstaje z oddzielonych kwarków i gluonów – plazmy kwarkowo-gluonowej (QGP). Jedyne badania ab-initio właściwości silnie oddziałującej materii przewidują płynną zmianę z gazu cząstek w QGP. Badania te są jednak dość ograniczone ze względu na problemy numeryczne. Niemniej jednak badania właściwości materii QCD w modelach efektywnych sugerują, że silnie skompresowana materia QCD może wykazywać tak zwane przejście fazowe pierwszego rzędu z krytycznym punktem końcowym, które jest w pewien sposób podobny do wrzenia wody. Ten i inne przewidywane efekty mogą skutkować wysoce nietrywialną strukturą fazową teorii.

Jednocześnie jednym z kluczowych celów eksperymentów zderzeń jądrowych przy wysokich energiach jest badanie diagramu fazowego QCD. Porównując dane eksperymentalne z różnymi obliczeniami modelowymi, można wywnioskować o pewnych właściwościach silnie oddziałującej materii w ekstremalnych warunkach, gdzie istniejące podejścia teoretyczne nie mają zastosowania. Jednak ze względu na brak jednoznacznych przewidywań dokonanych na podstawie obliczeń analitycznych, nawet w celu interpretacji danych eksperymentalnych, konieczne jest zastosowanie efektywnych i fenomenologicznych modeli.

Jedną z takich najnowocześniejszych metod opisu zderzeń ciężkich jonów jest symulacja takiego procesu za pomocą modeli hybrydowych opartych na hydrodynamicznej symulacji ewolucji gorącej i gęstej materii. Modele te wymagają jednak wkładu fizycznego w postaci równania stanu, które zawiera wszystkie informacje o właściwościach termodynamicznych układu, które wpływają na jego ewolucję.

Projekt ten poświęcony jest zagadnieniu konstrukcji efektywnego równania stanu materii QCD, mającego zastosowanie do hydrodynamicznych symulacji zderzeń ciężkich jonów w obszarze skończonej temperatury i gęstości diagramu fazowego QCD. Takie równanie stanu jest niezbędne do modelowania zderzeń ciężkich jonów w zakresie średnich energii w układzie środka masy. Jest to przedmiot szczególnego zainteresowania w przyszłych i trwających eksperymentach, których głównym celem jest określenie struktury fazowej QCD (NA61, STAR, MPD, CBM). Korzystając z modelu hybrydowego, będziemy symulować zderzenia ciężkich jonów za pomocą różnych równań stanu i przeprowadzimy analizę a-posteriori właściwości materii QCD w oparciu o dane uzyskane w nierozwiązywalnych obszarach diagramu fazowego, aby ograniczyć położenie punktu krytycznego i linia przejścia fazowego pierwszego rzędu.

W wyniku tych prac udostępnimy społeczności zestaw wiarygodnych równań stanu do hydrodynamicznych symulacji zderzeń ciężkich jonów w szerokim zakresie energii środka masy, a także prognozy i podstawy teoretyczne dla kluczowych obserwacji w przyszłych i trwających eksperymentach.