

УДК 524.834, 530.145.86

© Белинский А. В., Шульман М. Х., 2020

**РОЖДЕНИЕ ЧЕРНЫХ ДЫР, ПРИЧИННОСТЬ, НЕЛОКАЛЬНОСТЬ\***Белинский А. В.<sup>a,1</sup>, Шульман М. Х.<sup>b,2</sup><sup>a</sup> Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, 119991, Россия.<sup>b</sup> Москва, 119991, Россия.

Более 100 лет прошло с появления основополагающей статьи Эйнштейна и открытия законов теории относительности, в том числе – парадокса часов. Однако, по нашему мнению, многие ученые до конца так и не осознали, что это имеет революционное значение не только для механики и кинематики, но и для других важнейших разделов физики. Наша публикация посвящена анализу парадоксальных ситуаций при рождении черных дыр, концепции дальнего действия и ближнего действия в области квантовых явлений, теории электромагнитного поля и гравитации. Благодаря такому анализу более ясным становится соотношение локальных и глобальных феноменов.

*Ключевые слова:* теория относительности, парадокс часов, черная дыра, вселенная, горизонт событий, гравитационный коллапс, обратная причинность, световой конус, сопутствующий наблюдатель, квантовая нелокальность, мысленный парадокс Уилера, отложенный выбор, дальнее действие, ближнее действие, принцип Маха.

**BLACK HOLE CREATION, CAUSALITY, NON-LOCALITY**Belinsky A. V.<sup>a,1</sup>, Shulman M. H.<sup>b,2</sup><sup>a</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Russia.<sup>b</sup> Moscow, 119991, Russia.

More, than 100 years ago, A. Einstein published his fundamental work on the Special Relativity and discovered its laws including clock paradox. However, as we believe, many scientists until now do not understand all the revolutionary meaning of this concept not only for mechanics, but, for other important physics parts. The present publication analyses the paradox of black holes creation, long-range and short-range interaction concepts in the area of quantum phenomena, theory of electromagnetic and gravitational fields. The relations between local and global phenomena become clearer due such analysis.

*Keywords:* relativity, clock paradox, black hole, universe, event horizon, gravitational collapse, inverse causality, light cone, comoving observer, quantum nonlocality, thought paradox of Wheeler, delayed choice, short-range interaction, action at a distance, Mach's principle.

PACS: 03.65.Ud, 04.70.-s

DOI: 10.17238/issn2226-8812.2020.2.14-22

**Введение**

Явление нелокальности, часто сопровождающее квантовые процессы, уже стало более или менее привычным в отношении экспериментов с элементарными частицами. Больше удивление вызывают возникающие при этом парадоксы, связанные с причинностью. Но можно ли эти явления наблюдать во вселенских масштабах? И как их связать с теорией относительности? Попытке анализа этих вопросов и посвящена настоящая работа.

---

\* Работа поддержана грантом РФФИ №18-01-00598А.

<sup>1</sup> E-mail: belinsky@physics.msu.ru<sup>2</sup> E-mail: shulman@dol.ru

## 1. Парадокс рождения черной дыры

В своей замечательной книге [1] ее автор описывает захватившую в свое время С. Хокинга идею рассматривать абсолютный (absolute) горизонт событий при рождении черной дыры (ЧД) наряду с видимым (apparent) горизонтом. Абсолютный горизонт событий — это граница между событиями, от которых еще могут распространяться сигналы во внешнюю Вселенную, и событиями, которые уже не могут послать никаких сигналов во внешнюю Вселенную.

Видимый горизонт событий — это наиболее удаленные от центра сколлапсировавшей звезды точки, в которых световые лучи улавливаются ЧД и возвращаются обратно в сингулярность. Видимый горизонт событий внезапно возникает там, где радиус звезды сжимается до критического предела — гравитационного радиуса.

Используя введенную Финкельштейном [2] “сопутствующую” систему отсчета (по вертикали — время, по горизонтали — пространство), физики смогли уточнить картину коллапса (рис. 1).

