«УТВЕРЖДАЮ»
Директор Объединенного института
ядерных исследований
академик РАН Г.В. Трубников

« 26 » августа 2022 г.

ОТЗЫВ
ведущей организации,
Лаборатории теоретической физики
им. Н.Н. Боголюбова
Объединенного института ядерных исследований,
на диссертацию Павла Сергеевича Слепова
«Фазовый переход конфайнмент/деконфайнмент
в анизотропных голографических моделях»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.02 (теоретическая физика)

Диссертация П.С. Слепова посвящена голографическому описанию фазовой диаграммы в квантовой хромодинамике. Это исследование весьма актуально, поскольку оно связано с описанием новых экспериментальных результатов по изучению кварк-глюонной плазмы на действующих и создаваемых установках среди которых можно выделить комплекс NICA в ОИЯИ. Кварк-глюонная плазма образуется в столкновениях тяжелых ионов и представляет собой новое состояния вещества. Среди методов его описания достойное место занимает используемое в диссертации голографическое соответствие гравитация/калибровочная теория. Методы голографической дуальности активно развиваются в течение последних десятков лет, начиная с работы Х. Малдасены. Голографическое соответствие является комплементарным мощным методом, позволяющим изучать квантовую теорию поля в пределе сильной связи вне рамок теории возмущений, в том числе обеспечить эффективный подход к изучению кварк-глюонной плазмы и структуры фазовых переходов в квантовой хромодинамике. На сегодняшний день интенсивное исследование голографического описания систем с сильной связью проводится теоретическими группами по физике высоких энергий в

ведущих университетах и лабораториях в мире, среди которых группа МИ РАН занимает достойное место.

В диссертационной работе рассмотрены так называемые "bottom up" ("снизу вверх") голографические модели, где выбор голографической модели происходит, опираясь на полученные экспериментальные данные, что можно рассматривать как новый тип феноменологии. Метрика при этом выбирается таким образом, чтобы воспроизвести характерную для легких и тяжелых кварков фазовую структуру, подтвержденную вычислениями на решетке. Основная специфика диссертации П.С. Слепова связана с рассмотрением различных типов анизотропии, возникающей в столкновениях тяжелых ионов. Проводится построение анизотропных голографических моделей квантовой хромодинамики с использованием метода реконструкции потенциала, и изучение в полученных моделях структуры фазовых переходов конфайнмент/деконфайнмент, а также различных явлений, связанных с анизотропией при ненулевых температуре и химическом потенциале. Голографические модели используют действие Гильберта-Эйнштейна с полем дилатона и полями Максвелла, описывающими введение химического потенциала в теорию, анизотропию в столкновениях тяжелых ионов, и использующимися для воспроизведения корректной экспериментальной зависимости множественности рожденных частиц от энергии.

Диссертация изложена на 142 страницах, состоит из введения, пяти глав основного текста, заключения и списка литературы, содержащего 160 ссылок.

Во введении обоснована актуальность темы, описаны, используемые в работе методы, сформулированы основные цели исследования, приведен обзор современной литературы, представлено краткое содержание диссертации.

В первой главе построены новые анизотропные решения уравнений Эйнштейна с двумя нетривиальными функциями анизотропии для различных случаев фактора деформации (соответствующих легким и тяжелым кваркам). Голографическая модель описывается действием Гильберта-Эйнштейна с полем дилатона и полями Максвелла. Полученные решения используются в дальнейших главах.

Во второй главе изучено влияние времениподобных петель Вильсона на структуру фазовых переходов при ненулевых температуре и химическом потенциале. Рассмотрена частично анизотропная голографическая модель с

одной нетривиальной функцией анизотропии и фактором деформации для тяжелых кварков. Определено условие фазового перехода конфайнмент/деконфайнмент для времениподобных петель Вильсона, ориентированных под определенным углом. Получена фазовая диаграмма конфайнмент/деконфайнмент в зависимости от угла между парой кварков и осью столкновений тяжелых ионов.

