

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки

Математический институт им. В. А. Стеклова

Российской академии наук

д.ф.-м.н., академик РАН

Д.В. Трешев

«02» июня 2022г.



Отзыв ведущей организации на диссертацию Павлова Михаила Михайловича «Классические конформные блоки и  $AdS_3/CFT_2$  соответствие», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

**Актуальность направления исследований.** Диссертационная работа Павлова М.М. посвящена изучению  $AdS_3/CFT_2$  соответствия между классическими конформными блоками и дуальными им геодезическими сетями на гиперболической геометрии. В современной теоретической физике  $AdS/CFT$  соответствие является одним из подходов к описанию теории гравитации на квантовом уровне. Изучение маломерных примеров  $AdS/CFT$  соответствия интересно в силу наличия бесконечномерных симметрий и порождает большое число новых конкретных задач, решение которых способствует пониманию общей структуры голографической дуальности. В частности, вычисление функций классических конформных блоков, являющееся одной из задач данной диссертации, позволяет анализировать модельно-независимые структуры в двумерных конформных теориях и дуальные им объекты в трёхмерной гравитации. В свете этого, изучение классических конформных блоков в контексте  $AdS_3/CFT_2$  соответствия является актуальной задачей.

**Структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы из 110 наименований и четырёх приложений. Во введении обосновывается актуальность диссертационного исследования, формулируются его цели и задачи. В этом же разделе приводятся положения, выносимые на защиту, информация о новизне и значимости исследования, об апробации работы и о публикации её результатов.

**В первой главе** анализируются классические блоки, ассоциированные с двумерной конформной теорией поля с симметрией Вирасоро, в приближении легких и тяжелых операторов. Монодромный метод вычисления данных классических блоков для случая двух тяжелых операторов обобщается автором на произвольное число тяжелых операторов с помощью специальных голографических переменных. Помимо этого, доказывается свойство униформизации, связывающее классические блоки с разным числом тяжелых операторов. Это позволяет свести анализ к рассмотрению классических блоков с двумя тяжелыми операторами, вычислению которых посвящена оставшаяся часть главы. Получены явные выражения для функций специальных единичных классических блоков, которые отвечают равенству 0 одной из промежуточных размерностей в классическом блоке. Помимо этого, построена теория возмущения над данными единичными блоками, ассоциированная с дополнительным сверхлегким приближением, когда часть размерностей легких операторов

полагаются много меньшими, чем размерности оставшихся легких операторов. Таким образом, несмотря на то, что функции классических блоков довольно хорошо изучены, автору удалось получить ряд новых результатов.

Вторая и третья главы диссертации посвящены дуальному описанию классических конформных блоков. **Во второй главе** описывается трёхмерная геометрия, продуцируемая тяжелыми операторами в двумерной конформной теории. Для случая трёх тяжелых операторов показано, что соответствующая дуальная геометрия представляет собой пространство-время  $AdS_3$  с тремя коническими особенностями, которые определяются размерностями и точками вставок тяжелых операторов. Существенным ингредиентом данного анализа являются голографические переменные, ранее уже возникавшие при вычислениях в двумерной конформной теории поля. Помимо этого, дано описание трёхмерной дуальной геометрии, порождаемой произвольным числом тяжелых операторов.

**В третьей главе** изучаются минимальные геодезические сети на гиперболических пространствах, которые представляют собой объекты, дуально описывающие вклад легких операторов в классический конформный блок. Данный вклад и длина геодезической сети связаны простым голографическим соотношением. Задача о вычислении длины таких сетей тесно связана с оптимизационной задачей о деревьях Штейнера, которая рассматривается в данной главе для специального класса деревьев, называемых голографическими. В этой главе показано, как строится голографическое дерево, соответствующее многоточечному классическому блоку. Для классических блоков, вычисленных в первой главе, построены дуальные им голографические деревья Штейнера и доказано соответствие между ними в смысле голографического соотношения.

В **заключении** сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе. В **приложениях** приведены дополнительные детали вычислений.

**Результаты исследований** были опубликованы в 4 статьях в физических журналах, относящихся к первому и второму квартилям списка Web of Science, и были доложены на российских и международных конференциях.

**Результаты диссертации** могут быть использованы в исследованиях, проводимых в Институте Теоретической и экспериментальной физики, Физическом институте РАН, Математическом институте РАН, Институте теоретической и математической физики МГУ, а также в других научных учреждениях, где ведутся работы по современной теоретической и математической физике.

#### **Замечания по диссертационной работе:**

1) В работе рассматривается простейшая конфигурация, когда легкие и тяжелые операторы в классическом конформном блоке не смешиваются. Было бы полезно обобщить монодромный метод на произвольные конфигурации легких и тяжелых операторов и понять, каким образом выбор конфигурации легких и тяжелых операторов кодирует классический блок.

2) В второй главе рассматривались тяжелые операторы, голографически отвечающие только коническим сингулярностям в пространстве  $AdS_3$ . Было бы интересно обобщить полученные

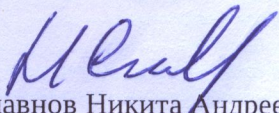
результаты на случай, когда каждому тяжелому оператору соответствует БТЗ-черная дыра. Значительный интерес представляет исследование конфигурации тяжелых операторов, когда часть операторов порождает конические сингулярности, а часть - БТЗ-черные дыры.

