

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Межправительственной
организации «Объединенный
институт ядерных исследований»
Академик РАН



Г.В. Трубников

«31» января 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Межправительственной организации «Объединенный институт ядерных исследований» на диссертацию Лукашова Михаила Сергеевича **«Непертурбативная кварк-глюонная термодинамика при конечной температуре»**, представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. – Теоретическая физика.

Общая характеристика работы. Структура и содержание.

Представленная соискателем, М.С. Лукашовым, диссертационная работа посвящена явлению деконфайнмента в квантовой хромодинамике в подходе метода вакуумных полевых корреляторов и выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»». Поступивший в Объединенный институт ядерных исследований экземпляр рукописи диссертации содержит 113 страницы машинописного текста, 26 рисунков и 1 таблицу. Список цитированной литературы автором работы содержит 196 источников. Диссертация состоит из Введения (первой главы), четырех глав основного текста, Заключения и списка цитируемой литературы.

Актуальность темы диссертации.

Квантовая хромодинамика (КХД), описывающая процессы сильных взаимодействий, является составной частью Стандартной Модели физики элементарных частиц. Цветовое взаимодействие ослабевает на малых расстояниях, но неограниченно растет на больших. В итоге цветные кварки и

глюоны оказываются запертыми внутри бесцветных адронов. Эти явление называется соответственно асимптотической свободой и невылетанием, или конфайнментом. Когда температура адронной среды повышается и достигает критического значения порядка 150 МэВ происходит высвобождение, или деконфайнмент, кварков и глюонов, проявляющийся на малых временах, характерных для сильного взаимодействия. В рамках своей научно-исследовательской работы М.С. Лукашовым были получены оригинальные результаты, позволившие описать фазовый переход (между фазами конфайнмента и деконфайнмента) в квантовой хромодинамике в формализме метода вакуумных полевых корреляторов (впервые предложенным Ю.А. Симоновым и Х.Г. Дошем в 1987-1988 гг. и связанный с методом нелокальных корреляторов, разработанным в ЛТФ ОИЯИ А.В. Радюшкиным и С.В. Михайловым), который не опирается на теорию возмущений.

Новизна полученных результатов и выводов.

Соискателем определены зависимости давления, энтропии и аномалии следа от температуры при температуре выше критической. Исследована роль линии Полякова и цветомагнитного конфайнмента в фазе деконфанмента. Также показано, что в глюонной плазме для получения корректного описания термодинамических величин необходимо учитывать как пертурбативные взаимодействия глюонов, так и непертурбативные. Новизна результатов, представленных М.С. Лукашовым прежде всего связана с используемым формализмом полевых корреляторов. Данный метод является существенно непертурбативным, что и объясняет его успех в описании сильного взаимодействия. Результаты расчетов хорошо согласуются с данными полученными методом решеточного моделирования.

Апробация работы и публикации.

Результаты, представленные в данной диссертационной работе, многократно обсуждались на внутриинститутских семинарах и конференциях. Основные результаты были получены при поддержке гранта РФФИ № 16-12-10414, а также вошли в призовые конкурсные работы на внутриинститутских конкурсах НИР. Основные материалы были опубликованы в четырех печатных статьях в рецензируемых научных журналах, входящих в список ВАК: Modern Physics Letters A, European Physical Journal A, Письма в ЖЭТФ и Physical Review D. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Краткое содержание диссертации.

Во Введении рассматривается актуальность темы, даны общие характеристики диссертационного исследования, дан его краткий обзор, а также кратко изложены основы формализма полевых корреляторов.

Во второй главе, построена теория температурного фазового перехода в $SU(3)$ глюодинамике (билокальный вакуумный коррелятор разложен по скалярным функциям D и D_1). Параметром порядка для фазового перехода является линия Полякова. Затем через эти величины выражается давление глюонного поля в широком интервале температур. Показано, что основная роль цветомагнитного поля состоит в формировании массы дебаевского инфракрасного экранирования.

В третьей главе, исходя из метода вакуумных полевых корреляторов, исследована структура состояний глюонного поля в широком интервале температур. Получено выражение для линии Полякова, через которую выражается давление глюонного поля. Отмечается важность петель Полякова в термодинамике КХД для случая $SU(3)$, а также, что экранирующая масса Дебая определяется магнитным конфайнментом. В приближении двух петель найдена зависимость цветомагнитного натяжения струны от температуры. В итоге, представлен результат для давления глюонного поля.

