

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 02.1.003.05,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ» (ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ), ПО ДИССЕРТАЦИИ ЛУКАШОВА МИХАИЛА СЕРГЕЕВИЧА
«НЕПЕРТУРБАТИВНАЯ КВАРК-ГЛЮОННАЯ ТЕРМОДИНАМИКА ПРИ
КОНЕЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ» НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 19.02.2025, № 2

О присуждении Лукашову Михаилу Сергеевичу, гражданину РФ, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Непертурбативная кварк-глюонная термодинамика при конечной температуре» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, по специальности 1.3.3. Теоретическая физика, принята к защите 04.12.2024, протокол № 17, диссертационным советом 02.1.003.05, созданным на базе федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт»), 123182 г. Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1 (утвержден Приказом Минобрнауки России № 1109/нк от 23.05.2023).

Соискатель: Лукашов Михаил Сергеевич, дата рождения: 07 сентября 1991 года.

В 2015 г. Лукашов М.С. окончил «Московский физико-технический институт (государственный университет)» по направлению подготовки 01.04.02 – «Прикладная математика и информатика» с присвоением квалификации «Магистр». Диплом магистра 107724 № 1451434 выдан 16 июля 2015 г. (регистрационный номер 15610005).

С октября 2019 г. по сентябрь 2024 г. Лукашов М.С. обучался в очной аспирантуре НИЦ «Курчатовский институт», по направлению подготовки 03.06.01 – «Физика и астрономия», по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика (с 2021 года — 1.3.3. Теоретическая физика). Во время обучения Лукашов М.С. сдал

кандидатские экзамены и получил следующие оценки: иностранный язык (английский) – «хорошо», история и философия науки – «отлично», специальность («Теоретическая физика») – «отлично».

Диссертационная работа Лукашова М.С. «Непертурбативная кварк-глюонная термодинамика при конечной температуре» выполнена в Курчатовском комплексе теоретической и экспериментальной физики НИЦ «Курчатовский институт».

В период подготовки диссертации Лукашов М.С. работал в Институте теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт» (ставшим в 2022 г. Курчатовским комплексом теоретической и экспериментальной физики НИЦ «Курчатовский институт») в должности инженера, а с 2017 г. и по настоящее время – в должности младшего научного сотрудника.

Научный руководитель:

– Кербиков Борис Олегович, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика, ведущий научный сотрудник Физического института им. П.Н. Лебедева РАН (г. Москва).

Официальные оппоненты:

– Захаров Бронислав Глебович, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика, ведущий научный сотрудник Института теоретической физики имени Л.Д. Ландау РАН (г. Черноголовка);

– Молочков Александр Валентинович, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика, заведующий Тихоокеанским квантовым центром Дальневосточного федерального университета (г. Владивосток)

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация:

Международная межправительственная организация «Объединенный институт ядерных исследований» (ОИЯИ), г. Дубна, в своем положительном заключении, подписанном заместителем директора Лаборатории теоретической физики имени Н.Н. Боголюбова ОИЯИ, доктором физико-математических наук Теряевым О.В., директором Лаборатории теоретической физики имени Н.Н. Боголюбова ОИЯИ, доктором физико-математических наук, членом-корреспондентом РАН Казаковым Д.И. и утверждённом директором ОИЯИ доктором физико-математических наук, академиком РАН Трубниковым Г.В., указала, что

представленная соискателем диссертационная работа выполнена по актуальной тематике на высоком научном уровне.

Диссертационная работа Лукашова Михаила Сергеевича посвящена явлению деконфайнмента в квантовой хромодинамике, являющейся частью Стандартной Модели физики элементарных частиц: были получены оригинальные результаты, позволившие описать фазовый переход (между фазами конфайнмента и деконфайнмента) в квантовой хромодинамике в подходе метода вакуумных полевых корреляторов. Данный метод является существенно непertурбативным, что и объясняет его успех в описании сильного взаимодействия. Данный формализм, 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, что подтверждает актуальность проведенного исследования. Полученные результаты хорошо согласуются с данными решеточных расчетов различных исследовательских групп, что наглядно демонстрируют возможности использования метода вакуумных полевых корреляторов для описания различных систем с сильным взаимодействием.