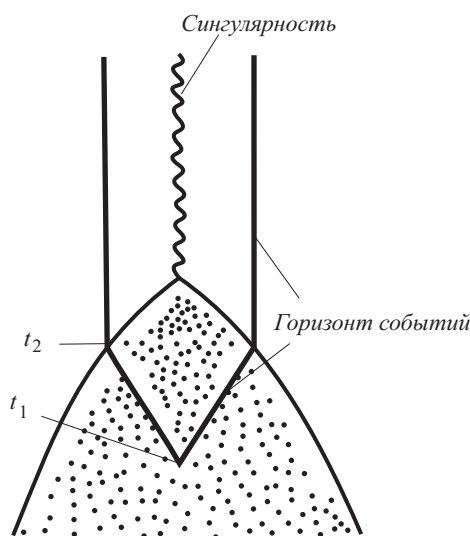


Рис. 1. Диаграмма коллапса звезды в черную дыру

В момент возникновения ( $t = t_1$ ) абсолютный горизонт формируется в центре звезды и представляет собой всего лишь одну точку [3]. Поверхность сжимающейся звезды за конечное собственное время достигает сферы Шварцшильда ( $t = t_2, r = r_g$ ), при этом внезапно возникает видимый горизонт событий.

Затем вещество стремительно стягивается в точку ( $r=0$ ), причем длительность этого процесса составляет  $1,54 \cdot 10^{-5} \cdot (M/M_S)$  с, где  $M$  — масса коллапсирующей звезды,  $M_S$  — масса Солнца [4]. В результате внутри сферы Шварцшильда возникает ЧД — пространственно-временная область, из которой никакие сигналы не уходят на пространственную бесконечность [3].

Принято считать, что имеет место следующий парадокс: расширение абсолютного горизонта событий начинается до того, как ЧД поглощает оболочку (момент  $t_1$ ). Он расширяется в ожидании поглощения оболочки, сразу после этого приходит в состояние покоя (момент  $t_2$ ) и выходит на поверхность звезды точно в тот момент, когда поверхность сжимается до критического предела. Иными словами, когда вещество падает внутрь ЧД, абсолютный горизонт начинает расти (следствие) до того, как вещество достигает дыры (причина) [3]. В философской терминологии это — телеологическое определение.

Положение горизонта событий в данный момент времени зависит от всей последующей эволюции системы. Если, например, образование абсолютного горизонта событий начинается в момент  $t_1$ , а в момент  $t$  ( $t_1 < t < t_2$ ) произойдет взрыв коллапсирующей звезды, то это может привести к тому, что видимый горизонт событий не образуется вовсе [3]. «Вообще структура областей внутри

ЧД решающим образом зависит от судьбы ЧД в бесконечном будущем внешнего наблюдателя — от конечного состояния испарения ЧД, от возможных столкновений ЧД с другими ЧД, от судьбы самой Вселенной. Ясно, что теоретики чувствуют себя весьма неуютно в таких обстоятельствах» [5].

В стандартной физике граничные условия должны задаваться в некоторый начальный момент или в бесконечном прошлом. Но это не так для случая горизонта дыры, поскольку он зависит от процессов в будущем, от области пространства-времени, которая лежит в будущем по отношению к источнику сигнала. Это выглядит так, как если бы ЧД жила во времени, которое течет в противоположном направлении: из будущего в прошлое. В этом случае изменение размера горизонта выглядит очень естественным и причинно-обусловленным [5].

## 2. Причинность и время в теории относительности

Обратимся теперь к известной диаграмме событий в координатах Минковского (рис. 2). Поместим наблюдателя (и акт события) в начало координат и рассмотрим произвольное другое 4-событие.

\* Если это другое 4-событие расположено внутри светового конуса, то 4-мерный интервал между этими событиями оказывается действительным, он называется времениподобным.

\* Если это другое 4-событие расположено на самом световом конусе, то 4-мерный интервал между этими событиями оказывается равным нулю, он называется светоподобным.

\* Если это другое 4-событие расположено вне светового конуса, то 4-мерный интервал между этими событиями оказывается мнимым, он называется пространственноподобным.

