

ОТЗЫВ

официального оппонента Павлова Ю.В. на диссертацию Красникова Сергея Владиленовича «**Пространства–времени с нестандартными причинными свойствами**», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – «Теоретическая физика»

Появление общей теории относительности, привело к пониманию того, что причинные свойства Вселенной оказались гораздо сложнее, чем это казалось на основании специальной теории относительности. В частности, сильно усложнился вопрос о максимальной скорости сигнала (из-за трудностей с определением понятия расстояния). Проблема же соблюдения причинности приобрела совершенно новый аспект: среди прочих нетривиальных особенностей в пространстве-времени могут найтись и самопересекающиеся времениподобные кривые. Исключить возможность таких нарушений причинности в ОТО гораздо сложнее, чем происходящих в пространстве Минковского. В начале 90х годов прошлого века усилия многих авторов были направлены на решение этих проблем выявлением какого-нибудь физического механизма, который гарантировал бы выполнение условия причинности. Важное значение принципа причинности в физике и неудача этих попыток указывает на **актуальность** исследований, проведенных в диссертационной работе С.В. Красникова.

Представленная диссертация имеет стандартную структуру и состоит из введения, девяти глав, приложения и списка литературы. Объем диссертации – 257 страниц.

Во **введении** автор обосновывает актуальность темы диссертации, делает обзор литературы, отображающий современное состояние рассматриваемых в диссертации вопросов, формулирует цели работы и защищаемые положения, обосновывает теоретическую и практическую значимость работы, достоверность полученных результатов, описывает основные цели исследования.

Глава 1 носит математический характер, в ней развивается аппарат, используемый в дальнейшем. Её главный оригинальный результат — доказательство существования в любом пространстве-времени некоторых «особенно просто устроенных» (они одновременно выпуклы и глобально гиперболичны) множеств.

Глава 2 посвящена установлению места некоторых основополагающих физических понятий и принципов (локальность, причинность) в ОТО. В частности, исследуется вопрос о том, что в общем случае (то есть за пределами, скажем, теории возмущений) можно было бы назвать «скоростью распространения гравитации» и как она соотносится

со скоростью света. Вопрос этот вопреки распространённому заблуждению далек от решения. Предлагаемый в диссертации подход состоит во введении понятия «альтернативы», при этом «сверхсветовая альтернатива» соответствует тому, что интуитивно понимается под «сверхсветовым гравитационным сигналом». Доказывается, что в глобально гиперболическом случае так определённая скорость гравитации не превосходит скорости света, если выполняются — достаточно нетривиальные — условия, обеспечивающие единственность решений уравнений Эйнштейна. Специфика геометрии как переносчика сигнала приводит к принципиальной возможности ещё одного сверхсветового феномена — «полусверхсветовой» передаче сигнала. Так называется ситуация, когда тело, чьим воздействием на геометрию нельзя пренебречь, достигает цели раньше, чем её достиг бы пробный фотон, будь он выпущен вместо упомянутого тела. В §2, п^о5 доказано, что для глобально гиперболических пространств такая ситуация невозможна по кинематическим причинам.

В **главе 3** рассматривается ещё одна разновидность перемещений, которые можно считать сверхсветовыми. Это перемещение — оно по условию происходит между точками одной плоской области пространства-времени, называемого «лазом», — которое занимает меньше времени, чем оно заняло бы у фотона, будь упомянутая область частью пространства Минковского. Широко известный пример лаза — кротовая нора — имеет ряд нежелательных свойств. В частности, изготовление норы там, где её изначально не было, потребовало бы изменения топологии, что представляется столь же экзотическим, как и само превышение скорости света. Эта проблема не возникает в случае лаза, называемого «пузырём Алькубиерре», так как его топология — просто R^4 . Он, однако, обладает другим «недостатком» в качестве средства перемещения: хотя изготовление такого пузыря позволит путешественнику вернуться из экспедиции почти сразу же после достижения цели, лететь к ней всё же придётся с досветовой скоростью. Так что, суммарное время первого путешествия сократится не более чем в два раза. Эта проблема снимается в «трубе Красникова» (это уже стандартное, принятое в научной литературе название) — лазе, представляющим собой «почти машину времени»: путешественник в этом пространстве возвращается назад через положительное, но произвольно маленькое время.

В следующей **4-й главе** вводится, в §1, понятие машины времени, после чего излагаются результаты, относящиеся к её специальным разновидностям. Так, §2 посвящен машинам времени, в которые превращаются двумерные цилиндры. Простейшая из них, называемая пространством Мизнера, известна своими крайне необычными свойствами. Оригинальные результаты этого параграфа — обобщения пространства Мизнера на неплоский случай, а

именно, машины времени, получаемые факторизацией пространств де Ситтера 1-го и 2-го рода. В 4.§4 исследуются машины времени с компактно порождёнными горизонтами Коши (КПК), выделенные С. Хокингом в особую категорию, для описания нарушения причинности, формирующегося без поступления какой-то новой непредсказуемой информации из сингулярности или из бесконечности. Автор обосновывает точку зрения, согласно которой, лучшей моделью таких машин времени являются пространства с компактно определёнными горизонтами Коши (КОГК), являющимися неким аналогом КПК. Установить, является ли горизонт Коши данной машины времени компактно определённым, достаточно просто, что позволяет доказать целый ряд полезных утверждений. Две такого рода теоремы доказываются в этом параграфе. Они гласят, грубо говоря, что а) Рождение любого КОГК неизбежно в том смысле, что, приготовление в начальной глобально гиперболической области соответствующих начальных условий, гарантирует его появление; б) Появлению КОГК всегда предшествует появление «опасной» светоподобной геодезической. Так называется геодезическая, которая бесконечно много раз возвращается в некоторую, выбранную сколь угодно малой, окрестность какой-то точки горизонта, причём «суммарная энергия» заключенного в этой окрестности пучка — бесконечна.

