

prof. dr hab. Zygmunt Lalak
Wydział Fizyki
Uniwersytetu Warszawskiego

Recenzja rozprawy doktorskiej magistra Jakuba Jankowskiego

Rozprawa doktorska magistra Jakuba Jankowskiego nosi tytuł „A holographic perspective on strongly interacting matter properties at finite temperatures and densities”, jest napisana w języku angielskim i dotyczy silnie oddziałujących fermionów w skończonych temperaturach i dla skończonej gęstości materii barionowej. Rozważania zawarte w pracy odnoszą się bezpośrednio do realnych oddziaływań silnych badanych w eksperymentach laboratoryjnych, co czyni przedstawione badania szczególnie interesującymi z punktu widzenia teorii oddziaływań fundamentalnych.

Model Standardowy oddziaływań fundamentalnych oprócz sektora oddziaływań elektroślabych zawiera także QCD - teorię oddziaływań silnych. Sektor elektroślaby jest przy dostępnych obecnie energiach sektorem perturbacyjnym, podczas gdy sektor opisujący oddziaływania silne nie pozwala na prosty perturbacyjny opis przy niskich energiach. Kwarki są uwięzione, wszystkie oddziałujące silnie stany asymptotyczne są singletami kolorowymi. Istotną rolę w zrozumieniu niskoenergetycznych oddziaływań silnych wydaje się odgrywać globalna symetria chiralna, która pozwala zinterpretować stosunkowo niskie masy najlżejszych mezonów jako masy pseudogoldstonowskich bozonów złamanej symetrii chiralnej. Oddziaływania silne ogrywają kluczową rolę w fizyce procesów zachodzących w Wielkim Zderzaczu Hadronów i każda poważna próba głębszego ich zrozumienia i bardziej dokładnego opisu zasługuje na uwagę i uznanie.

Do takich właśnie poważnych i przy tym ciekawych z punktu widzenia zastosowanych metod teoretycznych prób udoskonalenia wiedzy o oddziaływaniach silnych zaliczyć należy rozprawę mgr J. Jankowskiego.

Ważnym i nowatorskim, choć używanym już od pewnego czasu, narzędziem zastosowanym w rozprawie do badania silnie sprzężonej teorii z cechowaniem jest dualność grawitacja/teoria z cechowaniem, tzn holograficzny opis teorii z cechowaniem. Holograficznym modelem QCD przyjętym w pracy jest model zaproponowany przez Sakai i Sugimoto. Model ten zawiera układ D8- i D4-bran w teorii strun typu IIA i zastosowany został w niskoenergetycznej granicy - efektywnej

supergrawitacji, z działaniem typu Borna-Infelda dla pojedynczej D-brany. Model Sakai-Sugimoto odtwarza kluczowe własności realistycznej QCD tzn spontaniczne naruszenie symetrii chiralnej i uwięzienie. Także obliczenia mas barionów, oraz momentów magnetycznych czy formfaktorów dają wyniki jakościowo zgodne z doświadczeniem.

W rozprawie zastosowano model Sakai-Sugimoto do badania obszaru skończonych gęstości barionowych i niskich temperatur, gdzie poszukiwano zapostulowanej przez McLerrana i Pisarskiego fazy materii Quarkyonic (materii posiadającej jednocześnie cechy swobodnych kwarków i uwięzionych mezonów i barionów). Dualność grawitacja/teoria z cechowaniem pozwoliła także autorowi na wykorzystanie wyników dotyczących mass barionów z modelu Sakai i Sugimoto do badania rozpuszczania kondensatów fermionów chiralnych w skończonych temperaturach. W tym przypadku autor rozprawy przeprowadził obliczenia kondensatu w ramach modelu HRG (hadron resonance gas model) i wykorzystał między innymi także zależność między konstytuentnymi i prądowymi masami kwarków wyznaczoną przy pomocy modelu Nambu-Jona Lasinio.