Сделанные замечания имеют уточняющий характер и не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы. Проведенные исследования имеют высокий научный уровень и полностью соответствуют цели диссертации. Обоснованность и высокая достоверность полученных результатов не вызывают сомнений. По своей направленности выполненное диссертационное исследование соответствует специальности 01.04.02 — теоретическая физика. Список цитированной литературы соответствует теме исследования. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

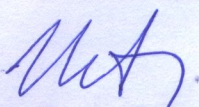
По своей актуальности, новизне, достоверности, научному уровню, фундаментальной и практической значимости диссертационная работа «Классические конформные блоки и  $AdS_3/CFT_2$  соответствие» полностью удовлетворяет требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», а её автор, Павлов М.М. заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

Доклад автора по материалам диссертации был сделан на семинаре отдела теоретической физики МИАН 18 мая 2022г. Отзыв на диссертацию утвержден на заседании отдела теоретической физики МИАН 25 мая 2022г.

Заведующий Отделом теоретической физики  
МИАН, доктор физ.-мат. наук,

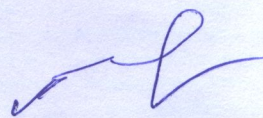
  
Славнов Никита Андреевич

Отзыв составила  
член-корреспондент РАН,  
ведущий научный сотрудник  
Отдела теоретической физики МИАН  
доктор физ.-мат. наук, профессор

  
Арефьева Ирина Ярославна

Подпись И.Я. Арефьевой заверяю  
Ученый секретарь Ученого Совета МИАН  
«02» июня 2022г.



  
Поликарпов Сергей Алексеевич

**Сведения о ведущей организации:**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Математический институт им. В.А. Стеклова Российской академии наук (МИАН)  
Адрес: 119991, г. Москва, ул. Губкина, д. 8  
Адрес электронной почты: steklov@mi-ras.ru

Список основных публикаций работников ведущей организации по тематике диссертации:

I. Y. Arefeva, A. Ermakov and P. Slepov, «Direct photons emission rate and electric conductivity in twice anisotropic QGP holographic model with first-order phase transition», *Eur. Phys. J. C* 82, no.1, 85 (2022), <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-022-10025-5>

I. Y. Arefeva, K. Rannu and P. Slepov, «Holographic model for heavy quarks in anisotropic hot dense QGP with external magnetic field», *JHEP* 07, 161 (2021), [https://doi.org/10.1007/JHEP07\(2021\)161](https://doi.org/10.1007/JHEP07(2021)161)

I. Y. Arefeva, K. Rannu and P. Slepov, «Holographic anisotropic model for light quarks with confinement-deconfinement phase transition», *JHEP* 06, 090 (2021), [https://doi.org/10.1007/JHEP06\(2021\)090](https://doi.org/10.1007/JHEP06(2021)090)

I. Y. Arefeva, A. A. Golubtsova and E. Gourgoulhon, «Holographic drag force in 5d Kerr-AdS black hole», *JHEP* 04, 169 (2021), [https://doi.org/10.1007/JHEP04\(2021\)169](https://doi.org/10.1007/JHEP04(2021)169)

I. Y. Arefeva, A. Patrushev and P. Slepov, «Holographic entanglement entropy in anisotropic background with confinement-deconfinement phase transition», *JHEP* 07, 043 (2020), [https://doi.org/10.1007/JHEP07\(2020\)043](https://doi.org/10.1007/JHEP07(2020)043)

I. Y. Arefeva and I. Volovich, «Gas of Baby Universes in JT Gravity and Matrix Models», *Symmetry* 12, no.6, 975 (2020), <https://doi.org/10.3390/sym12060975>

I. Y. Arefeva and I. Volovich, «Spontaneous symmetry breaking in fermionic random matrix model», *JHEP* 10, 114 (2019), [https://doi.org/10.1007/JHEP10\(2019\)114](https://doi.org/10.1007/JHEP10(2019)114)

I. Y. Arefeva, M. Khramtsov, M. Tikhanovskaya and I. Volovich, «Replica-nondiagonal solutions in the SYK model», *JHEP* 07, 113 (2019), [https://doi.org/10.1007/JHEP07\(2019\)113](https://doi.org/10.1007/JHEP07(2019)113)

I. Y. Arefeva, K. Rannu and P. Slepov, «Orientation Dependence of Confinement-Deconfinement Phase Transition in Anisotropic Media», *Phys. Lett. B* 792, 470-475 (2019), <https://doi.org/10.1016/j.physletb.2019.04.012>

D. S. Ageev and I. Y. Arefeva, «When things stop falling, chaos is suppressed», *JHEP* 01, 100 (2019), [https://doi.org/10.1007/JHEP01\(2019\)100](https://doi.org/10.1007/JHEP01(2019)100)

D. S. Ageev, I. Y. Arefeva, A. A. Bagrov and M. I. Katsnelson, «Holographic local quench and effective complexity», *JHEP* 08, 071 (2018), [https://doi.org/10.1007/JHEP08\(2018\)071](https://doi.org/10.1007/JHEP08(2018)071)

I. Y. Arefeva, A. A. Golubtsova and G. Policastro, «Exact holographic RG flows and the Toda chain», *JHEP* 05, 117 (2019), [https://doi.org/10.1007/JHEP05\(2019\)117](https://doi.org/10.1007/JHEP05(2019)117)

I. Y. Arefeva and K. Rannu, «Holographic Anisotropic Background with Confinement-Deconfinement Phase Transition», *JHEP* 05, 206 (2018), [https://doi.org/10.1007/JHEP05\(2018\)206](https://doi.org/10.1007/JHEP05(2018)206)

I. Y. Arefeva, M. A. Khramtsov and M. D. Tikhanovskaya, «Thermalization after holographic bilocal quench», *JHEP* 09, 115 (2017), [https://doi.org/10.1007/JHEP09\(2017\)115](https://doi.org/10.1007/JHEP09(2017)115)