

Отзыв официального опонента

д. ф.-м. н. профессора в. н. с. МИАН
119991, г. Москва, ул. Губкина, д. 8,
+7(495) 984 81 41, steklov@mi.ras.ru

На диссертацию С. В. Красникова
„Пространства-времени с нестандартными причинными свойствами“,
представленную на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук
по специальности 01.04.02 - теоретическая физика.

Исследованию классических решений в общей теории относительности Эйнштейна посвящено очень большое число работ. В последние годы активно изучаются не только 4-мерные решения, но и многомерные.

Для классических решений обычно рассматривается задача Коши, которая для общей теории относительности Эйнштейна была поставлена и при определенных ограничениях изучена в 60-х годах прошлого века. Для придания физического смысла решениям важную роль играет гиперболичность уравнения. Это свойство позволяет также проквантовать, по крайней мере в линейном приближении, теорию в окрестности такого решения. Такое квантование играет важную роль при анализе современных данных по реликтовому излучению (результаты WMAP, Planck'a и др.). Нетривиальные классические решения важны и для современной теории суперструн. Спрашивается, можно ли рассматривать любые решения общей теории относительности или надо ограничиться только глобально гиперболическими решениями. Сам по себе этот вопрос нуждается в уточнении: где рассматривать – на бумаге, или можно думать о том, что решения с нестандартными свойствами реализуются в природе. Эта вторая форма вопроса, я бы сказала, слишком амбициозна. Однако, по моему мнению, стоит изучать решения в общей теории относительности Эйнштейна с нестандартными причинными свойствами. Можно сказать, что априорный запрет на существование таких теорий, требует прежде всего выделения самого их класса.

Рецензируемая диссертация и посвящена этому кругу вопросов. В ней прежде всего анализируется само понятие решений с нетривиальными причинными свойствами и формализуется вопрос о выборе различных решений.

Остановимся на более детальном описании результатов диссертации.

Известные теоремы псевдоримановой геометрии гарантируют существование у любой точки пространства-времени выпуклой окрестности и окрестности, которая, в качестве самостоятельного пространства-времени, является глобально гиперболи-

ческой. Основным результатом главы 1 — это теорема о непрерывном существовании окрестностей, которые обладают обоими свойствами одновременно.

В главе 2 вводится понятие альтернативы, позволяющее находить момент, с которого геометрия одного пространства-времени начинает отличаться от геометрии другого. С помощью полусверхсветовых и сверхсветовых альтернатив описываются две разновидности сверхсветового (в некотором — строго определённом — смысле) движения. Доказывается, что без нарушения глобальной гиперболичности либо — во втором случае — некоторых мягких условий ни те, ни другие альтернативы невозможны.

В главе 3 строится обобщение — оно названо лазом — кротовой норы, соединяющей две области плоского (снаружи от кротовой норы) пространства. Предложен лаз с особенно простыми свойствами: его топология — \mathbb{R}^4 и оно не требует тахионных свойств от заполняющей его материи.

В четвертой главе вводится понятие машины времени, как пространства-времени, в котором существуют замкнутые непространственноподобные кривые, расположенные в будущем некоторого глобально гиперболического множества. Известный пример машины времени, называемый пространством Мизнера, обобщается на неплюсский случай (соответствующие пространства получаются факторизацией пространств (анти-) де Ситтера по подходящей группе изометрий). Далее в той же главе исследуются машины времени с компактно определёнными горизонтами Коши, они описывают появление горизонта, происходящее без влияния информации, попадающей в непосредственное прошлое горизонта из сингулярности или бесконечности. Доказываются две теоремы:

- Возникновение компактно определённых горизонтов Коши неизбежно: начальная глобально гиперболическая область машины времени, ограниченная таким горизонтом, не имеет максимального глобально гиперболического расширения;
- формированию компактно определённого горизонта Коши всегда предшествует появление светоподобной геодезической, бесконечное число раз возвращающейся в выбранную сколь угодно малой окрестность некоторой точки, причём суммарная энергия получившегося таким образом пучка — бесконечна (геодезическая с перечисленными свойствами названа *опасной*).

Ещё один результат, полученный в этой главе — машина времени, лишённая известных патологий, свойственных другим таким пространствам, а именно: опасных геодезических, сингулярностей и потребности в материи, нарушающей слабое энергетическое условие.

Глава 5 посвящена формулировке и доказательству теоремы, физический смысл которой состоит в невозможности — с точки зрения классической ОТО — искусственной (то есть возникающей как неизбежный результат действий экспериментатора) машины времени.

В главе 7 обсуждается так называемое квантовое неравенство – гипотетическое соотношение между продолжительностью и величиной нарушения слабого энергетического условия. В литературе это неравенство широко использовалось для исключения лазов и машин времени, как практически неосуществимых. Автор же показывает, что в действительности получаемые таким образом ограничения преувеличены на 70 порядков.

В следующей главе исследуется эволюция простейшей (пустой, сферически симметричной) макроскопической кротовой норы, возникающей в конце планковской эры. В предположении, что квантовые эффекты слабы, показывается, что горизонт такой норы времениподобен и она, соответственно, проходима в течение малого, но макроскопического (в некотором диапазоне параметров модели) времени.

В последней главе прямым построением доказывается существование квантового состояния (вакуум безмассового скалярного поля), в котором порождённая поляризацией вакуума плотность энергии не расходится на горизонте Коши (с точки зрения свободно падающего наблюдателя), что служит доводом в пользу возможности устойчивого формирования машины времени.

Отмечу следующие замечания

- Некоторые новые словообразования, на мой взгляд, неудачны. Например, «лазы»;
- Использование сокращений затрудняет чтение диссертации;
- В формулах для $\mathcal{T}_L^{\text{cl}}$ и $\mathcal{T}_L^{\text{op}}$ на стр. 199 потеряны скобки вокруг аргументов логарифмов.

Оценивая работу в целом отметим, что это оригинальное и важное исследование на актуальную тему. Указанные выше замечания в целом не снижают качества представленной работы, ее новаторского характера. Диссертация С. В. Красникова является научным исследованием, открывающим новое направление по исследованию решений уравнений ОТО. Работы, на основе которых выполнена диссертационная работа, уже привлекли внимание специалистов (имеется около 150 цитирований). Материалы диссертации своевременно опубликованы в ведущих научных журналах, публикующих результаты по гравитации, космологии и астрофизике (*Rhys.Rev.D*, *Phys.Rev.Lett.*, *General Rel. and Gravity*, *Gravitation and Cosmology*). Опубликованные статьи и автореферат полностью отражают основные положения и выводы проведенного исследования и соответствуют содержанию работы.

Диссертационная работа С. В. Красникова „Пространства-времени с нестандартными причинными свойствами“ удовлетворяет требованиям „Положения“ ВАК при

Министерстве образования и науки Российской Федерации, предъявляемым к докторским диссертациям и ее автор несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика.

Официальный оппонент,
ведущий научный сотрудник
Отдела теоретической физики,
Математического института
им. В.А. Стеклова РАН,
Доктор физ-мат наук,
профессор

И.Я.Арефьева

Подпись И.Я.Арефьевой заверяю
Ученый секретарь МИАН

4. 12. 2014



А. Н. Печень