События 1 и 4, лежащие внутри светового конуса, проходящего через начало координат, могут быть связаны с началом координат причинно-следственным взаимодействием, т.е. между ними может однонаправлено передаваться информация и/или энергия.

События 2 и 3, лежащие вне светового конуса, проходящего через начало координат, не могут быть связаны с началом координат причинно-следственным взаимодействием, т.е. между ними не может однонаправлено передаваться информация и/или энергия.

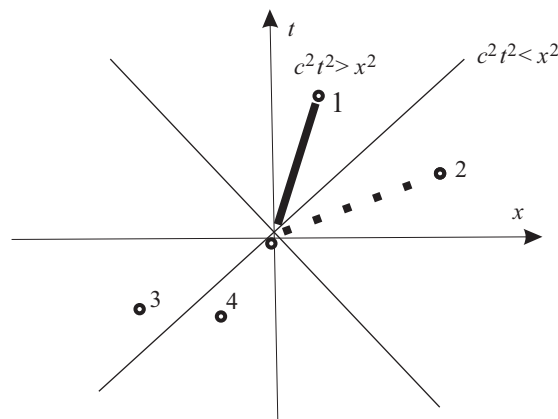


Рис. 2. Диаграмма событий в пространстве-времени Минковского

Особым случаем, по нашему мнению, является ситуация, когда одно или несколько событий расположено непосредственно на световом конусе, проходящем через начало координат. Этот случай обычно принято рассматривать как предельный частный случай существования причинно-следственных связей между событиями (например, световой сигнал дистанционно запускает действие некоторого устройства). Однако такая связь имеет смысл лишь для неподвижного наблюдателя, для которого “причина” (эмиссия фотона источником света) предшествует “следствию” (поглощению фотона датчиком). Для самого же фотона, как хорошо известно из теории отно-

сительности, время полета обращается в нуль. Понятие временной причинно-следственной связи фактически утрачивает смысл и должно быть заменено понятием корреляционной связи.

В статье [6] мы указывали, что переход от причинно-следственного взаимодействия между событиями внутри светового конуса (временноподобный 4-интервал) к некоторому взаимовлиянию между событиями, разделенными световым конусом (светоподобный 4-интервал) может описываться переходом от аperiodических процессов к строго периодическим процессам. При таком переходе (в среднем) исчезает направленная во времени передача информации и/или энергии взаимодействия, хотя среднее квадратичное значение этой энергии оказывается больше нуля, т.е. взаимовлияние двух событий имеет место, хотя ни одно из них в определенном смысле не может быть ни причиной, ни следствием другого.

С “точки зрения фотона” его эмиссия источником и поглощение датчиком – это не два отдельных события, а одно, они одновременны в том смысле, что ни одно из них не может предшествовать другому. В этой связи нам кажется неправомерным слишком формальное рассмотрение светоподобных горизонтов, которые якобы могут простираться до временной бесконечности. По нашему мнению, даже в пространственно-бесконечной модели Вселенной акты распространения фотонов (и любых частиц, движущихся в вакууме со скоростью света) всегда следует рассматривать как пары скоррелированных событий (излучение — поглощение), что в значительной степени лишает физической содержательности рассуждения, относящиеся к бесконечной будущей истории.

Что же касается вышеописанного парадокса коллапсирующей звезды, мы считаем уместным привести следующий комментарий. Не только видимый горизонт событий уже сформировавшейся черной дыры (при  $t > t_2$ ), но и еще только формирующийся абсолютный горизонт (при  $t_1 < t < t_2$ ) также является светоподобным. Варианты эволюции в данном случае альтернативны и не могут предшествовать один другому. Поэтому, как справедливо отмечают авторы [3], в случае, например, взрыва звезды между моментами  $t_1$  и  $t_2$  было бы принципиально неверно говорить о существовании ЧД в этот период.