Типичная машина времени из числа рассматриваемых в литературе обладает рядом патологий и помимо нарушения причинности. Это и сингулярности, и нарушение слабого энергетического условия (т. е. потребность в веществе с отрицательной плотностью энергии), и «опасные» геодезические. Важно выяснить, не являются ли эти патологии следствием нарушения причинности. Поэтому в 4.§5 предъясняется машина времени, лишённая их всех: плотность энергии в ней для любого наблюдателя положительна и нет ни опасных геодезических, ни сингулярностей.

В **главе 5** формулируется и доказывается теорема 5.2 — одно из главных утверждений этой работы. С физической точки зрения теорема устанавливает невозможность построения машины времени в рамках классической ОТО и её модификаций, связанных с введением дополнительных локальных условий. Причём, теорема запрещает не появление машин времени, а только их создание.

Во второй части диссертации исследуются явления в физике лазов и машин времени, вызванные квантовыми эффектами. В §2 рассматриваются два часто используемых в данном контексте приёма, упрощающих процедуру нахождения правой части полуклассического уравнения Эйнштейна. При этом выясняется, что один из них математически несостоятелен, что обесценивает значительное количество работ о квантовой неустойчивости машин времени.

В **главе 7** обсуждается «квантовое неравенство», налагающее очень жёсткие ограничения на возможную метрику пространства-времени и практически исключающее все лазы, рассмотренные в предыдущих главах. В 7.§2 указано несколько способов обойти эти запреты.

Возникновение новой кротовой норы — процесс экзотический, а возможно, и запрещенный, во всяком случае, в классической ОТО. Однако кажется вполне вероятным существование «изначальных» нор, возникших в ранней Вселенной. Но если такие норы действительно появлялись, то для установления причинных свойств Вселенной чрезвычайно важно выяснить, были ли проходимыми. Этому вопросу посвящена **глава 8**. В ней строится модель пустой сферически симметричной кротовой норы, существующей во Вселенной с момента окончания планковской эры. Начальное состояние этой норы описывается 5-ю константами, являющимися свободными параметрами теории. В предположении слабости соответствующих квантовых поправок исследуется испарение обсуждаемой кротовой норы. Оказывается, оно так влияет на метрику, что в некотором диапазоне параметров задачи кротовина становится проходимой на макроскопическое — хотя и малое в области справедливости модели — время.

В **последней 9-й главе** рассматривается поляризация вакуума в причинной области машин времени с КПК. Известно (и этот результат воспроизводится в диссертации), что в некоторых ситуациях порождённая ею плотность энергии расходится на горизонте Коши (с точки зрения свободно падающего наблюдателя). Чтобы доказать, что этот факт не означает, сам по себе, квантовой неустойчивости соответствующего пространства-времени, строятся конкретные примеры таких квантовых состояния, в которых указанной расходимости нет.

Из вынесенного автором в **Приложение**, отметим исследование взаимодействия точечного электрического заряда с кротовой норой. В приближении короткой горловины находится величина самодействия такого заряда и выясняется, что она не мала.

К представляемой диссертации **имеются следующие замечания**:

- 1) Автор использует нетрадиционное написание фамилий Анру и Геароч вместо принятых в переводных русских изданиях написаний Унру и Герок.
- 2) Представляется излишне подробным приводимый автором анализ геометрии Шварцшильда. Его вполне можно было бы заменить ссылкой на известные учебники.

Указанные недостатки не являются принципиальными и не снижают ценности представленной работы. Работа выполнена на высоком уровне с использованием

современных методов теоретической физики, основанных на хорошо разработанных математических методах. Диссертация обладает внутренним единством, содержит **новые научные результаты** и положения, выдвигаемые для публичной защиты. **Новые** результаты, полученные в ней, докладывались на многих международных научных конференциях, опубликованы в ведущих научных журналах по теории относительности и гравитации и регулярно цитируются в научной литературе. Исходя из вышесказанного, следует признать научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, **обоснованными и достоверными**.

Автореферат соответствует содержанию диссертации, ее основным идеям и выводам.

Итак, на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как **научное достижение**. В том числе введены и разработаны новые понятия, позволяющие адекватно описывать нестандартные причинные свойства пространства-времени.

Диссертация «Пространства–времени с нестандартными причинными свойствами» удовлетворяет всем критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Красников Сергей Владиленович, несомненно, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика.

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник ИПМаш РАН,
199178, Санкт-Петербург, В.О., Большой пр., 61
тел. 8(812) 3214764
E-mail: yuri.pavlov@mail.ru

Ю.В. Павлов

Подпись  удостоверяю
Заведующая сектором кадров ГРН 1037000000
« 02 »  2011 г.
О.В. Сталь