В четвертой главе демонстрируется важность цветомагнитного вклада на всем интервале температур вплоть до 1 ГэВ, а также что этот результат справедлив и для глюодинамики $SU(3)$ (уже рассмотренной ранее). Показывается, что формализм вакуумных полевых корреляторов может быть успешно применен к кварк-глюонной термодинамике.

В пятой главе обсуждаются известные «трубки тока» (flux-tubes) между тяжелыми кварками и антикварками, которые являются необходимым следствием механизма цветового удержания и детально исследовались на решетках, т. к. понимание структуры полей в трубках может прояснить ключевые различия между разными существующими моделями конфайнмента. В этой главе соискателем проанализирована проблема трубок в формализме полевых корреляторов. Произведены сравнения значений цветоэлектрического поля, отвечающей этой трубке, с решеточными данными.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационного исследования. Их достоверность, а также обоснованность научных положений и выводов, подтверждаются сравнением с численными результатами, полученными на решетках ведущими научными группами, и поэтому не вызывают сомнений.

Значимость результатов.

Предлагаемый в данной диссертационной работе метод исследования сильных взаимодействий, в основе которого лежит использование метода интегралов по путям и кумулянтного разложения корреляционных функций для построения релятивистских гамильтонианов, позволяет вычислять спектры, волновые функции и другие параметры адронов. Фактически, на этой основе удалось разработать теорию деконфайнмента и описать переход адронной материи в кварк-глюонную при различных значениях температуры и плотности. Полученные результаты, хорошо согласующиеся с данными

решеточных расчетов, наглядно демонстрируют возможности, использования метода вакуумных полевых корреляторов для описания различных систем с сильным взаимодействием.

Замечания по диссертационной работе.

Несмотря на общий высокий уровень диссертационной работы М.С. Лукашова, отметим следующие замечания, которые возникли в ходе ознакомления с работой:

1. В тексте повторяются некоторые формулы (например, 2.1 и 4.1), что с одной стороны несколько упрощает понимание, т.к. необходимый формализм повторен в каждой главе, но с другой стороны увеличивает громоздкость текста.

2. В тексте многократно отмечается «хорошее соответствие результатов» научной работы и данных, полученных решеточными методами, что представляется излишним.

3. На некоторых рисунках не очень удачно отображаются подписи по осям и размерности. В тексте не хватает пояснений и более подробных указаний.

4. На стр. 28 под рисунком 2.1, в последнем абзаце, где идет обсуждение L_{adj} , допущена опечатка в формуле.

5. В тексте корреляционная длина обозначена двумя разными символами T_g и λ .

6. Публикации, на основе которых производится защита данной диссертации, выполнены достаточно давно, но у соискателя в достаточном объеме имеется и другие публикации в серьезных рецензируемых научных журналах, развивающие указанное направление. Возможно, стоило немного более подробно рассмотреть их в Заключение, тем более что на них есть ссылки в тексте диссертации.

Однако, вышеизложенные замечания носят частный характер и не ставят под сомнение основные результаты и выводы диссертации и не снижают общую положительную оценку данной исследовательской работы.

Вывод.

Отзыв ведущей организации на диссертацию соискателя М. С. Лукашова рассмотрен и одобрен на заседании научно-технического совета Лаборатории теоретической физики ОИЯИ «26» декабря 2024 г.

Подводя итоги, можно заключить, что диссертационная работа Лукашова Михаила Сергеевича **«Непертурбативная кварк-глюонная термодинамика при конечной температуре»** представляет собой законченное научное оригинальное исследование по актуальной тематике, выполненное на высоком научном уровне. Диссертация соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного

постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, и соответствует паспорту специальности 1.3.3. – Теоретическая физика, а её автор, М.С. Лукашов, несомненно заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. – Теоретическая физика.

Отзыв подготовил:

Заместитель директора Лаборатории теоретической физики имени Н.Н. Боголюбова ОИЯИ, доктор физ.-мат. наук

 О.В. Теряев

Тел.: +74962164343

Эл.адрес: teryaev@theor.jinr.ru

Дата: 17.01.2025

Директор Лаборатории теоретической физики имени Н.Н. Боголюбова ОИЯИ, доктор физ.-мат. наук, член-корреспондент РАН

 Д.И. Казаков

Тел.: +74962165687

Эл.адрес: kazkovd@theor.jinr.ru

Дата: 20.01.2025