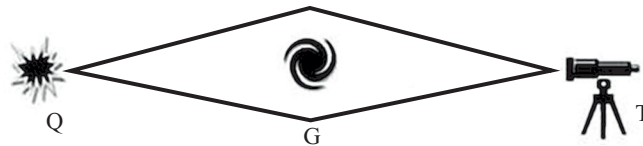
### 3. Светоподобные интервалы и квантовая нелокальность

Замечательным образом высказанные представления можно перенести на квантовые явления, связанные с их так называемой нелокальностью.

В широко известной статье [7] цитируется замечательная по глубине мысль Хьюго Мартина Тетроде (1895 — 1931) — голландского физика, работавшего в области статистической физики и квантовой теории [8]: “Солнце не излучало бы, если бы где-либо не нашлось тела, способного поглотить это излучение. . . Например, если я вчера наблюдал с помощью телескопа звезду, удаленную, скажем, на 100 световых лет, то не только я знаю, что испущенный ею 100 лет назад свет достиг моего глаза, но также и звезда или ее отдельные атомы уже 100 лет назад знали, что я, который даже еще не существовал тогда, вчера вечером увижу этот свет в такое-то время”.

Но как удаленная звезда может “знать”, где и когда в будущем будет зарегистрирован испущенный ею фотон? С нашей точки зрения, это яркий пример проявления нелокальности. Авторы статьи [7], стремясь обосновать тезис Тетроде, предложили схему “мгновенного” (прямого межчастичного) взаимодействия электронов со всеми возможными будущими поглотителями испускаемого ими излучения. Эта идея, в частности, позволяет легко вывести т.н. “радиационное затухание” излучателя, но при этом использует довольно громоздкие представления о комбинации опережающих и запаздывающих волн. С нашей точки зрения можно рассматривать прямое межчастичное взаимодействие (дальнодействие) как одно из проявлений эффекта нелокальности.

Ярким примером нелокального квантового взаимодействия является так называемый “галактический” мысленный парадокс Уилера [9]. Пусть удаленный квазар испускает фотон, миллиарды лет летящий к Земле. По дороге этот фотон огибает огромную галактику, которая и является причиной искривления пути фотона. В конечном счете свет попадает на вход установленного на Земле телескопа, снабженного интерферометром Маха-Цендера (рис.3).



**Рис. 3.** Мысленный эксперимент Уилера с отложенным выбором. Свет от удаленного квазара  $Q$  огибает массивную галактику  $G$  и попадает на вход установленного на Земле телескопа  $T$ , снабженного интерферометром Маха-Цендера. [9]

На входе телескопа помещают интерферометр Маха-Цендера, в котором можно убирать (или не убирать) входной 50-ти процентный светоделитель, в результате чего не будет (или будет) наблюдаться интерференция. Во втором случае нет способа выяснить, по какому именно пути прошли фотоны огибая галактику, т.е. они будут интерферировать; в первом — информация о выборе фотонами одной из возможных траекторий не пропадает, и интерференция исчезнет. Вводимый светоделитель играет роль “квантового ластика”, т.к. после его прохождения фотоном принципиально нет возможности определить путь, который фотон проделал до этого.

Суть парадокса состоит в том, что выбор между интерферирующим и неинтерферирующим поведением осуществляется в самое последнее мгновение, когда фотон уже пролетел отведенные ему миллиарды лет путешествия [4]. Этот эффект можно рассматривать как проявление нелокальности — как может излучаемый фотон заранее “знать”, будет ли введен светоделитель?

Мы рассматривали парадокс Уилера в лабораторной системе отсчета, в которой время движения между стартом и финишем было больше нуля, так что эмиссию фотона можно было рассматривать как (логическую) “причину”, а его последующее поглощение — как (логическое) “следствие”. Однако собственное время движения фотона равно нулю. Поэтому момент старта фотона, покидающего квазар, и момент финиша, когда он проходит или (не проходит) через светоделитель на входе телескопа — это один и тот же момент его собственного времени (мировая линия движения фотона светоподобна). И формально нет никакого противоречия в утверждении, что фотон “выбрал” — вести ли ему себя как частица или как волна — ровно в тот же момент времени, в который наличие или отсутствие светоделителя в телескопе заставило его сделать этот выбор. Согласно теории относительности, подобный парадокс не только возможен, но и неизбежен.

