

Abstract

The Thesis presented below describes research into problems of non-Abelian gauge theory dynamics at strong coupling, conducted within the framework of gauge/string duality. The main theme for considering the set of questions we analysed follows from the on-going programme of heavy-ion collisions research, which recently brought to light the existence of a new state of matter known as quark-gluon plasma. Alongside this discovery a series of questions emerged, spurred by the fact, that the properties of the new state of matter did not follow the preliminary forecasts of perturbative QCD. It appeared, that contrary to the expectations the collision product is strongly coupled, and very rapidly forms a viscous fluid, which subsequently exhibits flow and transition to hadrons. The explanation of these phenomena is unavailable from first principles in QCD. Therefore AdS/CFT correspondence of string theory has been invoked to study the model of gauge plasma present in super-Yang-Mills theory, which is a part of the holographic correspondence.

The Thesis attacks the problem of early thermalisation within the holographic model and shows how such a process may occur in real-time non-Abelian strongly coupled theory. Furthermore, by exploring holographic methods, features of thermalising fluid are studied, including its temperature and entropy evolution. Inspired by the results, a more fundamental question is asked on the nature of hydrodynamics *per se*, and it is shown, that it can not exist as an infinite expansion, since the corresponding gradient sum does not converge. The reasons for this are found to follow from a beautiful non-perturbative mechanism revealing in this way an existence of new degrees of freedom, initially excised by hydrodynamics construction. Finally a way of merging holographic description with field theory is pursued, resulting in formulation of extended hydrodynamics incorporating the non-equilibrium degrees of freedom, found during the hydrodynamics convergence analysis.

Streszczenie

Niniejsza rozprawa doktorska poświęcona jest problematyce badań nad własnościami silnie sprzężonej nieabelowej teorii cechowania w ramach korespondencji AdS/CFT. Główną motywacją do pochylenia się nad kręgiem zagadnień poruszanych w rozprawie jest aktywny program badań nad zderzeniami ciężkich jonów, który zaowocował niedawnym odkryciem nowego stanu materii zwanego plazmą kwarkowo-gluonową. Odkrycie owo pociągnęło za sobą pojawienie się szeregu nowych pytań, wymuszonych ewidentną niezgodnością zaobserwowanych własności plazmy z przewidywaniami perturbacyjnej chromodynamiki kwantowej. Plazma okazała się oddziaływać znacznie silniej, niż oczekiwano, oraz jej dynamika przejawiała charakter kolektywny niezwykle szybko po zderzeniu, które ostatecznie kończy się hadronizacją. Jasnym stało się, że zrozumienie własności takiego procesu z zasad pierwszych w ramach QCD nie będzie możliwe przy obecnym stanie wiedzy na temat tej teorii. W efekcie pojawiła się konieczność odwołania się do modelu nieabelowej plazmy w jakościowo zbliżonej nieabelowej teorii Yanga-Millsa, która stanowi część dualności holograficznej.

W oparciu o nią rozprawa atakuje istotny problem szybkiej termalizacji plazmy i ukazuje jak proces taki może zachodzić w silnie sprzężonej nieabelowej teorii cechowania z sygnaturą Minkowskiego. Następnie korzystając z metod holografii eksplorowane są ogólne własności termalizującego płynu, ze szczególnym uwzględnieniem ewolucji jego entropii i profilu lokalnej temperatury. Bazując na uzyskanym wglądzie możliwe staje się zadanie bardziej fundamentalnych pytań na temat samej istoty rozwinięcia hydrodynamicznego i jego własności analitycznych. Okazuje się, że jako szereg gradientowy hydrodynamika nie jest zbieżnym rozwinięciem i nie może istnieć jako taka. Powody tego stanu rzeczy zostają zrozumiane oraz ukazują piękny nieperturbacyjny mechanizm leżący w samym sercu konstrukcji hydrodynamicznego przybliżenia dynamiki stanów blisko równowagi termodynamicznej. Odkrycie owo ujawnia istnienie nowych stopni swobody w otoczeniu przybliżenia hydrodynamicznego, które początkowo zdają się być wykluczone w trakcie jej kanonicznej konstrukcji. Ostatecznym wynikiem rozprawy jest udana próba jakościowego połączenia wyników otrzymanych drogą holografii z metodami teorii pola, prowadząca w efekcie do definicji uogólnionej nierównowagowej hydrodynamiki, wzbogaconej o nowe stopnie swobody odkryte na drodze analizy zbieżności rozwinięcia gradientowego.