

Głównym celem projektu jest zbadanie właściwości dynamicznych gorącej i silnie oddziałującej materii zwanej plazmą kwarkowo-gluonową (z ang. QGP). Materia w tym niezwykłym stanie składa się z kwarków i gluonów uwolnionych z cząstek takich jak protony, tworzących standardową materię jądrową, z którą mamy do czynienia na co dzień. QGP była jednym z etapów, przez który Wszechświat przechodził tuż po Wielkim Wybuchu, obecnie zaś powstaje jedynie w warunkach doświadczalnych, w wyniku zderzeń ciężkich jonów, mających na celu zbadanie podstawowej struktury materii. Jednak ze względu na wyjątkowe właściwości oddziaływań silnych oraz niezwykle krótki czas istnienia plazmy, nie jesteśmy w stanie bezpośrednio zaobserwować QGP w żadnym eksperymencie. Dlatego wraz z badaniami doświadczalnymi niezwykle ważne są również analizy teoretyczne i fenomenologiczne, oparte o teorię oddziaływań silnych – chromodynamikę kwantową (z ang. QCD). Wyniki takich badań nie tylko dopełniają dane zebrane przez detektory, ale również często przewidują późniejsze odkrycia.

Na początku XXI wieku badania doświadczalne potwierdziły teoretyczne sugestie, iż plazma kwarkowo-gluonowa jest najbardziej idealnym płynem, który może występować w naturze, ze względu na wyjątkowo mały stosunek jej lepkości ścinania do gęstości entropii. Dlatego też zaczęto badać inne parametry transportu, takie jak lepkość objętościowa, przewodność elektryczna oraz cieplna, i inne, wskazujące na szczególne właściwości QGP. Jednak dokładna zależność temperaturowa parametrów transportu plazmy nadal nie została określona ze względu na niezwykle złożoność procesów, które w niej zachodzą. Dodatkowo wiadomo, że jej właściwości zależą od liczby rodzajów (zapachów) kwarków obecnych w układzie. W najbardziej rozpowszechnionym opisie QGP zawiera gluony, kwarki lekkie (górne i dolne) oraz dziwne, lecz dodatkowe uwzględnienie ciężkich zapachów, takich jak kwarki powabne, jest przyszłościowym kierunkiem w badaniu silnie oddziałującej materii. Ciężkie kwarki oraz ich związane stany – kwarkonia - są wytwarzane na wczesnych etapach zderzeń ciężkich jonów, przed uformowaniem plazmy kwarkowo-gluonowej. Stąd one uczestniczą we wszystkich etapach jej ewolucji. Dodatkowo, biorąc pod uwagę, że masy ciężkich kwarków są dużo większe od skali temperatur, w której QGP jest zazwyczaj badana, są one uważane za niezwykle skuteczne narzędzie w badaniu jej właściwości dynamicznych.

Uwzględnienie w modelach teoretycznych wszystkich zjawisk zachodzących w gorącej, silnie oddziałującej materii w praktyce nie jest możliwe. Niemniej jednak, połączenie kilku istotnych aspektów dostarcza nowych informacji o właściwościach i ewolucji QGP. Dlatego celem tego projektu jest zbadanie właściwości transportowych plazmy kwarkowo-gluonowej, w której równaniu stanu również biorą udział kwarki powabne. Do obliczeń zostanie wykorzystany model kwazicząstek, w którym kwarki i gluony są postrzegane jako masywne, prawie nieoddziałujące kwazicząstki, których efektywne masy zależą od temperatury oraz siły oddziaływań wewnątrz układu. Oddziaływania pomiędzy kwazicząstkami charakteryzuje efektywna stała wiązania wyznaczona z równania stanu obliczonego metodą ab-initio QCD na sieci (z ang. lattice QCD). Badania pozwolą na uzyskanie dotąd nieznanych wartości lepkości ścinania i objętościowej, przewodności elektrycznej oraz przestrzennego współczynnika dyfuzji i współczynnika utraty energii kwarków powabnych na skutek oddziaływania z ośrodkiem. W efekcie zostanie uzupełniona luka na temat właściwości dynamicznych QGP w obecności powabnych kwarków biorących udział w jej równaniu stanu.

Ze względu na drastyczne zmiany zachodzące podczas ewolucji plazmy kwarkowo-gluonowej, początkowo jej stan znacząco odbiega od równowagi termodynamicznej. W związku z tym analiza również uwzględni anizotropię układu w przestrzeni pędów, poszerzając wiedzę na temat zależności parametrów ośrodka od zmian składowych pędu kwazicząstek. Ponadto, zostanie uwzględniony skończony (niezerowy) potencjał chemiczny kwarków, który określa stan układu względem równowagi chemicznej i przybliży fenomenologiczny opis QGP do czynników występujących w rzeczywistości. W takich warunkach zostaną obliczone podatności liczby kwarków na zmiany potencjału chemicznego. Szczególnie interesująca jest zależność tych wielkości od temperatury w okolicach temperatury pseudokrytycznej, związanej z przemianą plazmy kwarkowo-gluonowej w materię hadronową.

Efektywny model kwazicząstek już odniósł sukcesy w opisie współczynników transportu izotropowej plazmy zawierającej jedynie gluony lub dodatkowo kwarki lekkie i dziwne. Dlatego spodziewamy się, iż uwzględnienie kwarków powabnych, zjawiska anizotropii oraz skończonego potencjału chemicznego pozwoli uzyskać nowe informacje na temat właściwości dynamicznych plazmy kwarkowo-gluonowej i zjawisk zachodzących podczas jej ewolucji w czasie. Wyniki będą mogły zostać wykorzystane w hydrodynamicznych symulacjach QGP, będących kolejnym skutecznym narzędziem w badaniach procesów zachodzących w wyniku zderzeń ciężkich jonów.