В квантовой механике хорошо известен феномен так называемого “отложенного выбора”. Соответствующая парадигма в виде мысленного эксперимента была предложена Дж. Уилером. Целью было исследование дуалистического (корпускулярно-волнового) поведения квантовых частиц, и ряд этих экспериментов впоследствии с успехом был осуществлен на практике (см. обзор [10]). С одной стороны, экспериментатор мог легко варьировать конфигурацию эксперимента так, чтобы “навязывать” квантовой частице корпускулярный или волновой сценарий поведения, что проявлялось в отсутствии или наличии интерференции на выходе интерферометра. С другой стороны, парадоксальным образом казалось возможным делать этот выбор “отложенным”, т.е. осуществлять его “задним числом” после завершения самого эксперимента, что немедленно порождало естественные вопросы о нарушении причинности и связанных с ним парадоксах.

Наш анализ, однако, показал [6], что во всех схемах экспериментов с “отложенным выбором” возникающие недоразумения связаны с тем, что эксперименты описываются в лабораторных системах отсчета, когда наблюдатель движется со скоростью меньше скорости света в вакууме. Однако мировые линии фотонов (и даже элементарных частиц, обладающих массой, как бы это ни казалось парадоксальным, см. [6]) светоподобны и определяют не причинно-следственную, а корреляционную связь между событиями. Эти рассуждения легко распространяются на явление квантовой телепортации, парадокс Эйнштейна – Подольского – Розена (ЭПР), объединение концепций дальнего действия и ближнего действия в теории электромагнитного поля.

В классической физике основоположниками концепции ближнего действия обычно считают Де-

карта и Фарадея. При этом подразумевается, что

- \* взаимодействия передаются через особых материальных посредников,
- \* такие взаимодействия осуществляются с конечной скоростью.

Напротив, принято считать, что, согласно концепции дальнего действия, тела должны действовать друг на друга

- \* без материальных посредников (через “пустоту”) на любом расстоянии,
- \* такие взаимодействия осуществляются с бесконечно большой скоростью.

Теоретические исследования выявили определенные сложности в теориях, использующих концепцию дальнего действия, поэтому современные подходы чаще основываются на парадигме ближнего действия.

С нашей точки зрения, противопоставление двух упомянутых концепций не имеет под собой незыблемого основания. В самом деле, когда говорят о взаимно удаленных телах, имеют в виду наличие произвольно большого разделяющего их 3-мерного расстояния. Однако еще раз стоит напомнить очевидный факт, что такая мера удаленности имеет относительный характер — эта мера может стать сколь угодно малой, если рассматривать эту же конфигурацию двух тел не в лабораторной, а в быстро движущейся системе отсчета.

Другие примеры нарушения причинности в квантовых экспериментах рассмотрены в работах [14-17].

### 3.1. Нелокальность и гравитация

Как уже было отмечено, в теории электромагнитного поля хорошо известна и доведена до развитого количественного уровня идея свести локальное взаимодействие между частицами к глобальному взаимодействию частицы с окружающей Вселенной — это теория прямого (“мгновенного”) межчастичного электромагнитного взаимодействия (теории поглотителя) [7,11]. Данная теория восходит к идее Фоккера, согласно которой обычный вектор-потенциал электромагнитного поля представляет собой не что иное, как сумму “мгновенных” влияний на пробный заряд со стороны всех остальных зарядов Вселенной.

Эту идею вполне естественно попытаться распространить на гравитационное поле. Подобная попытка описана, в частности, в публикации [12]. Однако ее автор, следуя принципу Маха, пытался в виде аналогичной суммы представить массу пробной частицы, так что величина массы при этом оказалась бы зависящей от состава Вселенной.

Нам подобный подход представляется методически неверным, т.к. вектор-потенциал играет роль, аналогичную удельному (на единицу заряда) импульсу (а не массе). Чтобы увидеть это, рассмотрим описание электрически заряженной частицы в электромагнитном поле (см. [13]).