Из наиболее важных результатов, обуславливающих научную новизну диссертационной работы, в отзыве ведущей организации отмечается:

- Определение зависимости давления, энтропии и аномалии следа от температуры при температуре выше температуры перехода (в рамках метода вакуумных полевых корреляторов).
- Исследование роли линии Полякова и «цветомагнитного конфайнмента» в фазе деконфайнмента (в рамках метода вакуумных полевых корреляторов).
- Демонстрация того, что в глюонной плазме для получения корректного описания термодинамических величин необходимо учитывать как пертурбативные взаимодействия глюонов, так и непertурбативные.

В конце отзыва ведущей организации резюмируется: «Подводя итоги, можно заключить, что диссертационная работа Лукашова Михаила Сергеевича «Неpertурбативная 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.».

Соискатель имеет 4 публикации по теме диссертации в ведущих рецензируемых изданиях, индексируемых WoS, Scopus и в действующем Перечне ВАК:

1. N. O. Agasian, M. S. Lukashov, and Yu. A. Simonov, “Dynamical role of Polyakov loops in the QCD thermodynamics,” *Mod. Phys. Lett. A* 31, no. 37, P. 1650222 (2016) doi:10.1142/S0217732316502229.
2. N. O. Agasian, M. S. Lukashov, and Yu. A. Simonov, “Nonperturbative SU(3) thermodynamics and the phase transition,” *Eur. Phys. J. A* 53, no. 06, P. 138 (2017) doi:10.1140/epja/i2017-12302-x.
3. М. С. Лукашов, Ю. А. Симонов, “Цветомагнитный конфайнмент в кварк-глюонной термодинамике,” *Письма в ЖЭТФ* 105, № 11, С. 659 (2017) doi:10.7868/S0370274X17110017.
4. M. S. Lukashov and Yu. A. Simonov, “Color screening in flux tubes and in the color Coulomb potential from QCD field correlators,” *Phys. Rev. D* 96, no. 07, P. 076019 (2017) doi:10.1103/PhysRevD.96.076019.

Первые две статьи посвящены определению основных физических свойств фазового перехода в глюодинамике и их использованию для конкретных аналитических расчетов. В третьей статье обсуждается обобщение полученных ранее результатов при включении в рассмотрение кварков. Четвертая статья посвящена изучению «флак-тьюба». Все работы проделаны в подходе метода вакуумных полевых корреляторов.

На автореферат и диссертацию поступило 4 отзыва. Все отзывы положительные.

1. Отзыв на диссертацию из Института физики высоких энергий им. А.А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (ИФВЭ, г. Протвино), подписан Борняковым В.Г., доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником Отдела теоретической физики. Содержит следующие замечания:

«К недостатком диссертационной работы можно отнести следующие претензии к терминологии: используются два термина – 'петля Полякова' и 'линия Полякова' (часто в пределах одной страницы текста) для одной и той же наблюдаемой; вместо термина 'трубка конфайнмента' следовало бы использовать термин 'адронная струна', вместо 'белые адроны' – 'бесцветные адроны', вместо 'масштаб Казимира' – 'казимировский скейлинг'; использование термина 'теория SU(3)' не позволяет определить идет ли речь о глюодинамике или о КХД; использования англоязычных терминов без перевода, например, на стр. 26: 'One Gluon Exchange', следовало бы избежать. Также отметим отсутствие обсуждения оценки погрешности полученных результатов и опечатку в ссылке [34].».

2. Отзыв на диссертацию из Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ, г. Дубна), подписан Брагутой В.В., доктором физико-математических наук, профессором РАН, начальником сектора физики адронной материи Лаборатории теоретической физики имени Н.Н. Боголюбова. Содержит следующие замечания:

«Стоит, однако, отметить некоторые недостатки работы. Например, в работе проводятся сравнения результатов, полученных в рамках метода вакуумных корреляторов, только с данными решеточных расчетов. Соответствие хорошее, но, к сожалению, не хватает сравнений результатов, полученных в рамках других феноменологических подходах (например, модели молекулярной квантовой динамики или модели голографической КХД). Такие сравнения было бы интересно проделать в дальнейшем.».