Pierwszy rozdział rozprawy doktorskiej mgr J. Jankowskiego zawiera zwięzłe przedstawienie diagramu fazowego QCD i dualności holograficznej grawitacja/teoria z cechowaniem. W rozdziale drugim opisano szczegółowo kluczowy dla tej pracy model Sakai-Sugimoto. Oryginalne wyniki uzyskane przez autora zawarte zostały w rozdziałach trzecim i czwartym.

Spośród oryginalnych rezultatów otrzymanych w rozprawie wymienić należy przede wszystkim wyniki badań motywowanych poszukianiem fazy Quarkyonic w modelu Sakai Sugimoto (rozdział trzeci). Nie udało się znaleźć definitywnego sygnału występowania fazy Quarkyonic w modelu Sakai Sugimoto w ramach zakreślonych przyjętymi przez autora rozprawy przybliżeniami. Jednakże, w doktoracie pokazano, że dla parametrycznie dużych gęstości barionów (rzędu kwadratu sprzężenia 't Hoofta) pojawiają się w tym modelu nowe ciekawe efekty, takie jak zależność mas mezonów wektorowych od gęstości, która sugeruje możliwość odtworzenia symetrii chiralnej w tym obszarze diagramu fazowego.

W rozdziale czwartym, w części dotyczącej modelu gazu rezonansów (HRG), trzeba podkreślić dwa ciekawe i oryginalne elementy. Pierwszy to wykorzystanie modelu Sakai-Sugimoto do obliczenia członów sigma potrzebnych do znalezienia zależności kondensatu od temperatury (w ramach modelu HRG). Drugi ważny wkład autora to fenomenologiczny model zależności mas hadronów od mas kwarków oparty o model Nambu Jona-Lasinio, który daje wyniki dość dobrze zgodne z wynikami rachunków na sieciach.

Rozprawa doktorska Jakuba Jankowskiego jest z całą pewnością ważnym krokiem na drodze do lepszego poznania realistycznych silnie oddziałujących teorii Yanga-Millsa z fermionami chiralnymi.

Należy podkreślić, że rozważania przedstawione w pracy przeprowadzone zostały w sposób precyzyjny i przejrzysty. Mimo skomplikowanej strony formalnej, rachunki pozwalają się prześledzić praktycznie bez zaglądania do materiałów pomocniczych. Praca jest wyczerpująca, napisana klarownie i stanowi dość kompletną i spójną prezentację zarówno przedmiotu badań jak i osiągniętych wyników. Patrząc z punktu widzenia moich zainteresowań chętnie widziałbym porównanie przedstawionych przez autora wyników z podobnymi wynikami osiągniętymi w supersymetrycznej wersji QCD.

Ze względu na dbałość autora o prostotę i przystępność wykładu przedstawiona praca ma duże walory dydaktyczne.

Autor zademonstrował bardzo dobrą znajomość przedmiotu rozprawy oraz umiejętność biegłego stosowania niezbędnych narzędzi formalnych. Część wyników opisanych w rozprawie odnosi się do dwu prac autora zamieszczonych w Physical Review D (przy czym jedna z nich uzyskała już 6 cytowań wg bazy InSpire). Według informacji z tej bazy autor rozprawy jest współautorem 3 prac badawczych (opublikowanych w renomowanych czasopismach) oraz współautorem 3 preprintów znajdujących się w bazie SPIRES (w tym wystąpienia konferencyjnego).

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska magistra Jakuba Jankowskiego zawiera ciekawe oryginalne wyniki i jest z pewnością bardzo pożyteczną prezentacją istotnego aspektu teorii oddziaływań silnych.

Jestem przekonany, że przedstawiona rozprawa doktorska spełnia formalne i zwyczajowe wymogi stawiane rozprawom doktorskim, w szczególności spełnia warunki wymienione w ustawie o stopniach naukowych.

Wnoszę o dopuszczenie magistra Jakuba Jankowskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Z. Lolak