Действие для системы “частица + поле” содержит три слагаемых. Первое слагаемое отвечает механическому движению частицы в отсутствие поля, второе слагаемое — взаимодействию заряженной частицы с полем, а третье зависит только от самого поля.

Если не учитывать вклад третьего слагаемого, то влияние поля на инерциальные свойства движения частицы приводит к тому, что к энергии частицы алгебраически добавляется слагаемое  $e\phi$  ( $e$  — заряд,  $\phi$  — скалярный электрический потенциал поля), а вместо механического импульса  $p = mv$  следует ввести обобщенный импульс, т. е. производную от функции Лагранжа по скорости  $P = p + eA/c$  ( $A$  — вектор-потенциал поля,  $c$  — скорость света). Таким образом, выражение для обобщенного импульса содержит два равноправных слагаемых, одно из которых обусловлено механической компонентой инерции, а другое — электромагнитной компонентой. Учитывая, что вектор-потенциал есть величина, ротор которой равен вектору магнитного поля, мы видим прямое подтверждение тому, что поток магнитного поля электрической системы играет роль, аналогичную механическому импульсу частицы.

Если мысль рассматривать именно вектор-потенциал в качестве суммы влияний на пробный заряд всех остальных зарядов Вселенной конструктивна, и если вектор-потенциал и механический

импульс частицы равноправным образом суммируются в соответствующих физических уравнениях, то возникает вполне естественная мысль: и механический импульс частицы следует рассматривать как сумму механических влияний на пробную частицу всех остальных частиц Вселенной! Эта идея — вполне в духе принципа Маха — оказывается тривиально верной, поскольку обобщенный импульс пробной частицы в сумме с импульсом всех остальных частиц Вселенной всегда дает одну и ту же сохраняющуюся величину (если Вселенную рассматривать как замкнутую систему), т.е. непосредственно выражается через эту сумму.

При таком подходе в сумме, представляющей обобщенный импульс  $P = mv + eA/c$ , роль вектор-потенциала  $A$  (деленного на скорость света), как нетрудно заметить, оказывается вполне аналогичной роли вектора скорости частицы  $v$ , а роль электрического заряда  $e$  — роли гравитационного заряда  $m$ . Симметричная роль гравитационного и электрического зарядов в феномене инерции подтверждается и полной аналогией в выражениях для напряженности поля от заряда, вытекающих из закона Кулона и закона всемирного тяготения.

Можно думать, что именно сохранение обобщенного импульса и является обоснованием представления Фоккера о вектор-потенциале как о сумме вкладов отдельных взаимодействий.

Далее, рассмотрим часто возникающую при обсуждении принципа Маха модель Вселенной, содержащую только одну частицу (с электрическим зарядом или без него). Для такой модели следствие закона сохранения обобщенного импульса особенно ясно, а изменение импульса частицы — просто запрещено, т.к. взаимодействовать одинокой частице не с чем.

Вместе с тем, электромагнитное взаимодействие ограничено в пространстве из-за взаимной компенсации электрических зарядов противоположного знака, тогда как силы тяготения действуют не только в пределах звездных систем и Галактик, но и в масштабе Метагалактики. Современные космологические модели прямо учитывают это обстоятельство, оперируя радиусом кривизны Вселенной, который связывается со средней плотностью материи в ней.

Целостность Вселенной, пронизанной глобальным гравитационным полем, признается также в термодинамике при объяснении ее (Вселенной) “аномальных” энтропийных свойств. В обычном газе в земных условиях, где гравитационным взаимодействием можно пренебречь, существует молекулярный хаос, ибо нет корреляции в движении даже между ближайшими “соседями”. Напротив, в космологических системах каждая часть “чувствует” не несколько ближайших соседей, а всю систему целиком, все другие части. Поэтому гравитирующую систему нельзя даже мысленно разбить на не взаимодействующие (т.е. независимые) части, а значит, в ней очень сильно нарушается термодинамическая аддитивность, так что она не может быть описана обычной больцмановской термодинамикой.