3. Отзыв на автореферат из Института земного магнетизма, ионосферы, распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН, г. Троицк), подписан Жоховым Р.Н., кандидатом физико-математических наук, старшим научным сотрудником. Содержит следующие замечания:

«В качестве замечаний к тексту диссертации можно отметить следующее. На странице 15 употребляется аббревиатура ЦМК (цветомагнитный конфайнмент),

которая не расшифровывается. Ранее в работе встречается аббревиатура ЦМ (цветомагнитный), но читатель легко может запутаться. После формулы (16) для глюонного давления нигде в тексте автореферата не указано, что такое M_0 . Это есть в тексте диссертации, но нет в автореферате, хотя приведена формула и даже рассматривается предельный случай. В подписи к рис. 6 вместо «зависимость поперечного радиуса от цветомагнитного тока» лучше бы написать «зависимость цветомагнитного тока от поперечного радиуса». Как и для зависимости цветоэлектрического поля от поперечного радиуса на рис. 7. Графики 6 и 7 упоминаются вскользь в тексте автореферата даже без ссылок на них, хотя они являются одними из ключевых. На рис. 4 для зависимости аномалия следа $I(T)/T^4$ в правом верхнем углу приведен дополнительно график для $(I(T)/T^4)(T/T_c)^2$ и не понятно почему на втором графике согласие с результатами, полученными в рамках решеточных вычислений, на вид сильно хуже чем для первого. Хорошо бы иметь какое-то пояснение в тексте.».

4. Отзыв на автореферат и диссертацию из Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (г. Москва), подписан Шевченко В.И., доктором физико-математических наук, профессором кафедры экспериментальной ядерной физики и космофизики, ректором НИЯУ «МИФИ». Содержит следующие замечания:

«В качестве основного замечания к работе можно назвать недостаточно чёткое выделение соискателем собственного вклада. Метод полевых корреляторов развивается достаточно давно, и в процессе чтения рецензенту было не всегда понятно, где закончилось изложение результатов других авторов и начались собственные выкладки соискателя. Было бы полезно сделать подборку формул, которые были получены лично соискателем и впервые опубликованы именно в тех работах, которые вошли в диссертацию. Впрочем, этот недочёт отчасти компенсируется ясным изложением в разделе «Научная новизна» автореферата. Также к замечаниям можно отнести некоторую перегруженность диссертации аббревиатурами (МВПК, МДС и т.д.), а также излишним, на взгляд рецензента, англицизмом «флакс-тьюб». Некоторые разделы диссертации содержат тавтологии и некоторые расхождения в обозначениях. К сожалению, не обошлось и без опечаток.».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что:

– Захаров Бронислав Глебович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института теоретической физики имени Л.Д. Ландау РАН (г. Черноголовка), является крупнейшим российским специалистом мирового уровня в области теоретической физики, физики плазмы и вычислительных методов в физике сложных систем.

– Молочков Александр Валентинович, доктор физико-математических наук, заведующий Тихоокеанским квантовым центром Дальневосточного федерального университета (г. Владивосток), является ведущим российским специалистом мирового уровня в области теоретической ядерной физики и суперкомпьютерного моделирования сложных систем, под его руководством в Тихоокеанском квантовом центре проводятся передовые фундаментальные исследования в области физики высоких энергий.

– Ведущая организация, Международная межправительственная организация «Объединённый институт ядерных исследований» (г. Дубна), является широко известным во всем мире ведущим научно-исследовательским институтом в области ядерной физики, теоретической и экспериментальной физики элементарных частиц. Лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова ОИЯИ является одним из крупнейших в мире институтов теоретической физики. Там проводятся исследования в широком диапазоне научных вопросов и, в том числе, близким к теме диссертации – изучение структуры адронов, фазовых переходов в горячей и плотной адронной материи и смешанной кварк-адронная фазы. На базе ОИЯИ строится ускоритель NICA, где могут быть востребованы результаты данной диссертационной работы при анализе данных будущих экспериментов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем теоретических исследований термодинамики кварк-глюонной плазмы методом вакуумных полевых корреляторов получены новые результаты о динамике фазового перехода конфайнмент-деконфайнмент с учетом непертурбативных вкладов.

Наиболее существенные научные результаты, полученные соискателем, состоят в следующем:

1. Показано, что непертурбативная часть сильного взаимодействия между цветными зарядами может быть получена из корреляторов стохастических вакуумных цветоэлектрических и цветомагнитных полей.

2. В рамках исследования влияния непертурбативных эффектов на фазовый переход конфайнмент-деконфайнмент в квантовой хромодинамике и глюодинамике получены уравнения состояния кварк-глюонной и глюон-глюонной плазмы.

3. Вычислена свободная энергия кварк-глюонной плазмы в области температур от 150 МэВ до 1 ГэВ и установлена зависимость давления от температуры при нулевом химическом потенциале.

4. Впервые в формализме вакуумных корреляторов детально описана структура трубки конфайнмента, в частности, изучено распределение продольной составляющей цветоэлектрического поля вдоль сечения трубки.

