ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Афанасьева Даниила Евгеньевича
"Глобальная структура сплетенных решений уравнений Эйнштейна с электромагнитным полем и космологической постоянной" на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.02 (теоретическая физика).

Диссертация Афанасьева Даниила Евгеньевича посвящена изучению глобальных решений системы уравнений Максвелла-Эйнштейна и их классификации. Под глобальным решением понимается четырехмерное пространственно-временное многообразие с заданной на нем метрикой, удовлетворяющей уравнениям Эйнштейна и такой, что всякая геодезическая либо может быть продолжена до бесконечного значения канонического параметра, либо попадает в сингулярность при конечном его значении. В диссертации рассматривается специальный класс решений, называемый сплетенными решениями. Пространство-время таких решений предполагается заданным в виде топологического произведения двумерных лоренцевой и римановой поверхностей, а его метрика имеет специальный блочно-диагональный вид, и представляет собой сумму метрик этих поверхностей, домноженных на конформные факторы, каждый из которых задается как скалярная функция на комплиментарной поверхности. Также предполагается, что четырехмерный электромагнитный потенциал является прямой суммой двумерных потенциалов, определенных на сомножителях в сплетенном произведении.

При указанных предположениях из уравнений поля следует, что хотя бы одно из скалярных полей должно быть постоянным. Это утверждение эквивалентно тому, что, по крайней мере, одна из поверхностей в сплетенном произведении должна иметь постоянную кривизну. Следовательно, все полученные решения допускают, как минимум, три вектора Киллинга и обладают соответствующей симметрией. Принципиально важным и интересным свойством оказывается то, что изначально симметрия метрики не предполагается, но она возникает в качестве следствия уравнений поля. В диссертации этот эффект назван «спонтанным появлением симметрии», хотя в данном контексте его было бы более уместно называть динамическим. Другим важным свойством является то, что когда только одна из поверхностей имеет постоянную кривизну, решение допускает наличие дополнительного четвертого вектора Киллинга, и это можно считать обобщением известной в физике черных дыр теоремы Бирхгоффа.

Эти основные результаты последовательно излагаются в диссертации, которая состоит из Введения, трех глав и списка литературы. Во Введении обосновывается актуальность темы исследования и приводится достаточно подробный обзор литературы по глобальным решениям уравнений Эйнштейна.
В Главе 1 приводятся постановка задачи, общее решение уравнений Максвелла, а также подробно рассматривается случай, когда оба конформных фактора постоянны, при этом получены четыре топологически различные решения, представимые в виде произведения поверхностей постоянной кривизны.
Глава 2 посвящена случаю, когда постоянен только конформный фактор, заданный на римановой поверхности. Соответствующие решения обладают пространственной

симметрией (риманова поверхность имеет постоянную кривизну). Здесь приводится общее решение уравнений Эйнштейна и анализируется глобальная структура при различных соотношениях между параметрами интегрирования уравнений Эйнштейна-Максвелла и космологической постоянной. Всего построено 44 топологически различных решения. Особое внимание уделяется глобальному сферически симметричному решению с горизонтом третьего порядка. Показано, что оно описывает изменение топологии пространственных сечений во времени.
В Главе 3 рассматривается случай, когда скалярное поле, заданное на лоренцевой поверхности, постоянно. Из уравнений поля следует, что лоренцева поверхность имеет постоянную кривизну. Здесь построено 19 топологически различных глобальных решений. Интересной особенностью этого случая является то, что одному набору постоянных интегрирования уравнений Максвелла-Эйнштейна и космологической постоянной в общем случае соответствует не одно, а несколько глобальных решений.

При этом автором дана полная классификация глобальных сплетенных решений уравнений Эйнштейна. Оказывается, сюда входят как хорошо известные решения (например, решение Рейсснера-Нордстрема с двумя горизонтами), так и ранее не изученные решения с горизонтом третьего порядка. Здесь следует особо отметить, что при кажущейся алгебраической простоте полученных метрик, которые представляют собой различные модификации метрики Шварцшильда или Райсснера-Нордстрома для черной дыры или черной браны, их многообразие оказывается очень богатым, а топологические свойства очень сложными и, я бы сказал, экзотическими (в частности, области изменения пространственно-временных координат и их склейки оказываются очень причудливыми, что отражается в невероятном многообразии диаграмм Пенроуза). Полученные автором результаты вносят очень большой и важный вклад в математическую физику общей теории относительности.

Критических замечаний по диссертации очень мало, и они скорее носят характер пожеланий для дальнейшей работы автора. В первую очередь, хотелось бы усилить связь математических решений с физическими задачами общей теории относительности или ее приложений. Связь с физикой может исключить часть полученных решений как приводящих к духовой нестабильности теории гравитации на классическом или квантовом уровне. Это, в частности, происходит при обсуждении физически неэквивалентных решений с сигнатурами (-+++) и (+---), поскольку во втором случае в теории возникают духовые нестабильности. Другое замечание касается не рассмотренного случая сигнатуры (++++) (и возможно (----)) , который мог бы быть интересен в евклидовой квантовой гравитации, описывающей гравитационную термодинамику и подбарьерные эффекты гравитационного туннелирования. В частности, инвертирование знака метрики может играть в этом случае особую роль при выводе порогового значения энтропии черной дыры в задаче с динамической границей, как это было показано в работах Левкова-Фиткевича. Эти замечания, безусловно, не снижают ценности диссертационной работы.

Автореферат диссертации верно и полностью соответствует тексту диссертации. Результаты диссертации являются новыми, они излагались на научных конференциях и семинарах, а также своевременно опубликованы в ведущих научных журналах.

На основании вышесказанного заключаю, что диссертационная работа "Глобальная структура сплетенных решений уравнений Эйнштейна с электромагнитным полем и космологической постоянной" представляет собой законченное научное исследование,

и ее автор, Афанасьев Даниил Евгеньевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 (теоретическая физика).

Доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник Лаборатории
теории фундаментальных взаимодействий
отделения теоретической физики им. И. Е. Тамма
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Физического института
им. П. Н. Лебедева Российской академии наук,
119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53,
специальность – 01.04.02
Тел.: +7(906)7343873
e-mail: barvin@td.lpi.ru
29 марта 2022 г.

А. О. Барвинский

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
Ученый секретарь Колобов А.В.
30.03.2022 г.