

Abstract

The main theme of this dissertation is the physics of strongly interacting matter at finite temperatures and finite baryon densities. The results presented were obtained using methods of gauge/gravity duality and a particular generalization of the Nambu-Jona-Lasinio model. The inspiration for these studies came from two physical questions pertaining to the phase diagram of quantum chromodynamics. The first concerns the region of intermediate baryon density and low temperature, where the so-called quarkyonic phase has been conjectured to appear. The second addresses the behaviour of the chiral condensate at finite temperature.

Large- N QCD matter at intermediate baryon density and low temperatures has been conjectured to be in the so-called quarkyonic phase, i.e., to have a quark Fermi surface and on top of it a confined spectrum of excitations. It has been suggested that the presence of the quark Fermi surface leads to a homogeneous phase with restored chiral symmetry, which is unstable towards creating condensates breaking both the chiral and translational symmetry. Motivated by these exotic features, we investigate properties of cold baryonic matter in the single flavor Sakai-Sugimoto model searching for a holographic realization of the quarkyonic phase.

The second question concerns the behaviour finite temperature chiral condensate for $2 + 1$ quark flavors. It is considered in the framework of the hadron resonance gas model. This requires some dynamical information; specifically the hadronic sigma terms which express the dependence of the hadron spectrum on the current quark masses. For this, various non-perturbative effective methods are employed – based on the holographic model of Sakai and Sugimoto, and on the Nambu-Jona Lasinio model. Using these insights, hadronic sigma terms are discussed in the context of recent first principles results following from lattice QCD and chiral perturbation theory. For the condensate, in generic agreement with lattice data it is found that chiral symmetry restoration in the strange quark sector takes place at higher temperatures than in the light quark sector. The importance of this result for a recently proposed dynamical model of hadronic freeze-out is outlined.

Streszczenie

Motywy przewodnim prezentowanej rozprawy doktorskiej jest badanie silnie oddziałującej materii w skończonych temperaturach i skończonych gęstościach barionowych. Przedstawione wyniki zostały uzyskane za pomocą metod bazujących na dualności grawitacja/teoria z cechowaniem oraz szczególnej wersji modelu Nambu-Jona-Lasinio. Inspiracją dla prowadzonych badań były dwa pytania odnoszące się do diagramu fazowego chromodynamiki kwantowej. Pierwsze dotyczy obszaru pośrednich gęstości barionowych oraz niskich temperatur gdzie spekulowano istnienie fazy Quarkyonic. Drugie pytanie dotyczy zachowania kondensatu chiralnego w skończonych temperaturach.

W oparciu granicę dużego N w QCD dla pośrednich gęstości barionowych wysnuto hipotezę istnienia nowej fazy materii jądrowej, tzw. fazy Quarkyonic, charakteryzującej się morzem Fermiego kwarków i spektrum wzbudzeń złożonym ze stanów singletowych w kolorze. Uwolnienie dużej liczby stopni swobody sugeruje możliwość, że w fazie Quarkyonic symetria chiralna nie jest spontanicznie naruszona. Faza taka, z uwagi na oddziaływania między kwarkami, może być niestabilna na formowanie kondensatów łamiących symetrię translacyjną i lokalnie symetrię chiralną. Spekulacje te stały się motywacją dla podjęcia studiów nad tym zagadnieniem w modelu Sakai-Sugimoto z jednym bezmasowym zapachem kwarku.

Drugie z poruszanych zagadnień dotyczy kondensatu chiralnego dla przypadku $2 + 1$ zapachów kwarków, który jest obliczony w modelu gazu rezonansów hadronowych dla przypadku skończonych temperatur. Rachunek taki wymaga wiedzy o dynamice hadronów w szczególności wymaga znajomości hadronowych sigma członów, które określają zależność mas hadronów od gołych mas kwarków. Wiedza ta uzyskiwana jest z metod nieperturbacyjnych opartych o dualność grawitacja/teorie z cechowaniem oraz model Nambu-Jona-Lasinio i konfrontowana z wynikami uzyskanymi w symulacji chromodynamiki na sieci oraz z chiralnego rachunku zaburzeń. Kondensat chiralny kwarków dziwnych znika w wyższych temperaturach niż kondensat chiralny kwarków lekkich. Jest to wynik dobrze znany z symulacji chromodynamiki na sieci. Wynik ten jest istotny w kontekście zaproponowanego niedawno modelu zjawiska "freeze-out".