5. С помощью метода вакуумных корреляторов рассчитаны основные физические параметры глюоболов.

Теоретическая значимость исследования заключается в продемонстрированной возможности использования метода вакуумных полевых корреляторов для описания динамики фазового перехода конфайнмент-деконфайнмент с достаточно высокой точностью, а также для последовательного учёта непертурбативных вкладов в свободную энергию как кварк-глюонной фазы, так и глюон-глюонной, создаваемых поляковской линией и магнитной дебаевской массой. В отличие от «обычного» конфайнмента, создаваемого цветоэлектрическими полями и исчезающего выше температуры фазового перехода, «магнитный» конфайнмент сохраняется в интервале температур от 150 МэВ до 1 ГэВ и приводит к линейному увеличению магнитной дебаевской массы с ростом температуры. Показано, что влияние цветоэлектрических полей выше температуры фазового перехода определяется вкладом поляковской линии, слабо зависящей от температуры. Развитый в диссертации подход, основанный на вакуумных полевых корреляторах, открывает возможности количественного описания состояний кварк-глюонных систем в области ненулевого химического потенциала, где применимость решеточных расчетов методом Монте-Карло ограничена в силу фундаментальной проблемы знака и технических характеристик компьютеров.

Практическая значимость полученных соискателем результатов заключается в том, что они могут быть использованы при интерпретации данных будущих экспериментов, в частности, планируемых на строящемся в настоящее время релятивистском ускорителе тяжелых ионов NICA (ОИЯИ, г. Дубна). Основную

ценность представляют результаты, полученные в исследованиях уравнения состояния адронной материи и динамики фазового перехода конфайнмент-деконфайнмент в глюодинамике.

Достоверность результатов и выводов диссертационной работы подтверждается использованием проверенных методов и подходов к исследованию квантовой хромодинамики, согласием результатов соискателя с данными, независимо полученными ведущими научными группами в этой области исследований, в том числе — в расчётах методом Монте-Карло на решётках, апробацией полученных результатов на российских конференциях и публикациями в высокорейтинговых научных изданиях, индексируемых в базах данных WoS и Scopus.

Личный вклад соискателя состоит в том, что им или при его непосредственном участии получены все представленные в диссертационной работе оригинальные результаты. Соискателем выполнены ключевые аналитические и численные расчеты, подготовлены иллюстрации и рисунки для публикаций, он также принимал непосредственное участие в постановке задач, их обсуждении и интерпретации полученных результатов, а также в подготовке текстов публикаций.

В ходе обсуждения доклада соискателя были высказаны критические замечания по некоторым не совсем удачным формулировкам, приведённым в диссертации и автореферате, а также просьбы уточнить некоторые определения и утверждения, прозвучавшие в выступлении соискателя, в частности, что такое «цветомагнитный конфайнмент», выбор некоторых параметров, а также прокомментировать некоторые рисунки. От специалистов в области экспериментальной физики и интерпретации эксперимента также поступили просьбы дать предсказания (на основании рассматриваемого метода) относительно некоторых будущих или возможных экспериментов. Соискатель согласился с критическими замечаниями, уточнил ряд утверждений и определений, вызвавших вопросы, ответил на вопросы касательно иллюстрирующих материалов, и привёл более развёрнутую аргументацию применимости метода к прогнозированию и анализу данных будущих экспериментов.

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация М.С. Лукашова «Непертурбативная кварк-глюонная термодинамика при конечной температуре», представленная на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук

по специальности 1.3.3. Теоретическая физика, представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении учёных степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции).

На заседании 19 февраля 2025 г. диссертационный совет 02.1.003.05 принял решение за теоретические исследования непертурбативной термодинамики кварк-глюонной плазмы и фазового перехода конфайнмент-деконфайнмент методом вакуумных полевых корреляторов присудить Лукашову Михаилу Сергеевичу учёную степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

При проведении тайного электронного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек (в том числе присутствовали удаленно 5 человек), из них 8 докторов наук по специальности диссертации 1.3.3. Теоретическая физика, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовал:

за присуждение учёной степени – 15,

против присуждения учёной степени – 0,

не участвовали в голосовании – 0.

Протокол о результатах тайного электронного голосования утверждён открытым голосованием членов диссертационного совета – единогласно.

Председатель
диссертационного совета д.ф.-м.н.



В.Ю. Егорычев

Учёный секретарь
диссертационного совета д.ф.-м.н.

А.Л. Барабанов

19.02.2025