## Заключение

Итак, приведенные соображения позволяют сделать вывод о том, что представление о “локальности” нашей Вселенной препятствует ясному пониманию ее истинной природы. Мы видим, что все основные астрофизические процессы (распространение света, рождение ЧД, квантовая телепортация) неразрывно связаны с проявлениями нелокальности в 4-мерном пространстве-времени. Более того, в явлениях “земного” масштаба все эффекты нелокальности (например, в экспериментах с отложенным выбором) проявляются с той же неизбежностью, а их учет позволяет предложить ясное и надежное описание. И, наконец, предлагаемый подход проливает свет на известную концепцию интегралов по траекториям Р. Фейнмана, а классический принцип наименьшего действия для фотона можно вывести, рассматривая сумму комплексных вероятностей переходов по всем возможным путям движения фотонов во Вселенной. Тем самым допускается, что все эти переходы представляют собой мгновенные и одновременные события.

Работа поддержана грантом РФФИ №18-01-00598А.

## Список литературы

1. Торн К.С. *Черные дыры и складки времени: дерзкое наследие Эйнштейна*. М.: Издательство физико-математической литературы, 2007. 616 с.
2. Finkelstein D. Past-Future Asymmetry of the Gravitational Field of a Point Particle. *Phys. Rev.*, 1958, 110, pp. 965–967.
3. Новиков И.Д., Фролов В.П. *Физика черных дыр*. М.: Наука, 1986. 328 с.
4. Мизнер Ч., Торн К., Уилер Дж. *Гравитация*. М.: Мир, 1977. Т.3. 510 с.
5. Новиков И.Д., Фролов В.П. Черные дыры во Вселенной. *УФН*. 2001. Т. 171. № 3. С. 307–324.
6. Belinsky A.V., Shulman M.H. A possible origin of quantum correlations. *Journal of Russian Laser Research*, 2017, 38, no. 3, pp. 230–240.
7. Wheeler J.A., Feynman R.P. Interaction with the Absorber as the Mechanism of Radiation. *Reviews of Modern Physics*, 1945, 17, no. 2-3, pp. 157–181.
8. Tetrode H. Wirkungszusammenhang der Welt. Eine Erweiterung der klassischen Dynamik. *Zeitschrift für Physik*, 1922, 10, no. 1, pp. 317–328.
9. Wheeler J.A., Zurek W.H. *Quantum Theory and Measurement*. Princeton University Press, 1984. Pp. 182–213.
10. Ma X., Kofler J., Zeilinger A. Delayed-choice gedanken experiments and their realizations. *Rev. Mod. Phys.*, 2016, 88, pp. 015005-1–015005-28.
11. Владимиров Ю.С., Турыгин А.Ю. *Теория прямого межчастичного взаимодействия*. М.: Энергоатомиздат, 1985. 134 с.
12. Нарликар Дж. В. *Инерция и космология в теории относительности Эйнштейна, пер. с английского. В книге Астрофизика, кванты и теория относительности*. М.: Мир, 1982. С. 498–534.
13. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Курс теоретической физики, том II. Теория поля*. М.: Наука, 1967. 460 с.
14. Белинский А.В. О нарушении причинности в квантовых экспериментах. *Вестник Московского университета*. Серия 3: Физика, астрономия. 2018. № 3. С. 14–25.
15. Белинский А.В. О возможном нарушении причинности как альтернативе информационной интерпретации квантовой теории. *Ученые Записки Физического Факультета МГУ*. 2017. № 3. С. 173001-1–173001-6.
16. Белинский А.В. О нарушении причинности. *Пространство, время и фундаментальные взаимодействия*. 2017. № 3. С. 68–75.
17. Белинский А.В. О нарушении причинности в экспериментах с фотонами. *Метафизика*. 2017. № 3 (25). С. 71–93.