В третьей главе рассмотрена анизотропная голографическая модель с фактором деформации для легких кварков и частичной анизотропией. Изучены и описаны термодинамика и фазовый переход первого рода в полученной модели, а также поведение петель Вильсона. Из сопоставления положения фазового перехода для петель Вильсона с положениями фазового перехода первого рода, предложена форма фазовой диаграммы. Исследовано поведение корнельского потенциала в данной анизотропной модели. Рассмотрена его асимптотика на больших расстояниях, и выявлена сильная зависимость от параметров модели: анизотропии, ориентации и граничных условий для поля дилатона.

В четвертой главе рассмотрена голографическая анизотропная модель для тяжелых кварков с двумя нетривиальными функциями анизотропии. Изучены термодинамика и фазовый переход первого рода в данной модели. Получены формулы, определяющие положения динамической стенки для по-разному ориентированных времениподобных и пространственноподобных петель Вильсона в полностью анизотропной метрике. Из сопоставления положения фазового перехода для петель Вильсона с положениями фазового перехода первого рода, получена фазовая диаграмма. Изучено влияние магнитного поля на структуру фазовых переходов конфайнмент/деконфайнмент. Выявлен эффект обратного магнитного катализа, определены положения критических конечных точек.

Пятая глава посвящена голографическому вычислению энтропии зацепленности. С этой целью рассмотрена пятимерная анизотропная метрика с тремя различными анизотропными функциями. Вычислена энтропия голографической зацепленности области в форме параллелепипеда, ориентация которого относительно линии столкновения тяжелых ионов и прицельного параметра характеризуется углами Эйлера. Изучена зависимость голографической энтропии зацепленности и ее плотности от температуры, химического потенциала, параметров анизотропии, толщины и ориентации зацепленных областей.Обнаружены скачки энтропии зацепленности и ее

плотности вблизи линии, соответствующей фазовому переходу первого рода, которые зависят от параметра анизотропии, химического потенциала и ориентации.

В заключении приведены положения диссертации, выносимые на защиту.

В целом, диссертация представляет важный шаг в построении голографической феноменологии кварк-глюонных сред. Появление новых параметров было бы интересно сопоставлять с присутствующими в других способах описания (в частности, с анизотропными потоками), что можно рассматривать как пожелание на будущее.

Основные результаты диссертации опубликованы своевременно в 7 статьях в ведущих зарубежных и отечественных научных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, и входящих в список ВАК, известны специалистам и цитируются. В опубликованных работах полностью изложены положения диссертации, выносимые на защиту. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Результаты диссертации являются новыми и оригинальными, прошли апробацию в экспертном сообществе, были представлены автором на различных семинарах и международных конференциях, получили значительный отклик коллег. Публикация результатов в ведущих профильных рецензируемых журналах и апробация на международных научных конференциях, а также ссылки на работы автора российских и иностранных ученых свидетельствуют о их достаточной обоснованности и достоверности.

Диссертационная работа П.С. Слепова «Фазовый переход конфайнмент /деконфайнмент в анизотропных голографических моделях» представляет собой законченное научное исследование, выполненное на высоком научном уровне. Полученные результаты имеют несомненно большое значение для исследований в области голографического описания кварк-глюонной плазмы, в частности и в особенности, на строящемся в ОИЯИ комплексе NICA.

Результаты диссертационной работы были доложены, обсуждены и одобрены на тематическом семинаре “Теория адронного вещества при экстремальных условиях“ Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова Международной межправительственной организации Объединенного института ядерных исследований 27 июля 2022 года, а данный отзыв утвержден Научно-техническим советом ЛТФ 18 августа 2022 года.

Диссертация Павла Сергеевича Слепова «Фазовый переход конфайнмент/деконфайнмент в анизотропных голографических моделях» отвечает всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.02 – теоретическая физика, а ее автор безусловно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв составил доктор физико-математических наук, начальник отдела лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова

О.В. Теряев

Подпись Теряева О.В. удостоверяю:

Ученый секретарь Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова, кандидат физико-математических наук

А.В. Андреев

Сведения о ведущей организации:
Лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова Международной межправительственной организации «Объединенный институт ядерных исследований»
Адрес: ЛТФ ОИЯИ, 141980 Дубна, Московская обл., Россия
Тел.: (7-49621) 63-695, Факс: (7-49621) 65-084,
Email: bltp@theor.jinr.ru
«19» августа 2022 г.