## References

1. Thorne Kip S. *Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy*. New York City, W.W. Norton Publishers, 1994. 619 p.
2. Finkelstein D. Past-Future Asymmetry of the Gravitational Field of a Point Particle. *Phys. Rev.*, 1958, 110, pp. 965–967.
3. Novikov I.D., Frolov V.P. *Fizika chyernykh dyr*. Moscow, Nauka, 1986. 328 p. (in Russ.).
4. Misner C.W., Thorne K.S., Wheeler J.A. *Gravitation. Vol. 3*. San-Fransisco, 1973. 1278 p.
5. Novikov I.D., Frolov V.P. Black holes in the Universe. *Physics-Uspexhi*, 2001, 44, no. 3, pp. 291–305.
6. Belinsky A.V., Shulman M.H. A possible origin of quantum correlations. *Journal of Russian Laser Research*, 2017, 38, no. 3, pp. 230–240.
7. Wheeler J.A., Feynman R.P. Interaction with the Absorber as the Mechanism of Radiation. *Reviews of Modern Physics*, 1945, 17, no. 2-3, pp. 157–181.
8. Tetrode H. Wirkungszusammenhang der Welt. Eine Erweiterung der klassischen Dynamik. *Zeitschrift für Physik*, 1922, 10, no. 1, pp. 317–328.
9. Wheeler J.A., Zurek W.H. *Quantum Theory and Measurement*. Princeton University Press, 1984. Pp. 182–213.
10. Ma X., Kofler J., Zeilinger A. Delayed-choice gedanken experiments and their realizations. *Rev. Mod. Phys.*, 2016, 88, pp. 015005-1–015005-28.



11. Vladimirov Ju.S., Turygin A.Yu. *Teoriya pryamogo mezhchastichnogo vzaimodeystviya*. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1985. 134 p. (in Russ.)
12. Narlicar J.V. *Inertia and cosmology in the theory of relativity Einstein*. In “*Astrophysics, Quantum and Theory of Relativity*”. Firenze, 1979, Giunti Barbera. 564 p.
13. Landau L.D., Lifshits E.M. *Field theory*. Moscow, Nauka Publ., 1973. 504 p. (in Russ.)
14. Belinsky A.V. On the Violation of Causality in Quantum Experiments. *Moscow University Physics Bulletin*, 2018, 73, no. 3, pp. 252–262.
15. Belinsky A.V. On the Possible Violation of Causality as Information Interpretation of Quantum Theory Alternative. *Scientific Notes of the Physical Faculty of Moscow State University*, 2017, no. 3, pp. 173001-1–173001-6. (in Russ.)
16. Belinsky A.V. On the Violation of Causality. *Space, Time and Fundamental Interactions*, 2017, no. 3, pp. 68–75. (in Russ.)
17. Belinsky A.V. On the Violation of Causality in Experiments with Photons. *Metaphysics*, 2017, no. 3 (25), pp. 71–93 (in Russ.)

### Авторы

**Белинский Александр Витальевич**, д. ф.-м. н., доцент, ведущий научный сотрудник физического факультета, Московский Государственный Университет им. М. В. Ломоносова, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, Москва, 119991, Россия.

E-mail: belinsky@physics.msu.ru

**Шульман Михаил Хананович**, пенсионер, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, Москва, 119991, Россия.

E-mail: shulman@dol.ru

### Пробьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Белинский А. В., Шульман М. Х. Рождение черных дыр, причинность, нелокальность. *Пространство, время и фундаментальные взаимодействия*. 2020. № 2. С. 14–22.

### Authors

**Belinsky Alexander Vital'evich**, Doctor of Physics, professor at the Department of Physics, Lomonosov Moscow State University, Leninskiye Gory, 1-2, Moscow, 119991, Russia.

E-mail: belinsky@physics.msu.ru

**Shulman Mihael Hananovich**, pensioner, Leninskiye Gory, 1-2, Moscow, 119991, Russia.

E-mail: shulman@dol.ru

### Please cite this article in English as:

Belinsky A. V., Shulman M. H. Black Hole creation, causality, non-locality. *Space, Time and Fundamental Interactions*, 2020, no. 2, pp. 14–22.